



INCO-CT2006-032539

CAMINAR

Catchment Management and Mining Impacts in Arid and Semi-Arid South America

Instrument: Specific Targeted Research Project

Thematic Priority: A.2.3 Managing arid and semi-arid ecosystems

Deliverable D4

Technical report on river basin characteristics, pressures and issues (Poopó)

Due date of deliverable: Month 12

Actual submission date: Month 12

Start date of project: 1 February 2007

Duration: 36 months

Organisation name of lead contractor for this deliverable: UMSA - CEEDI

Project co-funded by the European Commission within the Sixth Framework Programme (2002-2006)		
Dissemination Level		
PU	Public	X
PP	Restricted to other programme participants (including the Commission Services)	
RE	Restricted to a group specified by the consortium (including the Commission Services)	
CO	Confidential, only for members of the consortium (including the Commission Services)	



European Commission Sixth Framework Programme
Specific International Scientific Cooperation Activities (INCO)
Activity Area: A. Developing countries
A2. RATIONAL USE OF NATURAL RESOURCES
A.2.3. Managing arid and semi-arid ecosystems
Specific Targeted Research or Innovation Project CAMINAR
Contract No. INCO-CT2006-032539

**Catchment Management and Mining Impacts
in Arid and Semi-Arid South America**

D 4

**Technical Report of River Basin Characteristics, Pressures
and Issues (Poopó)**

January 2008

Authors:

**Jorge Quintanilla Aguirre
Oswaldo Ramos Ramos
Maria E. Garcia Moreno
Amalia Niura Zurita**

**Jose Lorini Lapachet
Carlos Peláez Daza**

*Instituto de Investigaciones Químicas
Universidad Mayor de San Andrés
La Paz, Bolivia*

*Centro de Estudios Ecologicos
La Paz, Bolivia*

Editor:

Tobias Rötting

*Sir Joseph Swan Institute
University of Newcastle upon Tyne
Newcastle upon Tyne, United Kingdom*

EXECUTIVE SUMMARY

According to the activities programmed in WP3, several field works were made during the year to take samples in natural superficial water (rivers) considering the variation of the hydrological periods (dry and wet season) in addition to intermediate periods. Superficial waters with mining impacts were also sampled, sub-surface waters (wells), groundwater (aquifers), soils and sediments.

After the sampling, physicochemical parameters, major cations and anions and heavy metals were analysed. The results were interpreted according to the Bolivian environmental regulations.

This area has an intense mining activity that significantly affects the surface waters in the Poopo lake basin. The Pazña river has very low pH values (2.6). The northern region of the lake Poopo is affected by the foundries that emit significant amounts of pollutants to the air, besides the acid rains caused by sulphur and nitrogen dioxides. The Poopo river, located between the rivers Huanuni and Pazña, has an alkaline pH.

Pazña river shows elevated cadmium, zinc, iron and lead concentrations, but only in the rainy season. The Poopo river shows a high arsenic content mainly in the dry period. Probably the arsenic is Arsenic (V) which plays an important role, and is the most stable oxidation state of arsenic in aerobic conditions.

We have not yet analysed the water cycle in the mining process; it was not possible to obtain permissions to enter to the interior of the mining companies. About the sub-surface water, we found that 85% of the wells present medium salinity and 75% present low sodium concentrations.

The shallow aquifers show medium salinity and low sodium concentration in opposition to the high concentrations of arsenic, cadmium, zinc and copper.

The sediments have high concentrations of lead, cadmium and arsenic.

The present report shows the analysis represented in tables and graphics.

About the relation with the local people, through the workshops organized by CEEDI it was possible to present the results to the population and decide on new sampling points according to the requirements of the people living in the study area.

RESUMEN EJECUTIVO

De acuerdo a las actividades programadas en el WP3, se llevaron a cabo varios trabajos de campo a lo largo del 2007, donde se realizó la toma de muestras en agua superficial natural (ríos), considerando la variación de los periodos hidrológicos (period seco y húmedo o de lluvias) además de la época intermedia. Se realizó el muestreo de las muestras de agua superficial, sub superficial (pozos), agua subterránea (acuíferos), suelos y sedimentos.

Posteriormente al muestreo, se analizaron los parámetros fisicoquímicos, cationes mayoritarios y aniones, además de metales pesados, para poder realizar el tratamiento y evaluación de los resultados de los análisis y su interpretación en función al Reglamento de la Ley del Medio Ambiente.

La región de estudio tiene una intensa actividad minera que afecta al agua superficial de la cuenca del lago Poopó de forma muy significativa. El río Pazña tiene muy bajos valores de pH (2.6). La región norte del lago Poopó está afectada por fundidoras que emiten cantidades significativas de contaminantes al aire, además de las lluvias ácidas que se originan por dióxidos de azufre y de nitrógeno. El río Poopó, ubicado entre los ríos Huanuni y Pazña tiene un pH alcalino. Este río es rico en calcio, carbonatos y cloruros, sulfuros y carbonatos.

El río Pazña muestra concentraciones muy elevadas de cadmio, zinc, hierro y plomo principalmente en la época de lluvias. El río Poopó muestra concentraciones elevadas de arsénico, principalmente en el período seco, probablemente Arsénico (V) que juega un rol importante y que es más estable en condiciones aerobias.

Aún no se cuentan con los análisis del ciclo hídrico del proceso minero, el mismo que no fue posible por no contar con el permiso para entrar al interior de las compañías mineras. Con relación al agua sub superficial, se encontró que aproximadamente 85% de los pozos presentan salinidad media y 75% presenta bajas concentraciones de sodio.

Los acuíferos poco profundos muestran concentraciones medias de salinidad, contrariamente a las de arsenico, cadmio, zinc y cobre. Los sedimentos tienen elevadas concentraciones de plomo, cadmio y arsenico.

En este reporte se presentan los resultados de los análisis en tablas y gráficos.

Respecto a la relación con las poblaciones locales, a través de los talleres organizados por el CEEDI ha sido posible presentar los resultados de los análisis a la población, autoridades locales y público en general, además de coordinar con ellos los nuevos puntos de muestreo, según los requerimientos que tiene la gente que habita esta región.

CONTENIDO

EXECUTIVE SUMMARY	I
RESUMEN EJECUTIVO.....	II
CONTENIDO.....	III
INDICE DE FIGURAS.....	VI
INDICE DE TABLAS.....	VII
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Objetivos	3
2 ANÁLISIS DEL MEDIO ECOLÓGICO DE LA SUB CUENCA DEL LAGO POOPÓ	4
2.1 Introducción.....	4
2.2 Componentes del Medio Físico, Fisiografía.....	4
2.3 Geología y Geomorfología.....	5
2.3.1 Geología	5
2.3.2 Geomorfología.....	5
2.4 Suelos	6
2.4.1 El uso actual de la tierra.....	6
2.4.2 Degradación de los suelos	7
2.5 Clima	8
2.5.1 Diagramas climáticos de la región del Poopó	9
2.5.2 Interpretación de los Diagramas	11
2.6 Hidrología y Recursos Hídricos de la Sub-cuenca de los lagos Poopo y Uru Uru.....	12
2.6.1 Descripción y ubicación de la cuenca.....	12
2.6.2 Usos de agua.....	16
2.6.3 Balance hidrico anual por sub-cuencas.....	16
2.6.4 Estaciones meteorológicas e hidrométricas	16
2.6.5 Variables hidrológicas	18
2.7 Componentes del Medio Biótico	21
2.7.1 Vegetación y flora.....	21
2.7.2 Fauna.....	23
2.7.3 Áreas de protección a los recursos de la biodiversidad	25
2.7.4 Potencialidades y limitaciones del sistema ecológico	25
3 EVALUACION DE LOS RECURSOS DEL LA CUENCA DEL LAGO POOPÓ.....	26
3.1 Planificación del Estudio de Caso	28
3.1.1 Analisis de imágenes SIG	28
3.1.2 Identificación de los puntos de muestreo	29
3.1.3 Recurso suelo	29
3.1.4 Red de monitoreo.....	31
3.2 CAMPAÑA 1: Junio 2007	33
3.2.1 Aguas superficiales	33

3.2.2	Aguas subterráneas (pozos)	34
3.3	CAMPAÑA 2: Septiembre 2007	34
3.3.1	Aguas superficiales	34
3.3.2	Aguas subterráneas.....	36
3.4	CAMPAÑA 3: Noviembre 2007	39
3.4.1	Aguas superficiales	39
3.4.2	Aguas subterráneas.....	39
3.5	CAMPAÑA 4: Diciembre 2007	40
3.5.1	Aguas superficiales	40
3.5.2	Aguas subterráneas.....	41
3.6	Conclusiones.....	43
4	IDENTIFICACIÓN DE FUENTES POTENCIALES DE CONTAMINACIÓN.....	45
4.1	Áreas Mineras en la Región	45
4.2	Depósitos de Rocas Industriales del Área	45
4.3	Yacimientos Metálicos del Área.....	47
4.4	Análisis de los Principales Distritos Mineros.....	48
4.5	Impactos Ambientales de la Minería Cooperativizada	50
4.6	Impacto Ambiental por Fuentes Urbanas.....	54
4.7	Poblaciones en las Provincias.....	55
5	ANÁLISIS DEL MEDIO SOCIO CULTURAL Y SOCIOECONOMICO.....	56
5.1	Minería en el Departamento de Oruro	56
5.2	Agricultura en el Departamento de Oruro.....	57
5.3	Ganadería en el Departamento de Oruro.....	57
5.4	La Mujer Dentro de la Minería.....	57
5.4.1	Funciones de la mujer en la minería	57
5.4.2	Situación actual de las mujeres que trabajan en la minería.....	58
5.4.3	El trabajo de las mujeres mineras en departamento de Oruro.....	59
5.4.4	Producción e ingresos	60
5.5	Niños Mineros	60
5.5.1	Antecedentes	60
5.5.2	Actividades mineras que desarrollan los niños y niñas en la minería	61
5.5.3	El trabajo infantil en Huanuni	62
5.5.4	Efectos del trabajo infantil minero	62
6	DIAGNÓSTICO	63
6.1	Conflicto entre Comunidades Campesinas y Originarias	63
6.2	Situación de los Suelos en la Zona de Estudio	64
6.2.1	Situación de las áreas erosionadas.....	68
6.2.2	Situación de las áreas salinizadas y sodificadas	68
6.2.3	Situación de las áreas con sobrepastoreo	69
6.2.4	Suelos desarrollados sobre llanuras de inundación	70
6.2.5	Suelos afectados por la contaminación minera	70

6.3	Situación de los Cuerpos de Agua en la Zona de Estudio.....	71
6.3.1	Rios de la cuenca del lago Poopo	71
6.3.2	Aguas superficiales con impacto minero: (caso de estudio triangulo Poopo-Antequera-Pazna)	72
6.3.3	Aguas Subsuperficiales: (pozos)	73
6.3.4	Aguas Subterráneas: (acuiferos).....	73
6.3.5	Sedimentos	73
6.3.6	Areas de impacto por contaminación de metales pesados	73
6.3.7	Contaminación antrópica	76
6.3.8	Contaminación del lago Poopó.....	76
6.4	Problemas de Gestion del Recurso Hidrico y Ambientales	77
6.4.1	La problemática ambiental en el contexto de estudio.....	80
6.4.2	Problemas de gestión de recursos hídricos.....	81
6.4.3	Contigencias ambientales.....	82
7	RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES	84
7.1	Del Marco Normativo Nacional	84
7.2	Evaluación Prospectiva de los Recursos Hídricos y su Problemática Ambiental	85
7.3	Regionalización de la Cuenca.....	86
7.4	Análisis Conceptual de Alternativas	89
8	BIBLIOGRAFÍA	90

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 : Mapa político del departamento de Oruro	1
Figura 2 : Estaciones: Caracollo - Oruro	9
Figura 3 : Estaciones: Mina Bolivar - Corque	9
Figura 4 : Estaciones: Pazña - Tacagua	11
Figura 5 : Mapa general, y modelo digital de elevación de terreno en base al NDWI	13
Figura 6 : Precipitaciones medias	18
Figura 7 : Ep calculados para las estaciones del Poopó/Uru-Uru	19
Figura 8 : Descargas de ríos pequeños en Poopo y Uru-Uru	19
Figura 9 : Mapa de uso de Tierras en los Lagos Poopó y Uru Uru	66
Figura 10 : Caracterización de la contaminación minera en la región del Altiplano central	77
Figura 11 : Regionalización de la Cuenca del Lago Poopó	86

INDICE DE TABLAS

TABLA 1 : Uso de la tierra en la subcuenca (km ²)	6
TABLA 2 : Erosion de tierras en la subcuenca (en km ²)	7
TABLA 3 : Parámetros morfométricos del lago Poopó del 1905 y 1977	13
TABLA 4 Parámetros morfométricos de la cuenca Poopó/Uru-Uru	15
TABLA 5 : Resumen de estaciones meteorológicas en Oruro	17
TABLA 6 : Red de puestos hidrométricos en la cuenca de los lagos Poopó/Uru-Uru. (Fuente: IHH)..	17
TABLA 7 : Resumen de variables del balance hídrico de las subcuencas del Poopó a nivel anual	20
TABLA 8 : Determinaciones analíticas en suelos	32
TABLA 9 : Áreas de captación Minera al sudeste de Oruro.....	45
TABLA 10 : Inventario de desechos que causan impacto	53
TABLA 11 : Cobertura de servicios y población urbana de los municipios de la cuenca del Lago Poopo	54
TABLA 12 : Parametros de evaluación de aguas residuales urbanas para Huanuni y Huari	56
TABLA 13 : Oruro: Población Ocupada de 10 años o más por Censo y según actividad económica. Censos de 1992 y del 2001	58
TABLA 14 : Ingresos Netos (Bs/mes).....	60
TABLA 15 : Bolivia: Población Ocupada de 7 a 17 años por sectores de actividad económica, según área de residencia, 2001	61
TABLA 16 : Caracterizacion de los ríos de la cuenca del Lago Poopo	72
TABLA 17 : Sistemas de riego en la cuenca del Lago Poopo	81
TABLA 18 : Características de las regiones	87
TABLA 19 : Matriz de especificación de la problemática ambiental	88

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

El Altiplano, como una unidad fisiográfica, se divide en tres partes: Altiplano Norte, Altiplano Central y Altiplano Sud. Esta división se la hace, principalmente, por el contenido de humedad.

En el Altiplano Norte, cuyo núcleo central es el lago Titicaca, llueve 1.000 mm por año; este grado de humedad va disminuyendo hacia el sur. El Altiplano Central abarca principalmente el departamento de Oruro y muestra un promedio de precipitación entre 300 y 500 milímetros. El Altiplano Sur es una región completamente seca con precipitaciones que van de 100 a 250 milímetros por año.

El Departamento de Oruro (Figura 1) comprende un área de 53.588 km², que corresponde al 5% del territorio nacional se ubica en el 7mo. departamento de Bolivia por su superficie, se constituye en el sector central Oeste del territorio nacional, geográficamente los límites departamentales están ubicados entre los paralelos 17° 30' 45" y 19° 50' 10" de latitud Sur y los meridianos 66° 30' 50" y 69° 00' 15" de longitud Oeste. Políticamente se halla dividido en 16 provincias, con alturas que oscilan de 3692 msnm a 3950 msnm, la capital la ciudad de Oruro se ubica a una altura de 3709 msnm. El departamento comprende las siguientes unidades morfoestructurales: Cordillera Occidental, Altiplano y Cordillera Oriental.

Figura 1 : Mapa político del departamento de Oruro



Los principales recursos naturales a nivel regional son:

➤ Los recursos mineralógicos

El potencial mineralógico del Departamento establece la existencia de yacimientos de minerales metálicos y no metálicos, que se encuentran repartidos en las cordilleras Real, de los Frailes, Azanaques y la Occidental, como en las serranías del altiplano y en la serranía intersalar. En estas zonas se encuentran depósitos de:

- Minerales metálicos: Estaño, Antimonio, Wolfram, Cobre, Plata, Plomo, Zinc, Oro, Bismuto, Mercurio y Manganeso.
- Minerales no metálicos: Materiales cerámicos (arcilla, feldespato y cuarzo), Materiales para la construcción (cal, arena y grava, yeso, piedra), Materiales químicos, metalúrgicos y refractarios (azufre, sal gema, piedra caliza, fluorita, baritina, borax, caolín), Materiales industriales (arena silíceo, baritina, turba) y Materiales fertilizantes y abonos (fosfato, yeso, cal, azufre).

➤ Recursos hídricos.

El departamento de Oruro forma parte de la Cuenca Endorreica del Altiplano, que comprende los lagos: Titicaca, Poopó y Coipasa. Tiene en el Río Desaguadero como principal Río de integración, además cuenta con una serie de ríos de menor caudal provenientes de las cordilleras Oriental y Occidental que nutren la cuenca.

Según datos morfológicos el Altiplano corresponde a una fosa o depresión sobre cuyo basamento se depositan considerables espesores de sedimentos cretácicos, terciarios y cuaternarios, en este contexto se ubica en el departamento de Oruro el Lago Poopó con una altura promedio de 3686 msnm y una superficie de 2240 Km²; el lago Uru Uru con 214 Km² de superficie y el Salar de Coipasa que abarca una extensión de 2272 Km², conformando los dos primeros la Subcuenca del Lago Poopó y el último la Subcuenca del Salar de Coipasa.

➤ Recursos agropecuarios y de suelos.

Considerando la zonificación agropecuaria del Departamento que plantea 6 zonas, sus características son las siguientes:

- La primera zona está constituida fundamentalmente por la Provincia Cercado, con gran influencia del Lago Uru Uru el cual fue formado por rebalse del Río Desaguadero. Esta formada por enormes planicies. Los suelos en muchas áreas se encuentran afectadas por salinidad debido a las continuas inundaciones. La vegetación principal es la Yareta, Paja Brava y Thola, los cultivos corresponden a quinua, papa, haba, cebolla, forrajes y hortalizas. La crianza de ganado bovino, ovinos, camélidos y porcinos.
- La segunda zona, está formada por suelos superficiales a muy superficiales, con agricultura incipiente desarrollada en laderas de la cordillera. Esta constituida por la provincia Dalence, el norte de la provincia Poopó, y una parte de la provincia Cercado. Esta zona es eminentemente minera; el 70% corresponde al área cordillerana y el 30% es subcordillerana, influenciada por la parte sud del lago Uru Uru. En la parte cordillerana se crían ovinos, vacunos y porcinos. Aprovechando algunos microclimas se cultivan especies forrajeras, quinua, papa y haba.
- La zona 3, está comprendida por las provincias Sajama, Litoral, Atahuallpa, Mejillones y el Oeste de las provincias Nor y Sur Carangas, donde se cultivan quinua y papa, con tecnología tradicional. La subzona correspondiente a la parte Oeste de las provincias Nor y Sur Carangas, se caracteriza por presentar una cadena de montañas (Serranías de Corque y Huayllamarca), que encierran microclimas favorables para el cultivo de hortalizas, trigo y quinua; además de hacer posible una ganadería de tipo intensivo (camélidos). Los suelos de la parte Oeste de Sajama y en el Norte de Atahuallpa, se caracterizan por una alta concentración de ceniza volcánica, y presencia de bofedales favorables para la crianza de camélidos. En el área que ocupan los Chipayas, los suelos se encuentran afectados por salinidad casi en su integridad.
- La zona 4, constituyen los pie de monte y son áreas potencialmente agrícolas, especialmente en los abanicos aluviales y los glaciares de pie de monte con pendientes más suaves, con una provisión de agua aceptable durante la época de lluvias. Estas tierras son aptas para el cultivo

de quinua, cebada, haba y forrajes. Esta conformada por la provincia Avaroa, y la parte sud de Poopó.

- La zona 5 esta constituida por las provincias S. Pagador y Ladislao Cabrera. Por su posición geográfica, por sus características ecológicas, es considerada como parte del Altiplano Sud. El cultivo típico y tradicional, es la quinua, adaptada a las difíciles condiciones de la región, como las bajas precipitaciones, suelos arenosos cuarzíticos. Las áreas sembradas, sobrepasan las 3000 hectáreas (MACA, 1990) y su rendimiento por hectárea fluctúa entre los 350 a 450 kg. Otros cultivos corresponden a forrajes, especialmente cebada. Asimismo, existe una zona ganadera muy renombrada para la crianza de camélidos y es el triángulo formado por Huari, Quillacas y Sevaruyo.
- La zona 6 comprende dos sub-zonas, la primera, con dunas en formación y los valles de deflación, que constituyen lugares favorables para la agricultura, donde se cultiva haba, papa y otros tubérculos. En la segunda, los suelos son superficiales a muy superficiales, propensas a la acción de la erosión, constituyendo el principal factor limitante para el uso agrícola. Esta conformada por la provincia Saucari, además del sud-oeste de Cercado y el Este de Nor y Sur Carangas. Parte de la zona esta abastecida con agua del Río Desaguadero. Existen algunas serranías, en el Altiplano Central, como Llanquera, Chuquichambi y La Joya. La crianza de ovinos es su actividad económica principal.

Este contexto permite establecer el área de evaluación, que comprende la cuenca del Lago Poopó, con énfasis en la zona árida con influencia minera el triángulo Poopó – Pazña – Antequera, en el marco general de la problemática de la región altiplánica, cuya interrelación no se halla delimitada por la división política, sino en la conformación de ecosistemas cuyas características se basan en los recursos hídricos disponibles, por ello metodológicamente se plantea la evaluación considerando:

- a. El marco de referencia global, que se establece por las características de la formación regional y el estado actual de los recursos naturales, donde los parámetros poblacionales tienen una fuerte incidencia sobre la problemática ambiental.
- b. La comprensión de los sistemas hídricos, mediante una descripción global, que permita establecer los alcances de la temática de evaluación.
- c. La contextualización de los problemas ambientales, relacionados a los recursos hídricos, según la información disponible, considerando la naturaleza de la problemática.
- d. La evaluación situacional, sus restricciones y prospectiva, en relación a los problemas expuestos.

1.2 Objetivos

El proyecto CAMINAR desarrollara alternativas de políticas, estrategias y tecnologías para el manejo sostenible de cuencas afectadas por la minería en regiones áridas y semiáridas de Sudamérica.

CAMINAR Bolivia, tiene por objetivos en esta primera etapa:

- Producir una evaluación multidisciplinaria de los recursos naturales con énfasis en el recurso agua en zonas aridas considerando los usos de los ecosistemas relacionados con el impacto minero en la cuenca del Lago Poopo
- Producir un plan de cuenca participativo para un manejo sostenible de la cuenca del Lago Poopo.

2 ANÁLISIS DEL MEDIO ECOLÓGICO DE LA SUB CUENCA DEL LAGO POOPÓ

2.1 Introducción

El presente documento representa la compaginación de una serie de trabajos realizados por diferentes instituciones e investigadores que han generado conocimiento sobre toda la región del altiplano, situación que se reconoce en la lista de publicaciones adjuntas al presente documento de Diagnóstico.

La Sub-cuenca del Lago Poopo es parte integrante de todo un sistema hídrico denominado Titicaca – Desaguadero – Poopo y Salares (TDPS) que constituye la cuenca cerrada o endorreica del Altiplano del Perú y Bolivia, esta se encuentra dispuesta en las regiones altas de los Andes centrales de Sur América entre la cordillera occidental de Los Andes, la misma que se divide en el nudo cordillerano de Vilcanota (Perú) para formar la cordillera oriental de los mismos Andes en territorio boliviano, entre estas dos cordilleras surge el gran altiplano formando un sistema endorreico, que se proyecta desde alturas superiores a los 5500 msnm en las grandes cumbres andinas y las áreas sedimentarias que llegan a los 3600 msnm en el propio altiplano boliviano.

La sub-cuenca del lago Poopo, se encuentra en su totalidad en territorio boliviano y mas específicamente en el departamento de Oruro con las siguientes coordenadas geográficas: 66° 18' - 67° 56' de longitud oeste y 17° 07' y 20° 01' de latitud sur, la superficie total es de 24013 km² significando el 16 % del área total del sistema TDPS (Calisaya et al 2007)

La estructuración de la actual sub-cuenca, se ha dado producto de los sucesivos cambios geológicos e hidrológicos hace miles de años atrás, después de la desaparición del último sistema paleo-lacustre que existió.

2.2 Componentes del Medio Físico, Fisiografía

La sub-cuenca del Poopo se halla en la parte sur del altiplano, no es una superficie completamente plana, se presentan cadenas de montañas de alturas variables hacia el este que pueden llegar hasta los 5300 m. plena zona de cordillera donde existen nevadas estacionales o picos que se cubren de nieve en determinada época del año, la subcuenca del Poopo abarca parte de la cordillera central de Azanaques que empieza en el paralelo 18° extendiéndose hacia el sur, existen en estas áreas “mesetas” de lava como Morococala y Livichuco abarcando extensiones de hasta 1.000 km².

Entre los picos altos se encuentran el Wila Kholu con 5.144 m y Azanaque (5102 m), existen serranías dispuestas a alturas intermedias que alcanzan altitudes de hasta 4700 m con cumbres en procesos de erosión y laderas de exposición variada aunque predominantemente con exposiciones hacia el este donde se tienen laderas escarpadas y la de exposición oeste con pendientes mas moderadas donde se presentan asentamientos mineros de gran importancia.

A alturas comprendidas entre los 3700 a los 4 300 m se encuentra el pie de monte, donde es posible encontrar las terrazas de sedimentación y donde existe actividad ganadera primordialmente y agricultura de parcelas en rotación, estas áreas sin embargo son restringidas ya que se proyectan en el fondo de los valles altos, en este contexto de serranías también se encuentra concentrada la presencia de minas y concesiones mineras que interactúan con la dinámica de apropiación agrícola – pecuaria.

En el centro de la subcuenca Poopo, se tiene la planicie aluvial comprendida entre los 3700 m en el norte y 3600 m hacia el sur, en esta altiplanicie escurre sus aguas el río Desaguadero y sus afluentes al norte para formar los lagos Uru –Uru y el Lago Poopo mas hacia el sur.

Hacia el oeste de la subcuenca, se proyectan grandes planicies de sedimentación con alturas ascendentes hacia el oeste, que forman mesetas de altura y valles de altura hasta la zona de la cordillera occidental, en esta altiplanicie se encuentran algunas cadenas montañosas de baja altura como la serranía de Huayllamarca que delimitan la subcuenca del Poopo, con la de los Salares de Coipasa.

Hacia el norte, se proyecta la serranía de Sica – Sica hasta San José en Oruro. En forma paralela a esta se encuentra el río Desaguadero que abastece a los lagos Uru – Uru y Poopo, estas serranías de alturas que pueden llegar a los 4000 m, tienen mineralizaciones que han dado lugar a la explotación minera, del estaño y actualmente del oro y la plata.

Hacia el sur del Poopo, existe un solo río el Lakajahuira que escurre las aguas del Lago en condiciones fluctuantes según la época de lluvias y la época de estiaje.

Oruro esta localizado en el altiplano central entre 3660 a 3805 msnm, cercada por la cordillera Occidental en el oeste y la cordillera Oriental al este.

2.3 Geología y Geomorfología

2.3.1 Geología

La cordillera Oriental está formada por sedimentos siliclásticos marinos, Ordovícicos a devónicos, con estructuras plegadas, formando un ambiente de contra arco, los sedimentos son de origen continental cretáceos a terciarios.

La actividad intrusiva y volcánica del mioceno produjo domos intrusivos, como también grandes placas de ignimbrita, por lo cual Oruro es un complejo domo de flujo dacítico con yacimientos polimetálicos encajonados en dacitas, brechas y sedimentos paleozoicos.

En el glaciar cuaternario los procesos lacustres, fluviales y eólicos formaron sedimentos, los depósitos lacustres corresponden al desarrollo de grandes lagos interglaciares, que cubren el Altiplano, estos alcanzaron un alto grado de salinidad.

El Altiplano tiene grandes depósitos del cuaternario, de espesor variable.

Las características geológicas de la subcuenca Poopó se resumen en dos: a) rocas silúricas formadas en un ambiente de trasarco, no apreciándose depósitos mesozoicos y b) sobre los depósitos silúricos existen sedimentos cuaternarios controlados por procesos glaciares, lacustres y fluviales (basado en Carta Geológica de Bolivia, hoja Machacamarca, 1992).

Estos depósitos han resultado de procesos sedimentarios y tectónicos correspondientes a diferentes fases y ciclos. Los depósitos antiguos corresponden al denominado ciclo cordillerano (Ordovícico Superior-Devónico Superior). La formación más antigua es la formación (Fm.) Cancañiri, caracterizada por diamictitas, limolitas y areniscas, presentando facies de turbiditas asociadas a flujo de detritos. Por encima se encuentra la Fm. Llallagua, en la que predominan las areniscas y facies turbidíticas de plataforma. Suprayacente está la Fm. Uncía, consistente en lutitas con facies de plataforma distal a media. Esta unidad evidencia una importante transgresión que clausuró el ciclo. El desarrollo continuó con la Fm. Catavi, que comprende areniscas intercaladas con lutitas y limolitas (ambientes de plataforma proximal y playa), lo que indica un ciclo regresivo.

Al periodo lacustre Minchín corresponden los depósitos de calizas gris blanquesinas de la Fm. Minchín, desarrolladas como costras sobre los afloramientos paleozoicos.

En el pie de la cordillera oriental, se reconocen depósitos coluvio fluviales; donde el sistema fluvial del río Desaguadero desemboca en el lago Uru Uru, los sedimentos son de tipo fluvio-lacustre. En los paleomárgenes del lago se reconocen abanicos aluviales de baja pendiente (margen oeste y suroeste del lago). Las llanuras de inundación están asociadas a depósitos aluviales. Finalmente, se aprecian depósitos eólicos que conforman láminas de arena y campos de dunas (margen sureste y norte del lago).

2.3.2 Geomorfología

Al sur de la subcuenca del Desaguadero, el altiplano se divide en dos: la cuenca del lago Poopó y la del Salar de Coipasa. La cuenca del lago Poopó ocupa el sector suroriental del altiplano y representa el 17,3% del Sistema TDPS. El sector oriental de la cuenca, al este del lago, está conformado en su mayor parte por vertientes sedimentarias disectadas de la Cordillera Oriental, salvo en el extremo

sureste donde afloran las rocas volcánicas. Este sector montañoso se caracteriza por un denso retículo hidrográfico favorable a un escurrimiento rápido. La zona central y occidental de la cuenca está conformada, además del lago, por llanuras y terrazas fluvio-lacustres, con áreas de acumulaciones eólicas, las cuales moderan la velocidad de las aguas. Estas llanuras, pero especialmente sus áreas más deprimidas, están sujetas a inundaciones periódicas y variables en las épocas de lluvias.

Antes de llegar al lago Poopó, a la altura de la localidad de Chuquiña, aguas abajo de La Joya, el Desaguadero se bifurca en dos brazos (derecho e izquierdo); el primero encamina sus aguas directamente al lago Poopó y el segundo desemboca en el lago Uru Uru, el que también está conectado al Poopó. Además del Desaguadero, cuya cuenca aguas abajo de La Joya se ha incluido en la cuenca del lago Poopó, existen otros ríos de relativa importancia dentro de la cuenca de este lago que son el Márquez, el Huana, el Crucero y el Sevaruyo. En épocas de excedencia, el lago Poopó vierte sus aguas al Salar de Coipasa a través del Río Laca Jahuirá, que tiene una longitud de 130 km y discurre en dirección este-oeste.

2.4 Suelos

Son de poco desarrollo y superficiales en las zonas de altura y montañosa y sedimentarios en las planicies, el uso está asociado a estas condiciones.

2.4.1 El uso actual de la tierra

TABLA 1 : Uso de la tierra en la subcuenca (km²)

USO/Zonas Hidrológicas	Medio Desaguadero	Poopo y Salares
1. Cultivos	87.27	681.39
2. Pastos	829.07	3,450.62
3. Cultivos/pastos	1,108.68	1,013.51
4. Cultivos/pastos/arbustos	3,901.39	13,211.44
5. Vegetación arbustiva	851.71	1,172.56
6. Bosques	-	658.00
7. Afloram. Rocosos	2,282.00	21,495.69
8. Arenales/pedregales	463.83	5,212.45
9. Tierras Salinas	17.78	3,416.30
10. Salares	4.85	1,765.05
11. Carcavas (bad lands)	2,349.88	382.01
12. Tierras inundables	54.95	834.20
13. Vegetación acuática	-	113.82
14. Cuerpos de agua	1.62	3,134.07
15. Nieve permanente	-	31.18
16. Areas urbanas	-	6.24
TOTALES	11,953.03	56,578.53

Fuente: Plan Director Binacional.

2.4.2 Degradación de los suelos

Los principales procesos de degradación de los suelos son la erosión, la salinización, la compactación y la pérdida de fertilidad. Todos ellos generan una disminución de la capacidad productiva de los suelos de la región.

Erosión

Como consecuencia de la sobreexplotación del suelo en actividades agrosilvopastoriles, de la minería y de otras acciones antrópicas responsables de la denudación del suelo o del empobrecimiento de la cubierta vegetal, por un lado, y por otro de la acción de los agentes naturales (la lluvia, la sequía, el viento) sobre los suelos desprotegidos, los procesos erosivos han podido desarrollarse en gran medida en la región, generando un fuerte aporte de sedimentos a la red hidrográfica, que en buena medida es responsable de las inundaciones a lo largo de los principales ríos (por colmatación de sus lechos) y de la lenta sedimentación de sus depresiones y lagunas.

La Tabla 2 muestra la importancia de la erosión en las distintas cuencas y en la totalidad del TDPS. Se ha considerado sólo la erosión hídrica superficial y la erosión eólica, puesto que las demás formas de erosión (erosión glaciaria, movimientos en masa) son de poca significación en la región. No se ha separado la erosión de origen antrópico de la erosión geológica, dado que a este nivel tal separación es muy artificial, sobre todo si se tiene en cuenta que la región fue desprovista de su vegetación natural casi en su totalidad, mediante una acción antrópica continuada que lleva ya varios milenios de prácticas agropastoriles.

TABLA 2 : Erosion de tierras en la subcuenca (en km²)

Cuenca	Hídrica Superficial			Eólica			Total
	Ninguna o Ligera	Moderada	Severa	Muy Severa	Moderada	Severa	
M. Desaguadero	2.990	6.609		2.350		2	11.951
Poopó-Salares	28.245	8.408	11.380	382	4.717	313	53.445
Total	31.235	15.017	11.380	2.732	4.717	315	65.396

Nota: Sin cuerpos de agua.

Fuente: Plan Director Binacional

Se observa que la erosión hídrica superficial es el proceso predominante en toda la región. Su máxima expresión, las cárcavas o *badlands*, combinadas a veces con deslizamientos o derrumbes de los bordes de las cárcavas. Este nivel de erosión es particularmente importante en la cuenca del Medio Desaguadero, aunque también afecta pequeñas superficies de otras cuencas.

La erosión severa se caracteriza por procesos de escurrimiento difuso intenso y/o erosión laminar generalizados, con una alta frecuencia de escurrimiento concentrado en surcos y cárcavas, fenómenos éstos que han destruido el suelo en su mayor parte. En general, los procesos de erosión severa y muy severa están asociados a las unidades geomorfológicas de terraza degradada, colinas disectadas, montañas disectadas y meseta volcánica degradada.

La erosión moderada se caracteriza por procesos de escurrimiento difuso intenso y erosión laminar generalizados, con algunas cárcavas aisladas. Este tipo de erosión se encuentra especialmente en las unidades de meseta volcánica, colinas, montañas y piedemontes no disectados.

Finalmente, las tierras con erosión ligera a nula corresponden por lo general a las tierras planas de las llanuras y terrazas lacustres, salvo las depresiones con erosión eólica.

La erosión eólica, caracterizada por procesos de deflación y acumulación de poca magnitud, localizadas en su casi totalidad en la cuenca del Poopó-Salares. Fenómenos eólicos de intensidad severa sólo se encuentran en unos 313 km² (0,2%) de esta misma cuenca y 22 km en la del Medio Desaguadero.

Salinización de suelos

La salinidad del Río Desaguadero crece desde su nacimiento hasta el Lago Poopó. Aguas arriba de La Joya alcanza valores entre 1 y 2 g/l, pero Aguas abajo puede llegar a más de 2 g/l.

En el Lago Poopó la salinidad llega hasta más de 100 g/l. Algunos afluentes del Desaguadero también pueden tener altas concentraciones salinas.

De hecho, existen en la región cerca de 3.449 km² de tierras salinas, equivalentes al 2,4% de la superficie total de la región (2,6% de las tierras), las cuales están localizadas principalmente en las cuencas del Poopó-Salares y del Desaguadero, aunque también hay unos pocos km² en la cuenca del Titicaca.

Compactación de los suelos

La compactación de los suelos es debida especialmente al sobrepastoreo de ganado vacuno en las praderas de la puna. En efecto, el continuo pisoteo del ganado, además de destruir los pastos naturales, hace que el suelo pierda su estructura superficial y se compacte, dificultando el rebrote de la vegetación. Se considera que los camélidos no causan compactación del suelo debido a su menor peso corporal, pero también a la forma y pequeño tamaño de las pezuñas, las cuales maltratan menos el pasto.

Pérdida de fertilidad del suelo

El nivel tecnológico de la agricultura en el altiplano se caracteriza por un bajo uso de fertilizantes y agroquímicos, especialmente en las zonas más deprimidas o de microfundio, por lo cual la productividad es baja y decreciente.

El mayor uso de agroquímicos se da en el cultivo de aquellos productos alimenticios que tienen gran demanda en el mercado y está limitado a compuestos nitrogenados y fosforados (nitratos, fosfatos y úrea).

Las temperaturas normalmente bajas que imperan en el altiplano agravan el problema, pues la velocidad de descomposición de la materia orgánica es muy baja y, en consecuencia, la restitución de nutrientes también lo es. Por esta razón, en la agricultura tradicional, basada en abono orgánico, se debe dejar descansar el suelo por un tiempo suficiente para permitir que la materia orgánica agregada o remanente se descomponga y surta sus efectos sobre los cultivos. Si se desea obtener altos rendimientos y tener por lo menos un cultivo anual, es necesario aplicar periódicamente fertilizantes químicos, acompañados de abonos orgánicos de más rápida descomposición que los utilizados actualmente, tales como gallinaza, porcínaza u otros.

2.5 Clima

El clima en la región del altiplano boliviano, se lo define como “**tropical de altura**”, ya que por efectos de la baja latitud hacia el sur, este se encuentra dentro del cinturón tórrido ecuatorial, con las consecuencias de un **alto goce de radiación solar**, casi la mayor parte del año, sin embargo por efectos de la variación altitudinal (3600 a 5700 msnm) y tomando el gradiente térmico altitudinal, los valores de temperatura presentan rangos comprendidos entre los 25 °C durante el día hacia los meses más cálidos y con valores de -15 a -18 °C durante la noche en los meses más fríos. Regularmente existen variaciones de hasta 20 a 25 °C entre los registros diurnos y los nocturnos. Por lo mencionado el clima en la parte sur de la cuenca del Altiplano se lo define como “árido y frío”, con dos estaciones bien marcadas, una estación seca hacia el invierno y otra húmeda hacia el verano.

De acuerdo a una regionalización climática realizada en la cuenca de los lagos Poopó/Uru-Uru, en base a la tasa entre la precipitación y evapotranspiración potencial, Calizaya et al, 2006 da cuenta que los dos tercios del total de la cuenca, parte norte, es semi-árido y el resto de la cuenca, parte sur, es árido (Pillco & Bengtsson, 2006).

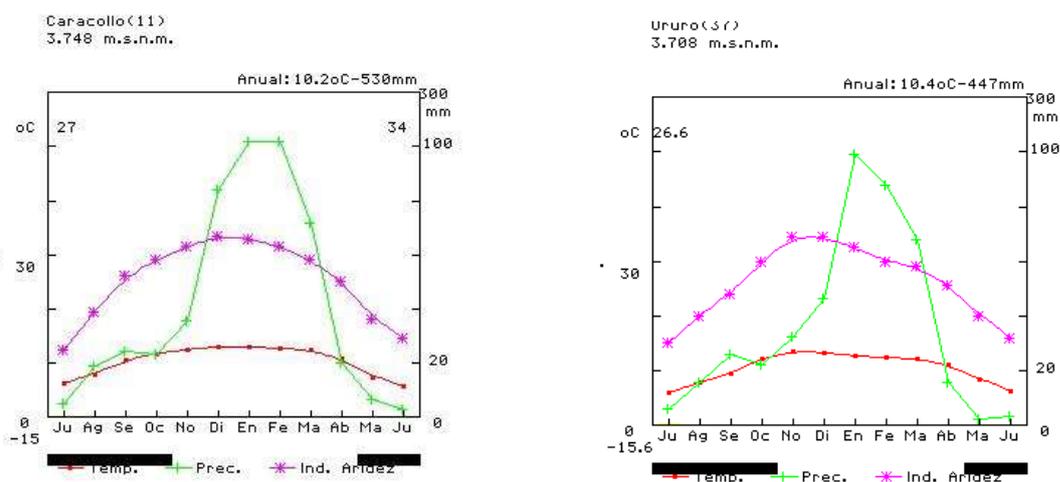
2.5.1 Diagramas climáticos de la región del Poopó

Estos diagramas se elaboraron (Lorini, J. 1993) en base a la información estadística de registro en las estaciones meteorológicas disponibles a la metodología de Walter et Lieth, incorporando del mismo modo para el cálculo de la aridez la metodología de Schreiber, D (1981) que contempla correcciones altitudinales por efectos de variación en la presión atmosférica y en la temperatura.

2.5.1.1 Sector norte de la sub-cuenca

Estación Caracollo, con 11 años de registros y estación Oruro con 37 años de registros pluviométricos

Figura 2 : Estaciones: Caracollo - Oruro

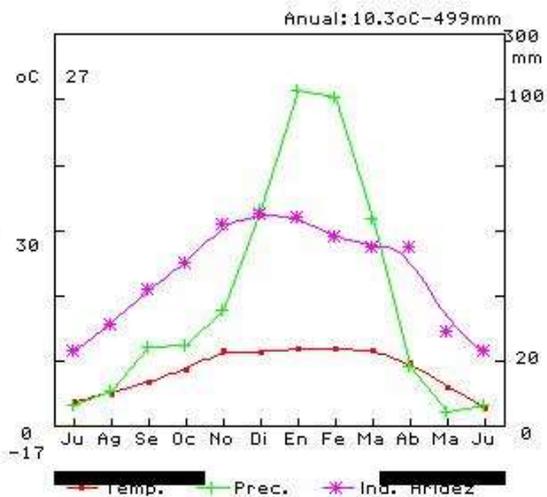


2.5.1.2 Sector central de la sub-cuenca

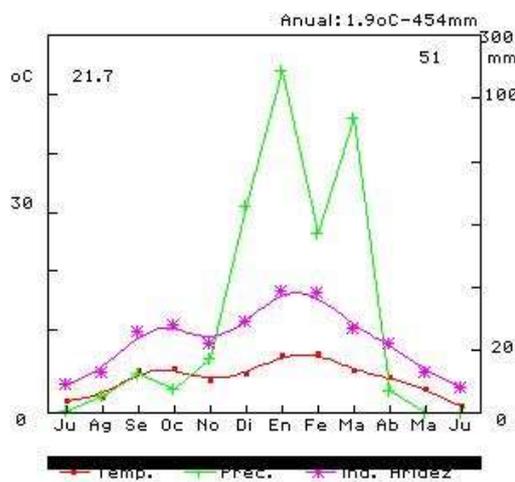
Estación de Mina Bolivar en la cordillera de Azanaque y de Pazña en la altiplanicie del Lago Poopó.

Figura 3 : Estaciones: Mina Bolivar - Corque

Bolivar (10)
4.200 msnm



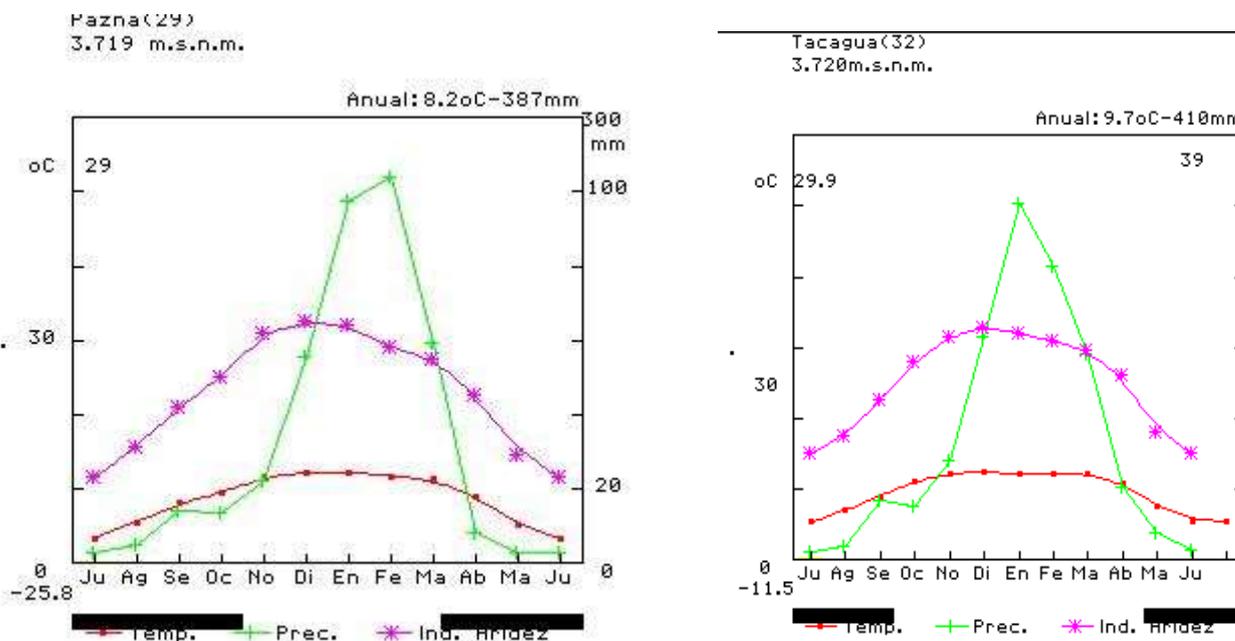
Corque(7)
3.929 m.s.n.m.



Temp referencial de region cercana

2.5.1.3 Sector sur de la sub-cuenca

Figura 4 : Estaciones: Pazña - Tacagua



2.5.2 Interpretación de los Diagramas

La subcuenca del Poopo, se proyecta al norte desde la localidad de Caracollo donde las condiciones climáticas, son mas benignas ya que la oferta de humedad es mayor con precipitaciones que llegan a promediar 530 mm, estas se distribuyen desde el mes de noviembre hasta el mes de abril, para luego disminuir pronunciadamente hacia los meses del invierno. A medida que recorremos hacia el sur, la humedad se va restringiendo, en la estación Oruro la precipitación baja a un promedio de 447, con esa misma distribución monomodal.

El índice de aridez es extremadamente alto, la mayor parte del año, los meses de mayo hasta octubre, se presentan áridos, siendo los mas extremos septiembre y octubre, por el hecho de que al existir poca nubosidad en el día y la alta radiación reinante durante el día, las condiciones de sequedad son muy altas con valores de humedad relativa muy bajos (Lorini, J. 1982).

Las temperaturas medias alcanzan los 10.4 °C, con 5 meses “libres” de heladas, situación que permite una actividad agrícola de menor riesgo, aunque si el año se presenta seco, con poca nubosidad, determina una fuerte irradiación nocturna que genera heladas esporádicas.

Las estaciones del sector central de la subcuenca, la presencia de serranías altas hacia el sector este, condiciona que ciertos sectores presenten precipitaciones orográficas y posiblemente con mayores promedios. Hacia el oeste sin embargo, la presencia de altiplanicies extensas, hacen que las lluvias sean limitadas en este sector. La aridez se manifiesta visualmente, cuando en las épocas de los vientos de cambio (agosto, septiembre) se levantan corrientes de viento que arrastran mucho polvo, ya que los suelos denudados presentan mucha sequedad.

En Mina Bolivar la misma que se encuentra a alturas superiores a los 4000 m, en la cordillera de Azanaque, condiciones de humedad son mayores por efecto de la precipitación orográfica que a veces se presenta como nival, la distribución es de igual manera con dos estaciones marcadas; En la estación de Pazña, situada en las terrazas de pié de monte y hacia el centro-sur de la sub-cuenca a menor altura la lluvia disminuye a 337 mm en el promedio, de igual manera esta región se constituye en fuente importante de producción agropecuaria por efecto de las altiplanicies que cuenta y valles amplios, con

pastizales, el clima en este ámbito geográfico si bien es mas árido, con menor disponibilidad de agua, existen microclimas formados por efecto de la protección de las serranías.

En la estación de Corque situada en la Provincia Carangas a una distancia estimada de 100 km hacia el Oeste sobre una latitud similar a la de la población de Poopo, la lluvia disminuye en unos 100 mm, siendo en esta región las temperaturas mas frías y extremas, llegando a valores medios de 1.9 °C, con la particularidad que todos los meses del año presentan heladas nocturnas, por lo que esa región solo es de pastoreo extensivo, la actividad agrícola estaría condicionada a pequeños valles protegidos de vientos. En esta región no existe actividad asociada a una minería de magnitud.

En esta región central de la subcuenca rodeada de montañas altas hacia el este, la dirección de los vientos y exposición de las laderas determina formación de microclimas en los distintos valles de altura.

En el sector sur, la estación representativa es la de Tacagua, distante a 120 km al sur de la ciudad de Oruro, se proyecta a una altura de de 3720 m, al fondo de un valle amplio de altura, donde precisamente existe una presa construida en la década del 1940 y que todavía tiene condiciones de uso para fines de riego. En esta región montañosa de serranías intermedias, las lluvias se presentan con un promedio de 410 mm y en las partes altas del valle las precipitaciones orográficas pueden ser mayores, la temperatura promedio es de 9.7 °C, con 5 a 6 meses “libre” de heladas, las condiciones son mas benignas por lo que la producción agrícola es intensiva en terrazas y llanuras de inundación, siendo hacia la parte baja del valle una gran área de producción de pastos con fines ganaderos. En las serranías que bordean el valle han existido intentos de abrir actividad minera, sin embargo por el microclima benigno y de los suelos, los pobladores locales no permiten nuevas experiencias de minería que pudieran perjudicar la región, con posibles afectaciones de contaminación hídrica.

En el común de la interpretación de los vientos, los “surazos” provenientes del este (anticiclón del atlántico sur), poseen mas humedad y de mejores condiciones térmicas, de esa manera las pendientes con exposición al este, poseen mas vegetación de gramíneas estacionales y de arbustales. Por otra parte los vientos del oeste, por su condición y efectos de la corriente fría de Humbolt, y del anticiclón del pacífico sur son mas escasos en humedad y fríos lo que determina que ciertas regiones que son mas expuestas a estas corrientes son mucho mas gélidas y de menor humedad.

2.6 Hidrología y Recursos Hídricos de la Sub-cuenca de los lagos Poopo y Uru Uru

La existencia de los recursos hídricos en la cuenca, en gran medida, se da por la contribución reducida de las lluvias y de los rebalses provenientes del lago Titicaca a favor de los lagos Poopó/Uru-Uru. En tanto la pérdida casi única y mayor de este recurso se da por medio de una alta evaporación, afectándose en gran manera en el aprovechamiento y en desarrollo de la zona.

La información mostrada es una combinación entre la que fue colectada con la cooperación de ASDI/SAREC, el SENAMHI, medios literarios publicados y otros en proceso de publicación.

2.6.1 Descripción y ubicación de la cuenca

Esta cuenca esta ubicada en la parte central del Altiplano, entre las coordenadas 66°18' - 67°56' de longitud oeste 17°07' - 20°01' de latitud sur, sobre una elevación desde 3700 en la llanura a 5400 msnm en la parte de la cordillera oriental; la superficie total es de 24013 km².

2.6.1.1 Descripción de cuerpos de agua

Lagos Poopó y Uru-Uru

Parámetros morfométricos sobre los anteriores trabajos vienen resumidos en la Tabla 3.

TABLA 3 : Parámetros morfométricos del lago Poopó del 1905 y 1977

Autores	A	h_{\max}	\bar{h}	\bar{h} / h_{\max}	V	D_L
	km ²	M	M	-	Km ³	-
Neveu-Lemaire	2530	2.50	1.40	0.56	3.542	
B. Boulangé	2650	2.20	0.97	0.44	2.569	1.69

El lago Uru-Uru siempre tiende a secarse en la estación seca. Cuando el flujo por el Desaguadero es alto, el espejo máximo de agua puede ser de 350 km², por lo general es alrededor de 120 km². La profundidad máxima es de 0.75 m.

Siendo que, la profundidad máxima del lago es de 3.5 m, el modelo utilizado solamente considera profundidades entre 2.3 - 3.5 m. El resto de la topografía del lago fue interpolado a partir de los anteriores valores indicados. La correlación entre los valores de MDE para los datos existentes es de 0.84. El mapa digital de terreno del lago, construido sobre los valores de NWDI esta expuesto en la siguiente figura .

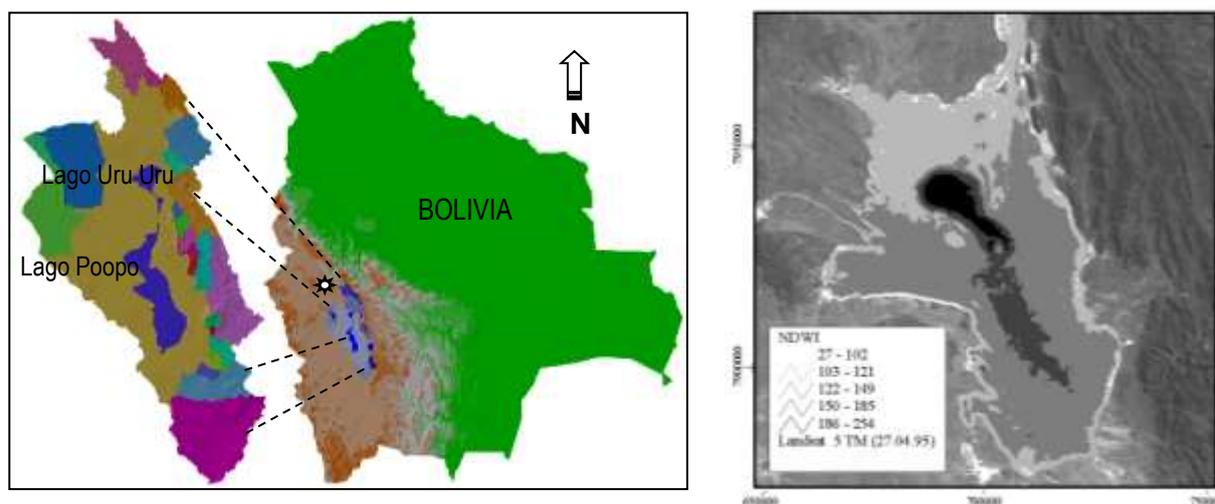


Figura 5 : Mapa general, y modelo digital de elevación de terreno en base al NDWI

(obtenido sobre Landsat 5 TM (27/04/1995))

La profundidad máxima hallada del Lago Poopó es de 3.5 m., el cual corresponde a un área máxima de 3000 km² aproximadamente de espejo de agua. De la misma forma, se estableció la altura del vertedero de desagüe del lago en 3687.15 msnm. Los parámetros hallados en esta parte del lago, son mayores a los expuestos por los anteriores autores. A partir de los mapas y curvas hipsográficas hallados y ecuaciones definidas, es posible predecir parámetros morfométricos importantes para los lagos, como para fines de navegación y pesca, del cual dependen las vidas de varias comunidades alrededor del Poopó en particular. Las siguientes relaciones fueron obtenidos por Pillco & Bengtsson (2006):

$$A_{po} = 400 + 400 * h + 300 + h^2$$

$$A_{ur} = 370 * h$$

Donde la profundidad (h) viene en metros y el área (A) en km².

2.6.1.2 Cuenca hidrográfica

De acuerdo a imágenes de satélite y mapas topográficos, la cuenca de los lagos Poopó/Uru-Uru ocupa una de las zonas depresivas del Altiplano. Por el este está limitada por la cordillera central Oriental de los Andes y en la parte norte-oeste por la serranía de Corque, extendiéndose a través de algunos picos distribuidos de bajas alturas como San Pedro de Sumahualla, Posan, San José, Chicu Paya y Cura Huaray, hasta nuevamente unirse al macizo de los Andes en la parte Sur. La cuenca de drenaje tanto en el sector norte y sur-oeste presenta unas áreas bajas.

En ambas áreas se desarrollan dos ríos, en la parte aguas arriba el Desaguadero que se conecta al lago Titicaca, en la parte sur el río Laka Jawuira que conecta a los salares Coipasa y Uyuni. Esta configuración hidrográfica define a la cuenca del Poopó/Uru-Uru como un sistema exorreico.

Gran parte de la cuenca esta representada por planicies inmensas, que se extiende desde la población de Chuquiña hasta Río Mulatos en dirección norte-sur y en dirección perpendicular desde la poblaciones de Andamarca hasta Challapata. Esta zona está caracterizada por material heterogéneo de tipo fluvial lacustre, de origen aluvial y coluvial, en particular en las cercanías de los cuerpos de agua son presentes suelos salinos en láminas delgadas compuestos de arena y arcilla. Las laderas y las regiones montañosas están presentes en menor proporción respecto a la inmensa llanura de la cuenca; pero en esa región se origina los ríos, con una característica general de una red de drenaje muy baja; además zonas con predominio de suelos rocosos y poco profundos.

La cuenca presenta tres tipos de zonas orográficas: a) la montañosa, que recorre de norte a sur la cuenca en su parte oriental; b) la región norte-oeste con menor pendiente; y finalmente c) la parte de llanura fluvio-lacustre que rodea a los lagos hasta entremezclarse con las riberas. La identificación de las subcuencas correspondientes a la zona montañosa fue realizada mediante interpretación del relieve topográfico y curvas de nivel, en tanto que la delimitación de las subcuencas de la región norte-oeste obedeció a criterios topográficos y geomórficos combinados. Para los límites de la zona de llanura, el criterio fue prácticamente geomórfico en su totalidad, y por lo tanto se utilizo imágenes satelitales y mapas de cobertura vegetal y suelos para su identificación.

2.6.1.3 Características morfométricas de la cuenca

Como se mencionó que el área total de la cuenca es de 24013.36 km²; de este total, el área de drenaje representado por 22 subcuencas es de 12488 km²; el área que resulta entre las riberas de los lagos y la divisoria interior de las subcuencas es de 9771.47 km²; y el área promedio de espejo de los lagos es de 1700 km². Los resultados morfométricos hallados para las subcuencas se muestran en la Tabla 4.

De acuerdo a esta Tabla, las áreas de las subcuencas varían en grande desde 22.7 a 2577 km². Los ríos principalmente son de tipo montañoso (torreteras), donde las pendientes de cause varían de 0.5 a 10.8 %, en longitudes entre 4.2 a 102.3 km. El nivel de drenaje de estas cuencas en sí es bajo, el mayor orden de drenaje corresponde a cuencas grandes en general, por ejemplo el Marquez en al parte sur de la cuenca es de 5to orden, el resto varía entre 1ro y 2do orden. Esto explica que en términos de densidad de drenaje, la mayoría de las cuencas del Poopó están por debajo del mínimo valor conocido. En relación a la forma de las subcuencas, la mayor parte de los ríos presentan una forma circular.

TABLA 4 Parámetros morfométricos de la cuenca Poopó/Uru-Uru

Nº	Subcuenca	Población	Río principal	Área	Perímetro	Índice de compacidad	Rectángulo Equivalente "a"	Rectángulo Equivalente "b"	Longitud de flujo (km)	Pendiente (%)	Factor de forma
		(hab.)		(km ²)	(km)		(km)	(km)			
1	Antequera	2050	Antequera	150.35	63.52	1.46	25.97	5.79	22.68	13.2	0.29
2	Azanaque	9871	Azanaque	82.08	42.88	1.33	16.45	4.99	15.1	17.2	0.36
3	Caquiza	5405	Caquiza	1380.55	191.37	1.45	77.98	17.7	101.26	2.5	0.13
4	Caracollos	2000	Rodeo	258.82	73.94	1.3	27.59	9.38	29.46	5.07	0.3
5	Chillari	720	Chillari	98.18	52.17	1.48	21.52	4.56	16.34	7.89	0.37
6	Conde Auque	4930	Mullu Punku	314.08	105.61	1.68	45.97	6.83	36.25	9.35	0.24
7	Cortadera	680	Cortadera	222.57	72.54	1.37	28.45	7.82	23.9	8.59	0.39
8	Huancani	350	Huancani	22.73	22.13	1.19	6.64	3.42	40	16.77	0.01
9	Huana Jahuira	7612	Huana Jahuira	861.8	171.98	1.65	74.41	11.58	65.43	6.76	0.2
10	Huancane	1000	Huancane	56.9	34.6	1.29	12.88	4.42	9.25	13.22	0.67
11	Iranani	600	Iranani	57.07	35.1	1.31	13.24	4.31	6.72	13.4	1.26
12	Irupampa	415	Irupampa	228.47	83.75	1.56	35.43	6.45	32.26	8.29	0.22
13	Juchujahuira	4100	Juchujahuira	1739.74	199.52	1.35	77.23	22.53	80.73	2.76	0.27
14	Juchusuma	1300	Juchusuma	380.72	111.59	1.41	47.84	7.96	56.42	11.34	0.12
15	Marquez	6350	Marquez	2577.36	253.41	1.61	101.25	25.46	94.45	6.26	0.29
16	Paria	5000	Paria	705.73	118.54	1.26	42.77	16.5	44.79	6.12	0.35
17	Pauma	200	Pauma	116.2	49.51	1.3	18.46	6.29	15.4	7.13	0.49
18	Pongo Jahuira	2028	Pongo Jahuira	120.73	53.4	1.37	20.93	5.77	15.43	10.33	0.51
19	Poopó	5813	Poopó	109.34	49.85	1.34	19.24	5.68	12.99	12.21	0.65
20	Sepulturas	4500	Sepulturas	181.53	64.08	1.34	24.69	7.35	23.39	10.35	0.33
21	Sevaruyo	5600	Sevaruyo	851.9	161.43	1.56	68.23	12.49	78.32	6.26	0.14
22	Sora Sora	20546	Sora Sora	734.56	159.77	1.66	69.28	10.6	52.43	11.04	0.27
23	Tagua	24370	Tagua	1373.45	226.8	1.73	99.61	13.79	56.07	11.38	0.44
24	Urmiri	1975	Urmiri	76.19	44	1.42	17.69	4.31	14.87	12.23	0.34
25	Planicies de inundación	223563		9771.47							
26	Lagos Poopó y Uru Uru			1540.94	397.62						
TOTALES		340978		24013.36							

Fuente: Instituto de Hidráulica e Hidrología IHH (Calizaya, 2006)

2.6.1.4 Hidrogeología del área

La principal unidad hidrogeológica es el sistema acuífero del cuaternario, el cual es un complejo compuesto de limos y arenas, los sedimentos cuaternarios están sobre rocas paleozoicas sedimentarias (esquisto litificado y arenisca) de permeabilidad baja, estas rocas de basamento afloran en los límites norte y este del área (cordillera La Paz y cordillera Oriental).

Los acuíferos están estratificados formando capas lentas, más o menos horizontales, con conexiones hidráulicas horizontales variadas y verticales, el nivel freático está a unos cuantos metros.

La roca paleozoica es generalmente somera en la parte sur, existe una clara evidencia de la estructura de un canal enterrada en el macizo Oruro y los cerros Huajara, y Chapi Kkollu que alcanza una profundidad máxima de 50 m.

El norte del área en estudio está ocupada por una extensa depresión alargada, con dirección este oeste subyacente a Kkalakaja, contienen grandes espesores de arena grava que forman un excelente complejo acuífero, en la parte más profunda en los sedimentos que rellenan este rasgo están a más de 150 m de profundidad. Al norte de Kkalakaja la roca madre aflora formando colinas (Cerro Kkalakaja)

En Challa Pampa, los acuíferos principales pueden ser encontrados a una profundidad de 2 a 15 m libre y de 18 a 28 m semiconfinado, 40 a 62 confinados. Es posible de la existencia de otros acuíferos a mayores profundidades.

Al este de Oruro, hacia Vinto el acuífero utilizado es poco profundo de 5 a 25 m debajo de la superficie. La zona de recarga se encuentra en los cerros de la cordillera Oriental, en desembocadura de sus valles hacia el Altiplano, los ríos y corrientes menores han formado abanicos aluviales disectados por canales y lentas con sedimentos más gruesos de río tales como arena guijarrosa y gravas lenticulares.

Los ríos más importantes para la recarga a los acuíferos de Challa Pampa y Vinto son: el río Paria, y río Sepulturas. El flujo regional de aguas subterráneas es de norte a sur, hacia los sectores de los lagos Uru Uru, y Poopó.

Sin embargo existe un área de depresión del nivel piezométrico de las aguas subterráneas alrededor de los pozos de Challapampita/Kkalakaja, debido al bombeo, una pequeña cantidad de agua subterránea es atraída desde el sur a los campos de pozos creando una divisoria de aguas subterráneas al norte de la mina San José.

2.6.2 Usos de agua

El agua en ésta región se ha convertido en el principal factor que frena el desarrollo agrícola, principal sustento de su economía. Los principales usos del agua son para consumo doméstico, la agricultura, en menor cantidad para la minería, la industria y el consumo animal.

En general el consumo doméstico alcanza a 250 l/s; de cual 200 l/s son provenientes de aguas subterráneas, en su mayoría explotadas desde 100 m de profundidad como para la ciudad de Oruro que representa el 80% de abastecimiento para una población superior a los 200000 habitantes. Las otras fuentes son de tipo sub-superficiales (en especial de vertientes) que satisfacen a más de 120 poblaciones rurales, que en promedio son abastecidas a una razón de 30 lppd (Calizaya et al., 2006).

El uso de agua en ésta área es de 500 l/s, que cubre una superficie de 120 km². Las fuentes son medios superficiales, pero en gran parte proviene de las 5 represas que existen, de las cuales 4 son pequeñas y una de capacidad mediana, como es la represa de Tacagua con almacenamiento de 40000 hm³. En base al inventario de sistemas de riego del Departamento de Oruro (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, 2000) y una adecuación a la cuenca, se ha verificado la existencia de 253 sistemas de riego, de los cuales el 95% se tratan de microsistemas y benefician a unas 9000 familias.

El uso de agua en la minería, la industria y en consumo animal, alcanza en promedio a los 50 l/s, lo que hace que en todo el sistema de la cuenca del Poopó se tenga un consumo aproximado del orden de los 850 l/s (Calizaya et al., 2006). No obstante este consumo, este no se puede considerar como una forma de pérdida real, puesto que casi la totalidad del mismo (cerca del 80%) retorna al sistema bajo la forma de aguas negras.

La extensión de la red eléctrica ha permitido que se utilicen bombas sumergibles para la explotación de acuíferos subterráneos para el consumo humano y recientemente para contados microsistemas de riego que incluyen aspersores.

2.6.3 Balance hídrico anual por sub-cuencas

2.6.4 Estaciones meteorológicas e hidrométricas

A continuación se presenta el listado de las estaciones meteorológicas que han sido tomadas en cuenta para la realización de balance hidrológico. Las estaciones que se muestran en la siguiente Tabla 5.

En casi todos los casos, la información meteorológica obtenida tiene discontinuidad, a nivel anual como a nivel mensual. Particularmente, en lo referente a la precipitación, únicamente seis estaciones poseen registros extensos (mayor a 30 años). Estas son las estaciones de Chuquiña, Eucaliptus, Oruro, Pazña, Salinas de García Mendoza y Tacagua (Challapata). La mayoría de las estaciones en la TABLA anterior se encuentran fuera de la cuenca de estudio, pero han sido consideradas en el estudio para completar datos faltantes en otras estaciones mediante análisis de regionalización y técnicas de transferencia de información hidrológica.

Respecto a los datos de temperatura, evaporación y humedad relativa, éstos son sumamente escasos. Los registros de estas variables nuevamente son observadas a partir de las estaciones automáticas.

TABLA 5 : Resumen de estaciones meteorológicas en Oruro

Nº	Código	Estación	Altitud msnm	Latitud SUR	Longitud OESTE
1	ORU	Oruro	3702	17° 58'	67° 04'
2	PAZ	Pazña	3710	18° 36'	66° 56'
3	TAC	Tacagua (Challapata)	3720	18° 53'	66° 47'
4	QUI	Quillacas	3749	19° 14'	66° 57'
5	ORI	Orinoca	3780	18° 58'	67° 15'
6	AND	Andamarca	3740	18° 46'	67° 30'
7	CHU	Chuquiña	3775	17° 48'	67° 27'
8	CAR	Caracollo	3770	17° 38'	67° 13'
9	EUC	Eucaliptus	3728	17° 36'	67° 31'
10	SAJ	Sajama	4220	18° 08'	68° 59'
11	HUA	Huachacalla	3740	18° 47'	68° 16'
12	SGM	Salinas de Garci M.	3860	19° 38'	67° 41'
13	CHI	Chillca	4000	17° 50'	66° 48'
14	COR	Corque	3929	18° 21'	67° 41'
15	COS	Cosapa	3850	18° 10'	68° 43'
16	COI	Coisapa	3680	19° 16'	68° 16'
17	SJK	San José de Khala	3850	18° 36'	67° 52'
18	SMA	San Martín	3747	19° 16'	67° 36'
19	TOS	Todos Santos	3920	19° 01'	68° 44'
20	TUR	Turco	3860	18° 10'	68° 11'
21	SAC	Sacabaya	3829	18° 34'	68° 47'

Fuente: IHH

Los escurrimientos fueron medidos en una serie de ríos pilotos de entre los 22. Los puestos hidrométricos seleccionados se muestran en la Tabla siguiente, que en total son 17. Las observaciones corresponden a partir de enero/2001 a diciembre/2002, posterior a este periodo las mediciones de caudales fueron solamente en algunos ríos y de forma esporádica. En el 1er periodo señalado, se han enfrentado una serie de dificultades para los aforos de caudales menores y mayores, en razón a la falta de infraestructuras hidrométricas adecuadas y tecnológicas. Pero también con éxito se cuentan con datos de caudales continuos, a nivel diario, en los ríos de Antequera y Sevaruyo para el periodo 2001-2002.

TABLA 6 : Red de puestos hidrométricos en la cuenca de los lagos Poopó/Uru-Uru. (Fuente: IHH)

Nº	Nombre del Río	Latitud Sur	Longitud Oeste	Altura m.s.n.m.	Nombre de Estación (Puesto Hidrométrico)	Tipo de Estación	Instrumentos
1	Desaguadero	17°46'	67°28'	3740	La Joya, AB del puente Español	Estación Hidrométrica	1 Limnógrafo
2	Sora Sora	18° 09'	67° 00'	3761	Machacamarca	Puesto	5 Escalas
3	Poopó	18° 50'	66° 48'	3766	Poopó	Puesto	4 Escalas
4	Antequera	18° 35'	66° 54'	3772	Pazña	Puesto	1 Escalas
5	Huancane	18° 42'	66° 52'	3748	Huancane	Puesto	1 Escalas
6	Juchusuma	18° 47'	66° 50'	3733	Juchusuma	Puesto	4 Escalas
7	Tacagua	18° 50'	66° 48'	3747	Tacagua Pampa	Puesto	4 Escalas
8	Azanaque	19° 01'	66° 45'	3854	Caiñipampa	Puesto	3 Escalas
9	Cortadera	19° 07'	66° 45'	3760	Villa Verde	Puesto	2 Escalas
10	Sevaruyo	19° 13'	66° 55'	3732	Quillacas	Puesto	1 Escalas
11	Marquez	19° 12'	67° 01'	3733	Marquez	Puesto	1 Escalas
12	Laka Jauíra	19° 11'	67° 03'	3739	Pampa Aullagas	Puesto	2 Escalas
13	Caquiza	18° 22'	67° 34'	3767	Caquiza, puente	Puesto	4 Escalas
14	J. Jawuira	18° 12'	67° 27'	3752	Toledo	Puesto	3 Escalas
15	Carasila	18° 05'	67° 16'	3742	Puente Carasila	Puesto	4 Escalas
16	Kullko	18° 29'	67° 29'	3770	Avaroa	Puesto	1 Escalas
17	Lucancha	18° 50'	67° 29'	3783	Avaroa	Puesto	4 Escalas

Las observaciones tanto de niveles de agua y caudales en los ríos se han llevado a cabo sobre los puestos hidrométricos implementados en las secciones de ríos, en sitios apropiados.

2.6.5 Variables hidrológicas

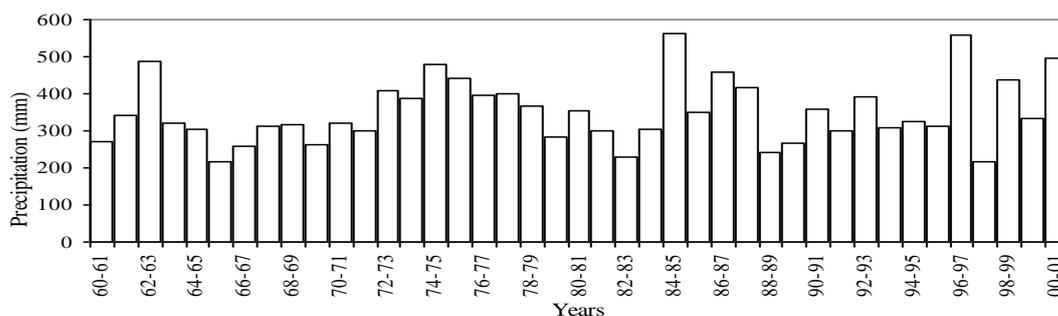
2.6.5.1 Precipitaciones

Los valores de precipitaciones se consideran finalmente sobre 15 estaciones ubicados dentro y cerca a la cuenca de estudio.

La precipitación anual para el periodo 1960-2002, considerando años hidrológicos. Para este periodo la precipitación media anual es de 372 mm. En sí este periodo no muestra de manera significativa tendencias positivas o negativas. En términos anuales la variabilidad fue entre 580 y 220 mm.

Para el balance mismo se toman en cuenta precipitaciones mensuales a nivel de subcuencas para diferentes intervalos de tiempo, que dependen de la existencia de datos en cada estación. Las precipitaciones por subcuencas son valores promedios en función a datos observados de estaciones circundantes a cada subcuenca.

Figura 6 : Precipitaciones medias



2.6.5.2 Evapotranspiración potencial

Los valores de evapotranspiración potencial (Ep), para una serie de estaciones en la cuenca, fueron obtenidos usando la ecuación de Ivanov Konstantinov, y bajo la comparación de resultados hallados por Penman. De acuerdo a los cálculos por PELT (1993), en promedio su obtuvo en 1700 mm/año para la región, también usando principalmente el último modelo. Primeramente, se considero la ecuación de Penman, con datos diarios climáticos observados en la estación de Patacamaya, durante el 2001. El Ep anual fue de 1665 mm. Sobre la misma estación, sobre las variables de temperatura media diaria y humedad relativa, fue aplicada la 1ra ecuación que inicialmente está determinado a nivel mensual.

Mediante la correlación de resultados por ambas ecuaciones, fue posible ajustar el coeficiente de Ivanov a nivel diario. Una vez corregida la ecuación última, la misma se aplicó a las estaciones de la cuenca que cuentan con observaciones de temperaturas y humedad relativa para los periodos 2001 y 2002. La ecuación final de Ivanov queda de esta forma:

$$Ep = 0.0022 * (T + 25)^2 * (100 - RH) / N$$

Los resultados de Ep a nivel mensual para las diferentes estaciones vienen en la TABLA 11. Esta variable es necesario en sí para la modelación de los escurrimientos en los ríos de la cuenca que no cuentan de series largas o tienen ausencia de datos. El cálculo de Ep corresponde a 10 estaciones ubicadas dentro la cuenca de estudio. La variación mensual de Ep es entre 70 a 220 mm/mes, siendo las más altas para los meses secos de noviembre y diciembre. El Ep anual promedio obtenido es similar a los resultados del PELT (1993).

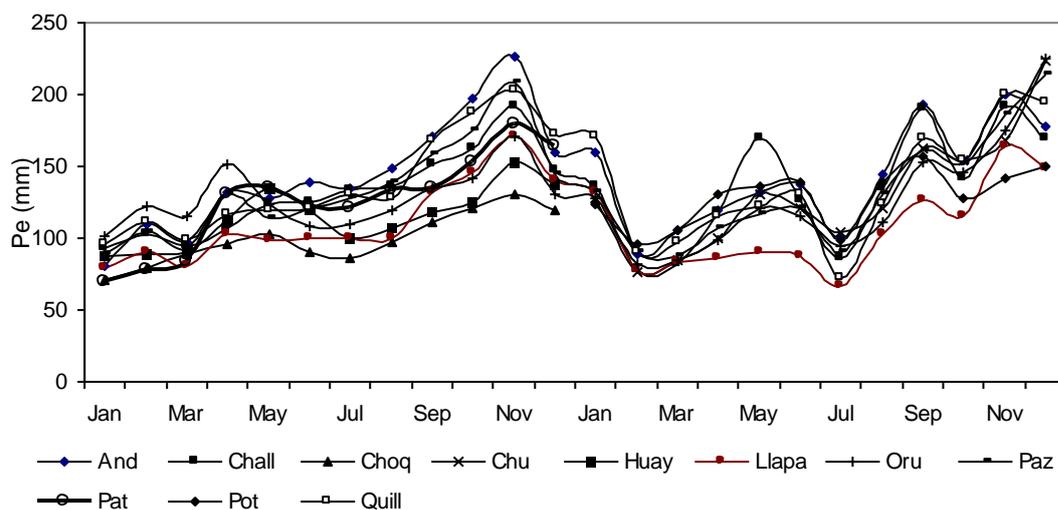


Figura 7 : Ep calculados para las estaciones del Poopó/Uru-Uru

2.6.5.3 Escurrimientos

Durante los años 2001 y 2002 fueron observados los caudales de escurrimiento en los ríos regionales del Poopó/Uru-Uru. De entre los 22 ríos existentes, al menos 8 ríos cuentan de caudales diarios. En la Figura 8 vienen expuestos, donde los picos altos por ejemplo corresponden a los ríos Marquez, Sevaruyo, Caquiza y Tacagua.

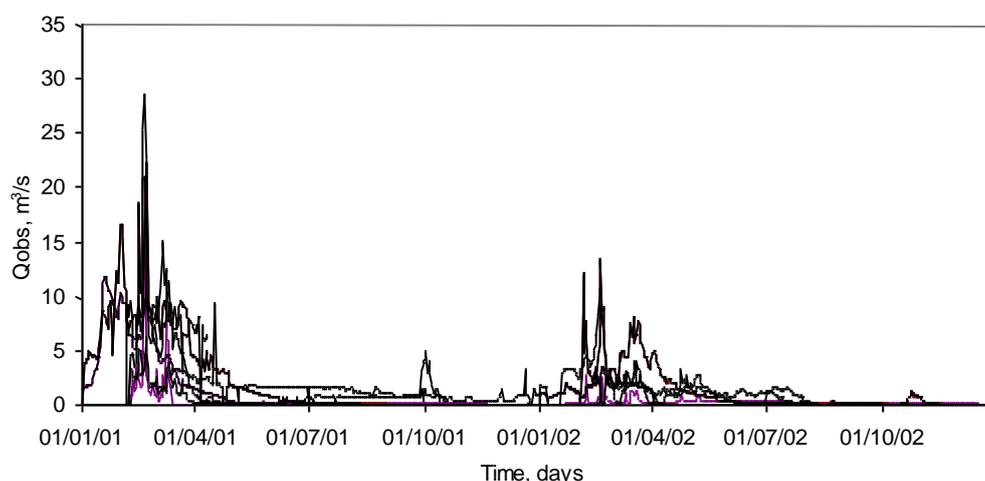


Figura 8 : Descargas de ríos pequeños en Poopo y Uru-Uru

Estos datos sirven de ingreso para la modelación matemática de escurrimientos, y en particular para la calibración de parámetros del modelo a utilizarse.

2.6.5.4 Modelación de escurrimientos

Entonces si los escurrimientos observados apenas corresponden y de forma continua para dos ríos (Antequera y Sevaruyo), por tanto es necesario la simulación de esta variable, para el que se ha seleccionado el SIMULA modificado.

Las simulaciones de caudales, dependiendo de la disponibilidad histórica de datos varían entre 10 y 25 años.

2.6.5.5 Resultados de balance hídrico

En la Figura 5 se muestran el resumen de resultados de balance hídrico realizado para la cuenca de estudio a nivel de subcuencas. Los valores de esta Figura, en términos de lámina (mm), son promedios

anuales sobre periodos largos entre 10 y 25 años. Como se verá los resultados de los cálculos solamente corresponden a las subcuencas y no así para toda la cuenca, incluido los lagos. Para esa parte se tiene dificultades en establecer la información sobre la variación de niveles de agua de los lagos señalados; aunque los niveles del Poopó al menos fueron modelados recientemente por Pillco y Bengtsson (2006), y los cuales pueden constituirse en apoyo para un abalance hídrico general. Incluyendo el almacenamiento de agua a los lagos, es posible que el almacenamiento que se muestra en la Tabla 7 resulte positivo en algunos años, pero no así en las subcuencas.

TABLA 7 : Resumen de variables del balance hídrico de las subcuencas del Poopó a nivel anual

N'	Sucuecas	A, Km ²	P, mm	Er, mm	R, mm	ΔS, mm
1	Antequera (urmiri)	226.5	371.3	332.6	61.8	-23.0
2	Azanaque	82.1	387.5	322.7	65.7	-0.8
3	Caquiza	1380.6	444.4	323.7	122.2	-1.5
4	Caracollo	258.8	440.2	356.0	84.6	-0.4
5	Conde Auque	314.1	431.2	347.4	84.7	-0.8
6	Huacani	22.7	403.1	335.6	65.6	1.8
7	Huana Jahuira	861.8	440.2	356.0	84.6	-0.4
8	Huancane	56.9	431.6	340.8	93.2	-2.4
9	Irancani	57.1	448.2	354.0	93.3	1.0
10	Juchu Jahuira	1739.7	444.4	323.7	122.1	-1.5
11	Juchusuma	380.6	431.6	359.9	95.3	-23.7
12	Marquez	2577.4	300.0	312.0	23.5	-35.5
13	Paria	705.7	371.3	313.9	76.0	-18.5
14	Pongo jahuira	120.7	440.2	356.0	84.6	-0.4
15	Poopo	109.3	448.2	354.0	104.8	-10.6
16	Sepulturas	181.5	380.4	321.5	129.8	-70.9
17	Sevaruyo	851.9	300.1	282.0	34.7	-16.5
18	Sorasora	734.6	445.4	310.5	136.8	-1.9

En general los ingresos de agua a la cuenca por precipitaciones varía entre 300 a 448 mm, de este monto la pérdida de agua por evaporación está entre 282 y 359 mm. No necesariamente la mayor pérdida se produce en zona de mayor precipitación, en algún sentido la mayor evaporación se advierte hacia el sur donde la capacidad de evaporación es mayor que en la parte norte. En tanto la producción de escurrimiento de las subcuencas no es lineal frente a las dimensiones de las subcuencas; por ejemplo una de las subcuencas más grandes es el Marquez, pero debido a la alta capacidad evaporativa de esta zona, el escurrimiento es disminuido. En tanto en cuencas pequeñas y de alta pendiente se refleja la capacidad contributiva de escurrimiento relativamente alta. No es práctico ver en este caso los valores de almacenamientos obtenidos, ya que estos no reflejan los regímenes de lluvias o de flujos durante las estaciones como muy importantes para la zona, en especial el periodo de Diciembre a Marzo.

El promedio anual areal de escurrimiento para la cuenca es de apenas 80 mm, significando una lámina muy baja. En virtud a que la zona está afectada por anomalías de precipitaciones como el ENSO, este valor puede ser mucho más pequeño, definiendo las escasas condiciones de oferta hídrica y para la producción sostenida de la zona. A lo largo de las últimas décadas pocas veces se dieron anomalías que favorecieron al superávit hídrico. Después de este trabajo aun quedan pendientes: primero hacer un adecuado evaluación de los recursos hídricos disponibles, basados principalmente en la mejoras de las observaciones; luego plantear el manejo integral de la cuenca, sobre todo apuntando en el análisis y planificación de uso de aguas extremas muy característicos en la cuenca del Poopó/Uru-Uru.

2.7 Componentes del Medio Biótico

2.7.1 Vegetación y flora

2.7.1.1 Vegetación de la región oriental de la subcuenca

La vegetación de la cuenca del Lago Poopó, presenta de manera dominante especies xerofíticas, característica particular de este piso altitudinal, puneño o de Puna (Beck y García 1991). Las diferencias climáticas del Altiplano central, junto al rango altitudinal, determinan la presencia de la vegetación, en la ecoregión denominada puna semiárida y árida, comprendida entre los 3.700 y 4.500 m.s.m. (Ellenberg 1981). Con la predominancia de comunidades vegetales influenciadas por la combinación de elementos ambientales, climáticas, edáficos (limitantes de la diversidad, distribución y cobertura) y los producidos por la actividad del hombre.

La vegetación del Lago Poopó así como de las zonas circundantes, presenta hidrófilas vasculares, su Flora está representada por 131 especies, de éstas 111 son terrestres y pertenecen a 27 familias y 20 órdenes. Las 20 especies restantes son macrófitas, de las cuales 3 pertenecen al grupo de las Phycophytas (algas) macroscópicas.

Las especies más comúnmente halladas son *Parastrephia quadrangularis*, *Parastrephia lepidophylla*, *Baccharis santelicensis*, *Trichocereus pasacana*, *Trichocereus tarijensis*, *Lobivia pentlandii* var. *Pentlandii*, algunas gramíneas como *Mulhenbergia fastigiata* y como representantes de las plantas acuáticas los géneros *Ruppia*, *Schoenopletus* y *Chara*.

2.7.1.2 Descripción e identificación de unidades vegetales

A continuación se describirá la disposición más común de las comunidades vegetales.

Tholares de laderas pedregosas de cerros.

Las laderas rocosas de la cuenca, presentan suelos pocos profundos y poco desarrollados. Por los rellenos sueltos de los afloramientos rocosos, es frecuente encontrar arbustos asilados de los géneros *Baccharis* y *Parastrephia*, cuya especie es más abundante es *P. quadrangularis*. También es común y en algunos casos dominante *Fabiana densa*. Con menor abundancia se dan especies como *Lampaya castellani* de gran importancia por su extendido uso.

Matorral (tholar).

En las zonas de geografía plana o de poca pendiente aparecen matorrales de arbustos resinosos, micrófilos y siempreverdes o tholares. La distribución de éstos es muy amplia abarcando las grandes llanuras fluvio-lacustres altiplánicas.

Otras especies comúnmente halladas en los tholares son *Baccharis santelicensis* y *B. boliviensis* coleccionadas en Machacamarcá, cruce Huanuni, Río Desaguadero y Río Poopó.

Tholar- Pajonal.

Esta zona constituye un matorral ralo con pajonal, dominado por plantas leñosas. La extracción de leña de *Parastrephia* provoca un aumento de las gramíneas por disminución de la competencia.

En las orillas del río Poopó y Desaguadero se han identificado especies como: *Stipa ichu*, *Baccharis* sp, *Baccharis tola*, *Poa* sp y *Adesima* sp. Por las características especiales de bajo nivel de agua y restos de actividad minera que se da en éstos ríos, la vegetación que predomina son los pastos rastreros y totorales en las aguas de desechos minerales.

Pajonal.

Estas comunidades dominadas por gramíneas, se distribuyen en laderas y planicies con suelos arenosos. Algunos campos de dunas pueden llegar a fijarse por la vegetación rala e incipiente del área, por ejemplo el crecimiento de *Distichlis humilis*, típica de las zonas más salinas, desarrolla en los arenales extensos cordones unidos por medio de sus rizomas, constituyendo una verdadera alternativa para fijar el sustrato arenoso (Ribera et al. 1996).

Las especies que forman esta unidad vegetal son *Festuca orthophylla* y *Stipa ichu* principalmente. Otras gramíneas que se hallan con frecuencia son *Deyeuxia*, *Muhlenbergia* y *Poa* sp. **Cauchial.**

En suelos salinos, más o menos eutrofizados bajo influencia de poblaciones humanas y con presencia ganadera ó en márgenes de caminos es común encontrar matorrales bajos y abiertos dominados por *Suaeda foliosa* o Cauchi. **Comunidades de suelos salinos.**

2.7.1.3 Vegetación de la región occidental de la subcuenca

La vegetación natural y seminatural de la zona pertenece a la eco-región de la puna semiárida con presencia predominante de dunas de arena.

La vegetación de la puna semiárida se caracteriza por la presencia de plantas adaptadas a las extremas condiciones climáticas y a la utilización agrícola y pastoral desde hace cientos de años . Se encuentra por ello plantas de carácter arbustivo y herbáceo de poca cobertura y una disposición espaciada. Abundan plantas espinosas o que tienen tamaños tan pequeños que no pueden ser consumidas por el ganado. Un factor de selección es también la salinidad, al menos en planicies inundables y que tiene una napa freática a poca profundidad.

A continuación se realiza una descripción de la vegetación en base a cuatro subáreas dentro de la principal área de influencia de las dunas: cultivos enarenados en barbecho, zona de dunas estabilizadas, zona de transición entre dunas estables e inactivas y áreas entre dunas, según Libermann, M et al 1993.

2.7.1.4 Zona de cultivos enarenados en barbecho

En la mayoría de los casos se trata de extensiones más o menos planas que surgen con fuertes depósitos de arena y esto evidentemente altera la textura básica del suelo.

Se trata en general de plantas típicas de barbecho (Beck, 1988). Las más abundantes son: *Tarasa tenella* (cav.), *Erodium cicutarium*, *L'Herit* y *Trifolium amabile*. Menos abundantes son *Sckuria multiflora* Hooder et. Arnott, *Tapetes pusilla*, *Bouteloua simples* Lag. Y *Euphorbia* sp. en los bordes de los cultivos; y asociadas con macollos de *Festuca orthophylla* y *Tholas*, crece *Lucilia subspicata* y las gramíneas *Bromas* sp. *Muhlenbergia fastigiata* y *M. ligularis*.

2.7.1.5 Zona de dunas estabilizadas

Se trata de una zona donde crecen plantas provenientes de los tholares cercanos. Abundan arbustos de *Parastrephia phulicaeliphormis*, *Parastrephia lepidophia* y *Festuca orthophilla*. Asociadas a estos macollos se desarrollan gramíneas como *Muhlenbergia ligularis* y *Muhlenbergia fastigiata*, *Baccharis incarum* y *Adesmia schickendantzii*.

2.7.1.6 Zona de transición

Destaca entre las principales una especie de *Viola* sp. que ha adquirido una serie de características adaptativas importantes.

Otras especies no menos interesantes ofrecen particularidades similares, como ramificaciones arrosetadas, con raíces fibrosas muy finas. Entre ellas se encuentra *Callycera pulvinata*, *Blepharidachne hitchcockii*, *Calandrinia* aff., *floribunda* y una solanácea *Solanun* aff. *physalidicalix*. Otro grupo de estas plantas presenta hojas arrosetadas y raíces pivotantes gruesas, este es el caso de *Oenothera nana* e *Hypochoeris meyeniana*.

No faltan arbustos de *Parastrephia* sp. y macollos de *Festuca orthophylla*. A éstos se asocian pequeñas plantas herbáceas de consistencia débil como ser *Gnaphalium* aff. *Frigidum* Weddell y *Senecio scorzoneraefolius*.

Otra especie interesante es *Distichlis humilis* que es una especie considerada halófito. En este caso forma entrerremos de dunas una especie de cadenas a través de sus rizomas situados a unos 25 cm por debajo de la superficie, de tal modo que sólo salen a la superficie algunas hojas.

El *Senecio humillimys* es otra especie importante, que forma cojines compactos. Generalmente estos cojines aparecen asociados a macollos de *Festuca orthophylla* ó arbustos de *Parastrephia* sp. pero en ocasiones se los puede encontrar aislados.

2.7.1.7 Planicies entre dunas

La vegetación de estas subáreas es completamente diferente a la presente en las aledañas zonas de dunas estabilizadas y de transición, se trata pues de plantas adaptadas a suelos compactos y duros, con poco drenaje y probablemente salinos, al contrario del muy bien drenado y suelto suelo arenoso.

Abundan especies tales como *Senecio dryphullus*, *Senecio graveolens*, *Tetraglochin cristatum*, y *Astragalus garbancillo*. Están presentes también en menor escala *Parastrephia lepidophylla*, *Parastrephia phyllicae* *liphormis*, *Bacharis incarum* y esporádicamente pequeños ejemplares de *Festuca orthophylla* y *Erigeron pazencis*.

2.7.1.8 Plantas acuáticas

Las comunidades de vegetación acuática constituyen hábitats para algunas especies de vida silvestre (aves y peces), proporcionando material para la construcción de nidos, la protección de los cardúmenes de peces pequeños y suministra a los habitantes recursos naturales de gran importancia.

Las macrófitas son todas las plantas acuáticas y semiacuáticas microscópicamente visibles. Se incluyen las plantas superiores, musgos, helechos y algas (Franken, 1990).

2.7.1.9 Estrategias de apropiación del espacio y cultivos

La práctica agrícola de las distintas especies cultivables en la cuenca del Lago Poopó, se encuentra en zonas aledañas al lago. Están necesariamente muy relacionadas a los requerimientos de riego, por esto, mayormente se ubican cerca de las orillas del lago Poopó o cuerpos de agua secundarios, conformados por distintos sistemas de río como: Desaguadero, Márquez, Sevaruyo y Wilajahuirá, entre los principales, en los cuales las aguas son permanentes durante todo el año, favoreciendo a la agricultura.

Los cultivos intensivos, son aquellos que se desarrollan a lo largo del año y de forma continua. Los cultivos de secano, son conocidos como anuales ó estacionales (desarrollados en periodos de lluvias), generalmente este tipo de cultivo es el más practicado por la comunidades circundantes al lago Poopó.

El principal cultivo practicado en la zona es el de la quinua (*Chenopodium quinoa*) y la papa (*Solanum tuberosus*), seguido de la cebada (*Hordeum vulgare*).

En ocasiones, la práctica agrícola es eventual, ya que algunos comunarios sólo cultivan para satisfacer sus propias necesidades alimenticias, no obstante, el cultivo de la papa y de la quinua es para la comercialización.

Las plantas silvestres de los cultivos más frecuentes son el pasto macho (*Calandrinia ciliata*) y la cebadilla (*Bromas catharticus*) plantas anuales ó bianuales. Durante el segundo año de descanso en cultivos de quinua y cebada, éstas alcanzan a cubrir una gran extensión de los terrenos de cultivo.

2.7.2 Fauna

El Lago Poopó, es un humedal de gran importancia para la conservación tanto para la avifauna acuática como para otros vertebrados de la zona altoandina, por albergar grandes concentraciones de aves acuáticas, ser un sitio de nidificación del flamenco austral (*Phoenicopterus chilensis*) y de varias otras especies, así como lugar de descanso y paso de muchas especies de aves migratorias tanto boreales como australes.

En los alrededores de este humedal, habitan otros vertebrados como la vicuña (*Vicugna vicugna*), el quirquincho (*Chaetophractus nationi*), así como también el zorro andino (*Pseudalopex culpaeus*). Entre la ornitofauna amenazada a nivel internacional y nacional, están el suri (*Pterocnemia pennata*), las tres especies de flamencos (*Phoenicoparrus andinus*, *P. jamesi* y *Phoenicopterus chilensis*), el zambullidor endémico de la cuenca de los lagos Titicaca y Poopó (*Rollandia microptera*), el condor andino (*Vultur gryphus*) y la soca cornuda (*Fúllica cornuta*), todas incluidas en alguna categoría en las aves amenazadas del mundo. Estas especies se encuentran amenazadas principalmente por la caza furtiva, comercio ilícito y destrucción o modificación de su hábitat (Rocha, 2002).

2.7.2.1 Aves terrestres

Entre las aves terrestres, los tinámidos o perdices (*Nothoprocta ornata* y *Nothura darwinii*) frecuentan pajonales y pastizales. Aves rapaces como los aguiluchos (*Buteo polyosoma* y *B. poecilochorus*), la lechuza (*Athene cunicularia*) y el halcón maría (*Polyborus megalopterus*).

Los emberizios (*Phrygilus fruticeti*, *P. plebejus* y *P. unicolor*) son bastante comunes, al igual que otras especies de aves que frecuentan ambientes antrópicos como los carduelidos.

Los tholares son un importante refugio para algunas aves como furnáridos (*Geositta ssp.*, *Asthenes modesta*, *A. dorbignyi*) y atrapamoscas (*Agriornis montana* y *Muscisaxicola ssp.*).

Una especie amenazada que requiere especial atención es el suri (*Pterocnemia pennata*), cuyas poblaciones se concentran en el flanco oeste del Lago Poopó, principalmente en la localidad de Andamarca.

2.7.2.2 Mamíferos

La fauna de macromamíferos se caracteriza por la presencia de la vicuña (*Vicugna vicugna mensalis*), de la raza geográfica norteña. Es una especie típica de la puna de pastizales áridos y planicies semiáridas.

El flanco oeste del Lago Poopó fue el extremo donde se encontró la mayor incidencia de tropillas de vicuña, principalmente en las extensas planicies de Pampa Aullagas y Andamarca.

Otros mamíferos comunes en la zona son la vizcacha (*Lagidium viscaccia*) que frecuenta hábitats de roquedales en laderas, el topo (*Ctenomys opimus*), que se encuentra en las planicies y playas del Lago Poopó y el zorrino (*Conpatus chinga rex*), conocido localmente como añatuya.

Existe el zorro andino (*Pseudalopex culpaeus*) pero los encuentros con esta especie son poco comunes.

El quirquincho (*Chaetophractus nationi*) aparentemente es muy escaso en la zona, algunos pobladores locales manifiestan su presencia en los arenales de Pampas Aullagas, Orinoca y Andamarca.

2.7.2.3 Reptiles y anfibios

Lagartijas del género *Liolaemus ssp.*, en hábitats de laderas rocosas con predominancia de cactáceas. Una especie ampliamente distribuida es *L. alticolor*, observada en los cerros Santos Villca y Gloriapata en el extremo occidental del Lago Poopó.

Entre las especies de anfibios, se encuentra la rana *Telmatobius marmoratus* en los lechos del Río Laka Jauría y el sapo *Bufo spinulosus* al pie del Cerro pucarani.

2.7.2.4 Peces

El lago poopó presenta una gran concentración de peces de los cuales, los géneros Orestias (Karachi e ispi) y los *Trichomycterus* (mauri y suche), son nativas y representaron tradicionalmente la producción local. Con la introducción de las especies exóticas (la trucha en 1942 y el pejerrey en 1955), éstas asumieron una mayor importancia comercial (UNEP / OEA 1996).

En la cuenca del lago poopó, sólo se han registrado cinco especies, *Orestias hagáís* (Karachi negro), *O. luteus* (Karachi amarillo), *Trichomycterus sp.* (mauri), *Odeontesthes bonariensis* (pejerrey) y *Salmo gairdneri* (trucha arco iris).

2.7.2.5 Flamencos

La especie más abundante es el flamenco austral (*Phoenicopterus chilensis*), seguida del flamenco andino (*Phoenicoparrus andinus*), siendo el flamenco de james (*Phoenicoparrus jamesi*) la especie menos abundante.

Los lagos Poopó y Uru Uru, se consideran como los cuerpos de agua que constituyen el hábitat con mayor concentración de flamencos en la estación invernal en el Altiplano de Bolivia y probablemente también para toda la región altoandina de Sudamérica donde habitan.

2.7.2.6 Aves acuáticas

Se contaron 199.074 aves acuáticas durante ocho censos al área de estudio.

De acuerdo a su estudio, existen un total de 34 especies de aves acuáticas en los Lagos Poopó y Uru Uru, pertenecientes a 12 familias (Podicipedidae, Phalacrocoracidae, Ardeidae, Phoenicopteridae, Threskiornithidae, Anatidae, Rallidae, Charadriidae, Recuevirostridae, Laridae y dos especies de Tyrannidae: *lessonia oreas* y *Tachuris rubrigasta*) asociadas a ambientes acuáticos. La última especie asociada exclusivamente a parches de totora (*Schoenoplectus californicus* var. *titora*).

2.7.3 Áreas de protección a los recursos de la biodiversidad

Ya se ha mencionado, que el Lago POOPO y el lago URU Uru, han sido propuestos ante las instituciones internacionales pertinentes para su nominación como sitios RAMSAR, para su protección como humedales, por lo que la preocupación por la conservación de estas fuentes de agua y su importancia genera y generará intereses contrapuestos con las actividades mineras de la región.

Según Rocha, O 2002, el sistema de humedales del Poopo y Uru Uru, representa por sus características bióticas y abióticas y su gran superficie (3084 km²) es el segundo cuerpo de agua mas importante después del Lago Titicaca en los altiplanos andinos, sirve para la conservación de un grupo importante de especies acuáticas que se presentan en concentraciones altas a lo largo de todo el año, algunas de ellas están amenazadas a nivel global y otras son especies endémicas de la Puna. Estos humedales también tienen importancia por ser sitios de paso de aves migratorias boreales.

También habitan grupos de pobladores originarios que viven de la pesca como los Uru Muratos y los Chipayas, consideradas, históricamente las etnias más antiguas de Bolivia. Estas comunidades al ser muy dependientes en su alimentación de la pesca y en su economía de subsistencia dependen del lago para su perpetuación.

2.7.4 Potencialidades y limitaciones del sistema ecológico

La Puna Andina, consignada como uno de los ecosistemas de altura que tiene una extensión muy grande en el altiplano andino, es y ha sido objeto de intervenciones antrópicas, tanto para el uso agrícola y pecuario, como en los parajes para la explotación minera.

Producto de estas intervenciones, hay transformaciones tanto de la cobertura vegetal, del agua, de los ciclos de nutrientes y de la estabilidad natural de los suelos. Estudios de diferente naturaleza, sin embargo resaltan la época precolombina con asentamientos humanos muy importantes que mantuvieron los ecosistemas dentro de procesos de sustentabilidad, a la llegada de la colonia española, las intervenciones de nuevas técnicas y formas de apropiación del espacio de la Puna, trajo como consecuencias cambios marcados en los sistemas naturales, esto generó cambios estructurales en los ecosistemas andinos como la introducción nueva de especies vegetales, como la cebada, la avena, el trigo y otros, como también de animales vacunos y ovinos que compitieron con los camélidos.

En la actualidad por lo tanto los ecosistemas de la subcuenca son utilizados intensamente por la actividad del hombre en aspectos de la agricultura intensiva (terrazas y pié de monte) como la extensiva en las llanuras de inundación, conjugando la actividad agrícola con la pecuaria en rotación de ovinos, camélidos y vacunos en ciertas áreas mas productivas. Ante esta situación estas actividades compiten con el recurso de agua, ya que la minería requiere de este elemento. Al no ser la oferta grande de agua por ser un ecosistema árido y semiárido, los conflictos de utilización de las fuentes de agua son grandes.

Sin embargo no solo escasea el agua sino que la misma es y ha sido objeto de un manejo inadecuado por la actividad minera, estando al presente contaminada y generando procesos de dispersión y afectación en grandes cuerpos de agua como el Lago Poopó y Uru Uru y también extensas altiplanicies de suelos sedimentarios y suelos de pie de monte que son difícilmente recuperables por efecto del gran pasivo ambiental minero que existe.

3 EVALUACION DE LOS RECURSOS DEL LA CUENCA DEL LAGO POOPÓ

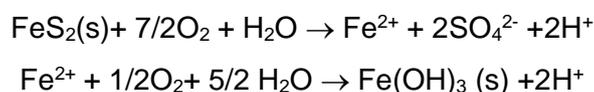
La composición de las aguas naturales está controlada por procesos geoquímicos y geobiológicos. El agua, medio corrosivo por su contenido ácido, frecuentemente CO₂, que disuelve las rocas minerales y se adquiere muchos de sus solutos los cuales son posteriormente precipitados como sedimentos, por lo que el pH de la aguas es determinado por el balance entre la disolución de ácidos débiles dióxido de carbono y rocas básicas entre estos aluminio-silicatos y carbonatos (Morel F., 1983) y el pH de muchas aguas minerales están dentro de rango de 6 a 9. La composición del agua natural está influenciada por las interacciones ácido-base (Stumm y Morgan, 1981).

Aguas naturales adquieren sus características por disolución y por reacciones químicas con sólidos, líquidos y gases con los cuales ellos tienen contacto durante varias partes de ciclo hidrológico. Las aguas varían en su composición química, pero estas variaciones son en un mínimo comprensibles si es considerada la historia ambiental del agua y de las reacciones químicas del sistema roca-agua-atmósfera. Material mineral disuelto originado de la corteza terrestre: agua desintegrada y rocas minerales disueltas por meteorizaciones (Stumm y Morgan, 1981).

Para entender la composición de las aguas naturales, es indispensable entender algo de composición de las rocas con la que esta en contacto, transformaciones y disolución parcial; es importante también conocer los equilibrios que muchas de las reacciones químicas en el agua toman lugar en fases discontinuas, estas son: interfaces atmósfera-hidrosfera y litosfera-hidrosfera.

En las fases que se encuentran presentes debemos tomar atención a las reacciones de precipitación y disolución de cloruros y sulfatos. En la naturaleza la precipitación o disolución de tales sólidos solo ocurre en los procesos de formación o meteorización de evaporitas. Los múltiples solutos y fases sólidas que puede formar (complejos cloruros y sulfatos) y la complejidad de las interacciones en sales concentradas (los cuales son soluciones no ideales), se tiene el problema de predecir la precipitación de cloruros y sulfatos (Morel F., 1983).

La formación y disolución de hidróxidos y óxidos sólidos son importantes en la química del agua, particularmente para el manganeso y hierro, donde la concentración de hidróxido está dada directamente como función del pH (Morel F., 1983). Además existe la precipitación con otros ligandos (carbonatos, sulfuros y fosfatos), cuyas concentraciones libres depende de no solo del pH pero también de la concentración total del ligando y de la concentración del metal precipitante (Morel F., 1983). Un ejemplo claro de este sistema es el drenaje ácido de mina, donde la pirita es disuelta y oxidada por aguas subterráneas ricas en oxígeno, el proceso se puede esquematizar:



Independientemente de las concentraciones de elementos mayores también existen procesos que se llevan a cabo con elementos trazas en aguas naturales, los ligandos inorgánicos que pueden formar importantes complejos con metales son relativamente pocos: cloruros, sulfatos, carbonatos, sulfuros. Otros ligandos inorgánicos reactivos (fluoruro, bromuro, amoníaco, fosfato, cianuro) están usualmente presentes en concentraciones muy bajas para producir algún metal enlazado significativamente (Morel F., 1983).

El crecimiento de todos los organismos, incluido el hombre, es dependiente de la adquisición de apropiadas cantidades de muchos elementos trazas. Algunos elementos trazas como el hierro, zinc, manganeso y cobre son requeridos para el crecimiento, pero altas concentraciones de estos elementos u otros produce efectos tóxicos.

Los mayores progresos en entender las interacciones de elementos traza con los microorganismos acuáticos en la década pasada esto viene desde una mejor apreciación de la importancia de las especies químicas del metal en el medio y la habilidad de separar efectos puramente fisiológicos de uno químico. El hecho más importante es la universal importancia de las actividades del ión metal libre en

la determinación de la asimilación, nutrición y toxicidad de todos los metales traza cationicos para bacterias, fitoplancton, hongos, zooplancton y aun en alguno grado para peces (Morel F., 1983).

La contaminación de las aguas subterráneas se produce principalmente por la percolación del agua contaminada desde la superficie y las características del suelo le brindan un grado de protección. Debido a la escasa velocidad de desplazamiento del agua en el acuífero y el gran volumen de agua subterráneas, se produce un considerable retardo entre la actividad causal y la aparición del contaminante en el agua extraída. Esto varía según sea la conductividad hidráulica, el gradiente hidráulico y la porosidad del suelo.

La calidad de las aguas que se extrae de un acuífero depende de la composición del agua que se recarga en el terreno, de la interacción entre el agua y los medios del acuífero y de las reacciones que se producen en el acuífero. El suelo también desempeña una función importante, especialmente en lo que respecta a la filtración física y a las reacciones bioquímicas.

Hay varias interacciones subterráneas que pueden provocar la remoción de sustancias disueltas o un cambio en su composición:

- Procesos Físicos
- Dispersión (dilución): la capacidad de dispersión depende directamente de la velocidad del agua y es inversamente proporcional a la porosidad.
- Filtración: su eficacia depende de la granulometría del suelo y del acuífero
- Movimiento de los gases: contribuye a mantener las condiciones aeróbicas y la oxidación bioquímica.
- Procesos geoquímicos
 - Características: incrementa los iones específicos en el agua.
 - Reacciones ácido/base: la mayoría de los componentes aumentan su solubilidad con valores decrecientes de pH.
 - Oxidación/Reducción: en condiciones de reducción, el hierro y el manganeso se tornan más solubles, el cromo menos soluble y los compuestos de nitrógeno y otras sustancias pueden reducirse. En condiciones de oxidación los compuestos de nitrógeno pueden oxidarse y el hierro y el manganeso tornarse menos soluble.
 - Adsorción/desorción: los iones y moléculas pueden ser retenidos o liberados según sus concentraciones en el agua
- Procesos bioquímicos
 - Descomposición y respiración: los microorganismos pueden oxidar y descomponer a una gran cantidad de productos orgánicos e inorgánicos.
 - Síntesis celular: los nutrientes pueden ser captados y su movimiento en el suelo retrasado.

En vista de que el recurso suelo de acuerdo a sus características (textura, materia orgánica, pH, presencia de sales , carbonatos, etc) , juega un papel importante en la fijación de metales pesados y otros, su retención de manera intercambiable en el complejo de cambio o su transferencia hacia los otros recursos de la cuenca (agua, vegetación), es importante caracterizarlos en función a sus propiedades físico-químicas y biológica y otros aspectos como ubicación, topografía, clima, profundidad efectiva y otros aspectos.

Para posteriormente poder evaluarlos y clasificar los suelos, con el objeto de determinar su potencialidad (Capacidad de Uso), limitaciones, susceptibilidad a la degradación natural (salinización,/sodificación, erosión y otros) o antrópica (acumulación de metales pesados en los horizontes del suelo, erosión por uso de tierras inadecuadas, etc.). Esta información generada y plasmada en mapas temáticos, permitirá planificar el uso del espacio de una manera sostenible en las subcuencas seleccionadas.

3.1 Planificación del Estudio de Caso

En base a la reseña histórica y un inventario de todos los factores que puedan afectar, ya sea directa o indirectamente (actividades extracción, explotación, colas y desmontes, agricultura, etc.) la calidad de los cuerpos de agua, además de las descargas o extracciones, tanto puntuales como difusas, que puedan tener un efecto importante sobre los recursos naturales y el hombre en esta región, se han priorizado subcuencas de estudio partiendo además del análisis ambiental y socioeconómico del área.

A través de las actividades del WP1 se ha contrastado información secundaria con la vivencia y percepción de la problemática ambiental de los comunarios en los municipios de Poopó, Pazña y Antequera, detectando problemas ambientales con y sin influencia antrópica, priorizando áreas y casos de estudio. De esta manera el programa de monitoreo establecido contempla: la cuenca del lago Poopo, dos subcuencas con influencia minera: Antequera y Poopo y a nivel municipal: dos municipios Pazña y Villa Poopo.

Con esta información se estableció la red de monitoreo considerando inicialmente, áreas de influencia minera: con 26 puntos de muestreo donde se consideran aguas de ríos influenciados con (vertidos mineros) residuos de procesos de mina y pozos con posible influencia, en donde la evaluación virtual del agua en el proceso de mina esta programada para el primero semestre del 2008.

A nivel de cuenca se toma como base la distribución geográfica de las subcuencas y centros poblados conectados al sistema hidrológico, considerando 54 pozos en toda la cuenca. En septiembre del 2007 se recorrió la cuenca del lago Poopó, identificándose 33 pozos de agua con diferentes características y distribución por subcuencas. Este inventario divide a la zona en tres zonas de influencia por actividades industriales y no industriales que se realizan en la cuenca, éstas zonas son: de influencia minera, de influencia agrosilvopastoril y de influencia natural. Todos los pozos identificados están entre 4 y 14 m de profundidad, a excepción de un pozo surgente en la localidad de Llapallapani que es perforado y se encuentra sellado.

El programa de monitoreo incluye 21 puntos en la red hidrográfica de la cuenca del lago Poopó dando seguimiento a los trabajos realizados a través de la RED de trabajo ASDI-SAREC.

A esta información está pendiente la definición de variables hidráulicas de los pozos identificados, que serán priorizadas según la distribución en zonas de influencia y las propiedades químicas del agua.

3.1.1 Analisis de imágenes SIG

Inicialmente se utilizo en este trabajo, imágenes satelitales del captor Landsat TM, escena correspondiente a julio del año 2001, georeferenciado con proyección UTM y Datum WGS-84; las diferentes combinaciones de las bandas permite en un caso utilizando la banda del infrarrojo, ver en color rojo las zonas con presencia de vegetación; también se pueden notar suelos salinizados en un color blanco, cuando se combina las 3 primeras bandas (falso color)

En base a dos escenas de diferentes fechas, abril 1990 y julio 2001 se ha podido vectorializar las áreas de los espejos de agua en esas fechas, viendo que existe una reducción relativa del espejo del agua.

La aplicación de SIG para el presente estudio permite:

- Manejar los datos geoespaciales
- Relacionar diferentes temas
- Encontrar patrones de comportamiento y de comparación
- Mayor facilidad de búsqueda, análisis y representación de datos sobre planos
- Intercambiar libremente datos geoespaciales
- Tomar en el futuro mejores decisiones

Se ha podido generar información para poder visualizarlos en planos de diferentes temas como:

- Asentamientos humanos
- Plano topográfico
- Estaciones meteorológicas
- Depósitos metálicos
- Colas y desmontes

- Hidrografía
- Topografía
- Concesiones mineras
- Microcuencas
- Vegetación
- Altitudes
- Municipios
- Geología

La combinación de las diferentes bandas de la imagen landsat permitió realzar zonas de diferentes respuestas a la luz solar (reflexión y absorción en diferentes longitudes de onda); la combinación de las bandas 1,2,4 permite ver la vegetación en un color rojo, ya que se está utilizando la banda infrarroja 4; por el componente clorofílico que tiene la vegetación se puede ver esta coloración roja en la imagen, y de esta manera se vectorializó las zonas con presencia de vegetación.

Otro aspecto importante es el tema de los yacimientos metálicos, que de acuerdo a la base de datos que tiene se puede clasificar de diferentes maneras, en función a lo que se pretende que se vea en el plano. El tema de las concesiones mineras está actualizado hasta el año 2006 en los formatos por pertenencias y cuadrículas que son las que están vigentes en Bolivia. Los pasivos ambientales, colas y desmontes, están localizados en otro tema y son la fuente de los drenajes ácidos.

El tema de la geología de la zona es un tema muy importante, ya que permite identificar además de las características de las rocas y material cuaternario, las zonas de serranías altas, medias y áreas de sedimentación utilizando las herramientas del programa Arc View.

Los asentamientos humanos es un tema que se complementa para realizar el análisis de la influencia que pueda tener los efectos que produce la contaminación por las actividades mineras .

Para el tratamiento de las imágenes se utilizó el programa ENVI 4.0, y para los Sistemas de Información Geográfica, el programa Arc View 3.2 que muy bien puede ser recuperado con Arc Gis. Los formatos y archivos utilizados en el trabajo son raster, Shp, Dxf convertidos a Shp.

3.1.2 Identificación de los puntos de muestreo

La selección de lugar de muestreo se realizó en función de toda la información de campo, imágenes satelitales, delimitación de cuenca y subcuencas hidrográficas, así como de cuencas de gestión priorizando zonas semiáridas con influencia minera sin descartar las otras actividades en las zonas áridas de la cuenca del lago Poopó.

Los puntos de muestreo en el caso de muestras de agua fueron seleccionados según criterios de integración de la cuenca donde se pueda evaluar la calidad, disposición y uso de este recurso según el tipo de actividades que se desarrollan dentro de la cuenca, tratando de cubrir las expectativas sociales de los sectores involucrados y que sufren la presión de las actividades mineras y los cambios globales que se atraviesan en la cuenca.

El plan de monitoreo contempla la caracterización de suelos en la cuenca a fin de diagnosticar las características que presentan los suelos en las subcuencas mencionadas para poder definir la Capacidad Productiva y limitaciones, de esta manera se contempla un muestreo de suelos en un solo periodo de muestreo, en todo el perfil del suelo (0 – 1 m de profundidad) y la evaluación de las actividades agrosilvopastoriles que se desarrollan en las zonas bajas y cabeceras de cuenca en tres áreas prioritarias a partir del inventario de aguas subsuperficiales y de la evaluación de la calidad de agua y flujo de metales pesados en los ríos de la cuenca del lago Poopó.

3.1.3 Recurso suelo

A fin de poder hacer una evaluación de los suelos en las subcuencas seleccionadas (Poopó y Antequera y municipios de Pazña y Villa Poopó), es importante caracterizar los suelos en base a sus propiedades físico –químicas y biológicas, presencia de metales pesados en sus diferentes horizontes y otros parámetros. Para tal efecto se utilizará la siguiente metodología de trabajo:

Fase I (Trabajo de Gabinete)

- Recopilación y análisis de información existente (Cartas Nacionales esc.1:50000, Mapas de Geología, Geomorfología, diferentes estudios, etc.
- Planificación de trabajo de campo.
- Preparación del Mapa Base por subcuenca y definición de Unidades de Paisaje.
- Preparación de materiales y equipos para caracterización, evaluación y muestreo de suelos en el campo.

Fase II (Trabajo de Campo)

- Reconocimiento del área de estudio y contrastación del mapa base con las unidades en el terreno.

- Evaluación de la cobertura vegetal

En las principales unidades de paisaje (fisiográficas) determinadas, una vez medida la altura del terreno y la posición geográfica del sitio de estudio (con ayuda de un GPS-Garmin ETREX), se evaluó en transectos la cobertura vegetal y en base a los resultados obtenidos se determinó el porcentaje de cada especie que cubre el suelo por unidad de superficie.

- Evaluación de suelos.

En cada sitio donde se evaluó la cobertura vegetal (vegetación), también se hizo además una caracterización general de los suelos (solo en zonas donde existen tierras con potencial agrícola o ganadero y no presentaban serios problemas de contaminación). Para este fin se utilizó la Metodología de la FAO (Manual de Descripción de Perfiles de Suelo):

I Información Acerca del Sitio: Ubicación, Altitud, Forma del terreno, Posición fisiográfica y la Pendiente del terreno.

II Información General Acerca del Suelo: Material de partida, Drenaje, Presencia de piedras en la superficie y Afloramientos rocosos, Evidencia de erosión, Presencia de sales, Influencia humana.

III: Características del Suelo (Por horizonte): Color, Textura, Estructura, consistencia; Contenido de fragmentos de roca, Presencia de capas endurecidas, Carbonatos, sales, etc.

- Muestreo de suelos

En los sitios donde se describieron suelos con potencial agrícola o forrajero o donde existen suelos con problemas de contaminación minera, se tomarán muestras de la capa superficial (horizonte) de los suelos (0-20 cm). Cada muestra corresponde a una muestra compuesta de 10 submuestras tomadas en zig-zag de todo el terreno. De la misma en las zonas afectadas por relaves de la minería y donde las características de los suelos han desaparecido casi por completo (vegetación, horizontes y otros), se tomarán muestras de los relaves sedimentados sobre el suelo o de las capas mezcladas.

- Obtención de información complementaria respecto a la vegetación, uso de la tierra y otros en sitios aledaños a los muestreos.

Fase III (Trabajo de Gabinete)

- Análisis de laboratorio (IIQ y Facultad de Agronomía, UMSA)

- Evaluación e interpretación de resultados

Los resultados obtenidos sobre la presencia de metales pesados y otros serán comparados con los Parámetros de Referencia que se utilizan a nivel mundial para algunos metales pesados y otros: Rango Común; Máxima Concentración Tolerable para Agricultura (MC) según Kloke (1980); Niveles Críticos de Kabata-Pendras (1992); Concentración Total Crítica de Rams y Steines (1994) y Concentración Crítica de la Unión Europea

- Elaboración de informes

La caracterización de cada sitio de muestreo de suelos seleccionado, es evaluada en base a la metodología vigente del Departamento de Agricultura de los EE UU (USDA) y siguiendo la metodología de la FAO (Manual de Descripción de Perfiles, 1977).

3.1.4 Red de monitoreo

Agua superficiales Naturales: (ríos)

El programa de monitoreo para los ríos de la cuenca del lago Poopó, durante los dos años se realizarán en diferentes periodos hidrológicos (época seca y húmeda) y épocas intermedias. Es decir el monitoreo de estos puntos se realizará cada tres meses. Los datos procesados, incluirán, las medias aritméticas y las desviaciones estándar de todas las variables, para luego calcular límites de confianza de 95%.

Aguas superficiales con impacto minero: (casos de estudio)

Este muestreo se lleva a cabo una vez por mes considerando además la evaluación del ciclo de mina para evaluar el impacto de los efluentes y residuos mineros.

Aguas Subsuperficiales: (pozos)

Para caracterizar las propiedades del agua subsuperficial en los pozos, se hizo una clasificación en función del uso destinado a los pozos en toda la cuenca, considerando una frecuencia trimestral para evaluar la variabilidad de la calidad del agua de consumo humano, riego y cría de ganado.

Aguas Subterráneas: (acuiferos)

Por las características y la cantidad de los pozos profundos se están tomando muestras cada tres meses, ya que en teoría las características químicas de estas fuentes de agua no están siendo influenciadas por las actividades antropogénicas desarrolladas en la cuenca del lago Poopó.

Suelos:

Se han identificado puntos de muestreo en el Municipio de Poopó donde se desarrollan actividades agrosilvopastoriles en zonas bajas de la cuenca hidrológica, en las zonas altas para determinar fronteras agrícolas y niveles de erosionabilidad en las cabeceras, y las zonas de llanuras aluviales para determinar el impacto de las aguas con influencias mineras en las zonas circundantes al lago Poopó.

Sedimentos:

El muestreo de los sedimentos se realiza en las subcuencas con impacto minero, coincidiendo con el muestreo de las aguas de subcuencas mineras (triángulo Poopó-Pazña-Anequera).

Análisis de muestras de agua en laboratorio

Se analizan compuestos y elementos disueltos al equilibrio en muestras de aguas superficiales y subterráneas, los parámetros considerados son aniones y cationes mayoritarios, metales pesados (Arsénico, plomo, cadmio, zinc), además de otros metales como el cobre, hierro y el manganeso, característicos de las zonas con actividades mineras. No se podrá determinar aluminio por que el IIQ no tiene aun la tecnología para poder hacer estas determinaciones, aunque, gracias a otros proyectos podremos evaluar algunos puntos conflictivos.

El pH, E°, la conductividad, la alcalinidad y el oxígeno disuelto son determinados en el campo por ser parámetros inestables en el tiempo.

Los aniones mayoritarios (F, Cl, NO₃, PO₄, SO₄) son determinados empleando un cromatógrafo de iones.

Los cationes mayoritarios (Na, K, Ca, Mg y Fe) son determinados empleando espectrometría de absorción atómica mediante la técnica de llama y los elementos traza (As, Cd, Pb, Cu, Zn) empleando la técnica. Horno de grafito.

Análisis de muestras de suelos en laboratorio

En la TABLA 8, se resumen tanto los parámetros sujetos de análisis y métodos analíticos a emplear en la caracterización de los suelos.

TABLA 8 : Determinaciones analíticas en suelos

PARÁMETROS FÍSICOS	MÉTODO(S) DE REFERENCIA
Textura	Bouyoucos
Grava y Piedra	Cálculos y mediciones "in situ"
PARÁMETROS QUÍMICOS	
Reacción del Suelo (pH)	Suspensión Suelo-Agua, por el método del Potenciómetro. Suspensión Suelo_KCl, por el método del Potenciómetro
Conductividad Eléctrica	Conductímetro (Puente de Wheatstone)
Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)-33.3333	Extracción con ayuda del Acetato de Amonio, previo lavado con alcohol y o sumando algebraicamente los cationes de cambio más la acidez de cambio Calcio y Magnesio: Por volumetría utilizando Versenato de Sodio Sodio y Potasio: Por Fotometría de Llama.
Total de Bases Intercambiables (TBI)	Sumatoria del Ca, Mg, K y Na Intercambiables
Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI)	Se estima dividiendo el contenido de Sodio Intercambiable y la CIC
PROPIEDADES BIOLÓGICAS	
Materia Orgánica (MO)	Método de Walkley y Black
METALES PESADOS y OTROS	
Cadmio	EPA 3051 Digestión/Solubilización EPA 3051A Extracción EPA 213.1 Determinación
Plomo	EPA 3051 Digestión/Solubilización EPA 3051A Extracción EPA 239.1 Determinación
Zinc	EPA 3051 Digestión/Solubilización EPA 3051A Extracción EPA 3000 Determinación
As	EPA 3051 Digestión/Solubilización EPA 3051A Extracción EPA 3000 Determinación
Otros Metales	

**Para suelos Salinos /sódicos y sódicos se determina el pH, CE y Cationes solubles en extracto de saturación y el PSI por cálculos*

Análisis e interpretación de resultados

Los resultados son analizados e interpretados comparando los mismos con el Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica de la Ley de Medio Ambiente de Bolivia (1333) y con normas internacionales, en los casos estos se puedan realizar ya que la complejidad de las aguas hacen que

algunas veces no se usen ninguna norma, por lo que en el plan de manejo de la cuenca se tendrá que dar guías de la evaluación en zonas semiáridas y áridas con influencia de la actividad minera.

Evaluación de las estaciones de muestreo de la Red

Para la evaluación de los resultados del recurso agua y suelo se utilizara como herramienta el software AQUACHEM 5.1, en el que se generaran gráficos de: Piper, Ludwig Langelier; diagramas de: Stiff, ternario de metales predominantes y Wilcox, además se tomara en cuenta el balance iónico, duplicados, adicionados, material de referencia, como base para saber si los análisis sufren errores sistemáticos y aleatorios.

3.2 CAMPAÑA 1: Junio 2007

3.2.1 Aguas superficiales

El muestreo se realizo en plena época seca y en pleno invierno, donde se tuvo la participación de los miembros de la Dirección de Recursos Naturales de la Prefectura del Departamento de Oruro, con quienes se consiguió la autorización de tomar muestras dentro de la instalación de la Empresa Minera Sinchi Wayra en la población de Bolivar, sin lograr ingresar a los procesos de mina para la colecta de las muestras.

Subcuenca de Antequera

A partir de la evaluación del anexo de los diagramas de Piper, en la parte alta de esta subcuenca podemos observar que las características del curso de agua tiene una clasificación de aguas bicarbonatadas cálcicas, esta fuente de agua solo tiene la influencia de actividades agropecuarias de baja intensidad, aparentemente esta agua no contiene sustancias suspendidas.

Después del proceso de extracción en la empresa minera Sinchi Wayra, esta aguas son almacenadas en una piscina que después son empleadas nuevamente para el mismo proceso, en este punto las características del agua presentan gran cantidad de material en suspensión de color plomo y presenta una clasificación sulfatada cálcica, lo que muestra un cambio total del carácter aniónico de la matriz antes del ingreso a la empresa minera.

Siguiendo el curso de agua nos encontramos con los remanentes de actividades que se encuentran frente al cementerio de la población de Bolivar, cuya clasificación es sulfatada cálcica, con 30% de calcio y porcentajes > 90 de sulfato, siguiendo la pendiente esta corriente de agua se infiltra metros más adelante.

Las colas del proceso de recuperación de la Empresa minera Sinchi Wayra son transportados mediante tubería y bombeo al dique de estabilización antiguo, la muestra fue colectada de la parte central del dique, continua teniendo las características de color plomo y material en suspensión, que según información del personal de la empresa que nos acompañó en muestreo llego a su máxima capacidad y el dique nuevo cuyo muestreo fue en el costado superior por no tener un acceso a la parte central y por ultimo en la salida del dique de colas nos encontramos que los puntos de muestreo presentan una clasificación de sulfatada cálcica, con la diferencia de presentar valores en el rango de 10 a 30% de calcio y porcentajes >80 de sulfato.

El punto de muestreo frente a la mina Marta (de propiedad de la Empresa Sinchi Wayra) en donde confluyen el curso del río Chapana y la corriente de la salida de los diques de colas, presenta una clasificación sulfatada cálcica, con valores de 15% de calcio y >95% de sulfato.

Continuando con el muestreo en la subcuenca nos encontramos con la poblaciones de Totoral y Avicaya, en las cuales se desarrolla actividades de rescate de mineral y empresa de cooperativistas de los desmontes de la época de los 70's, este punto muestra una clasificación de aguas sulfatadas cálcicas, con las mismas características aguas arriba.

El río Urmiri solo tiene una actividad agropecuaria desde la parte de alta hasta su confluencia con las aguas termales, su clasificación es bicarbonatada cálcica y sódica cambiando su clasificación después de la confluencia con la aguas termales a cloruro sódica y magnésica, esta agua al final se encuentran con las agua de carácter sulfatadas cálcicas.

El punto de integración de las corrientes de agua se encuentra en la salida de la subcuenca que se encuentra debajo del puente de la localidad de Pazña, sulfatada cálcica, con un 50% de calcio y >90 de sulfato, lo que muestra que el caudal de las aguas termales no es suficiente para la neutralización del caudal de carácter ácido proveniente de las actividades mineras. Por lo que podemos concluir que la actividad minera tiene un impacto sobre la fuente de las aguas en la subcuenca de Antequera.

Desde un análisis de los gráficos de Stiff llegamos a la misma conclusión, mostrando que las aguas de la parte con actividad minera tiene un perfil muy parecido a las aguas de la salida del dique de colas, en cambio en el río Urmiri tiene un perfil totalmente diferente en los puntos de muestreo, que en la salida de la subcuenca continua teniendo el perfil de las aguas del dique de colas.

Subcuenca de Poopo

En la subcuenca de estudio de caso, la parte superior solo esta influenciada por la actividad agropecuaria de baja intensidad y en el punto de muestreo del Puente Vilaque nos presenta una clasificación de aguas sulfatada cálcica y sódica, similar a la característica del río Koa y la confluencia de las dos corrientes encontramos (Vivaque y Koa) muestra una clasificación de bicarbonatada sódica y cálcica.

Descendiendo por la subcuenca nos encontramos con la toma de agua para suministro de la localidad de Villa Poopó de agua potable y encontramos una clasificación de cloruro sódica. En cambio cuando el curso natural se mezcla con las aguas termales en el punto de Cabrería termal la clasificación es de bicarbonatada sódica.

En el punto de integración la salida de la subcuenca que se encuentra debajo del puente de la localidad de Villa Poopó, determinamos que la clasificación es bicarbonatada sódica y cálcica.

Los gráficos de Stiff muestran las mismas características, llegando a la conclusión que el caudal de las aguas naturales muy pequeño comparado con el caudal de las aguas termales lo que muestra un dominio del perfil en los mencionados gráficos, en la salida de la subcuenca continua la señal de las aguas termales, influenciando muy poco las aguas ácidas generadas por las cooperativas y los residuos de las operaciones de la empresa Tihuanacu.

3.2.2 Aguas subsuperficiales (pozos)

Las dos muestras de la comunidad de Callipampa que se encuentran en la cercanía de la carretera presentan la misma clasificación cloruros bicarbonatadas sódicas; mientras las aguas que fluyen desde la mina Candelaria y que fue tomada cuando cruza con la carretera presentan una clasificación sulfatada sódica, esta ultima es muy característica de las aguas ácidas de mina.

El punto de muestreo en la llanura (al frente de la Villa Poopó) Kesu Kesuni se encontró una clasificación de bicarbonatada sódica y cálcica, los pobladores indican que son las aguas ácidas de las colas y desmontes de la Empresa Tihuanacu que estan afectando las aguas de pozos de las comunidades de Kesu Kesuni, por lo que se debe establecer un detallado estudio de piezometría en la llanura de inundación.

Por lo que concluimos diciendo que se debe de realizar estudios más detallados en la relación de pozo – río en especial en lo que relaciona a metales pesados y arsénico.

3.3 CAMPAÑA 2: Septiembre 2007

3.3.1 Aguas superficiales

- Avicaya, (AVR1-2) el punto esta sobre el río las aguas presentan una clasificación de Ca-SO₄ y los valores de pH son de 3,18 y 3,1; esta clasificación es característico de aguas de mina; AVR1 se encuentra por en medio de las colas, la concentración de plomo es 6,30 µg/L, cadmio 524 µg/L, zinc 139200 µg/L, cobre 591,9 µg/L y hierro 3290 µg/L.

- Dique Bolivar, esta ubicado en la salida del dique de colas antiguo que aporta sus aguas al río Chapana, presentan una clasificación de Ca-SO₄ y el valor de pH es de 6.9; mientras que la concentración de cadmio 492 µg/L, zinc 103800 µg/L y hierro 36020 µg/L.
- Hirucucho HIRR, ojo de agua que forma el río para uso de riego, presenta una clasificación de Ca-Mg-CO₃ y un valor de pH de 8,03; mientras que las concentraciones de cadmio, zinc y hierro presentan concentraciones debajo del limite de cuantificación.
- Pazña PAZR1, presenta una clasificación de Ca-Na-SO₄ y un valor de pH de 4,75; mientras que las concentraciones de plomo es 3,63 µg/L, cobre 397,6 µg/L, cadmio 348 µg/L, zinc 92200 µg/L y arsénico esta por debajo del limite de cuantificación.
- Puente Vilaque, presenta una clasificación de Ca-Na-Mg-HCO₃-SO₄ y un valor de pH de 7,55; mientras que las concentraciones de plomo, cobre, cadmio, zinc 14 µg/L y arsénico esta por debajo del limite de cuantificación

Nombre	Clave	Clasificación
Andamarca	ANP1	Na-Ca-HCO ₃ -SO ₄
Avicaya	AVO1	Ca-Na-Mg-HCO ₃ -NO ₃
Avaroa	AVP1	Ca-Na-HCO ₃
Avicaya	AVR1	Ca-SO ₄
Avicaya	AVR2	Ca-SO ₄
Dique Bolivar	BOD1	Ca-SO ₄
Cayhuasi	CAP1	Mg- Na-Ca-HCO ₃ -SO ₄
Caraynacha	CARP1	Ca-Na-HCO ₃
Cayumalliri	CAYP1	Ca-Na-Mg-HCO ₃ -SO ₄
Chapana	CHAU1	Ca-Mg-Na-HCO ₃ -SO ₄
Challapata	CHAP1	Ca-Na-Mg -HCO ₃ -Cl
Chusaqueri	CHP1	Ca-Na-Cl
Condo K	CONP4	Na-Ca-HCO ₃
Copacabanita	COP1	Ca-Na- SO ₄
Canton Coripata	CORT1	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄
Hirucucho	HIRR1	Ca-Mg-CO ₃
Kulliri	KUP1	Na-HCO ₃ -SO ₄ -Cl
Llapallapani	LLAP1	Na-Ca-SO ₄ -HCO ₃
Pampa Aullagas	PAMP1	Na-Ca-Cl-HCO ₃ -SO ₄
Paria	PAP1	Na-Mg-HCO ₃ -CL-SO ₄
Paria	PASB1	Na-Ca-HCO ₃
Pazña	PAZR1	Ca-Na-SO ₄
Puente Vilaque	POR1	Ca-Na-Mg-HCO ₃ -SO ₄
Quillacas	QUP1	Na-Cl-HCO ₃
Quillacas	QUP3	Na-Cl-NO ₃
Realenga	REP1	Na-Ca-Mg-SO ₄ -HCO ₃
Soracachi	SOP1	Mg-Ca-Na-HCO ₃ -SO ₄
Soracachi	SOP2	Mg-Na-Ca-HCO ₃ -SO ₄
Tolaloma	TOLP1	Ca-HCO ₃ -SO ₄

Toledo	TOP1	Na-Ca- Cl-HCO3
Toledo	TOP2	Na-Ca-Cl
Totoral	TOR1	Ca-Zn-SO4
Totoral	TOTP1	Na-Cl-NO3-SO4
Totoral	TOTT1	Na-HCO3-CL
Urmiri	URC1	Na-Cl
Urmiri	URO1	Na-HCO3-Cl
Urmiri	URR1	Ca-Na-Mg-CO3-SO4
Venta y media	VENR1	Ca-Mg-SO4-CO3

3.3.2 Aguas subsuperficiales

Del total de pozos identificados el 60% se distribuye en toda la cuenca y se utilizan para uso doméstico es decir: principalmente para el consumo humano, estas fuentes de aguas subsuperficiales se encuentran en propiedades comunales, en función del uso y disposición se identifica que el agua subsuperficial del lado noroeste de la cuenca está destinada al consumo humano además de la actividades de riego y cría de ganado. En cambio en los valles interandinos de la subcuenca de Poopó (como Coriviri, Jucumari y Callumalliri) y de la subcuenca Antequera (Urmiri y Cuchiavicaya) en la zona semiárida, el recurso agua es utilizada para riego, por la buena calidad del agua.

A esta información está pendiente la definición de variables hidráulicas de los pozos identificados, que serán priorizadas según la distribución en zonas de influencia y las propiedades químicas del agua.

El muestreo se desarrollo en la época de transición de entre la época seca y la de invierno

- Andamarca, el pozo subsuperficial (profundidad de 5,3 m) presenta una clasificación de aguas Na-Ca-HCO3-SO4 y un valor de pH de 7,69 en este valor de pH es característico la presencia de Bicarbonato, mientras la concentración de arsénico es de 41,59 µg/L, plomo 4,72 µg/L, cadmio y zinc presentan concentraciones muy bajas 1,2 y 9 µg/L, respectivamente, además otros elementos como el cobre 1,11 µg/L y el hierro 30 µg/L.
- Avicaya AVO1, ojo de agua en el pie de monte, presenta una clasificación de aguas Ca-Na-Mg-HCO3-NO3 y un valor de pH de 7,21, en este punto es extraño la presencia de NO3 que podría presentarse por la contaminación de estiércol o servicios higiénicos (pozos sépticos) en la parte superior del ojo de agua, mientras la concentración de cadmio y zinc presentan concentraciones muy bajas 1,2 y 9 µg/L respectivamente; el hierro presenta una concentración de 30 µg/L, por lo que elementos como el arsénico se seguira evaluando en las otras épocas.
- Avaroa AVP1, el pozo subsuperficial (profundidad de 3,6 m) presenta una clasificación de aguas Ca-Na-HCO3 y un valor de pH de 7,29, mientras la concentración de arsénico es de 38,81 µg/L, plomo, cadmio y zinc presentan concentraciones muy bajas por debajo del límite de cuantificación, además es este punto se puede observar una concentración de cobre de 1,11 µg/L y hierro 30 µg/L.
- Cayhuasi CAP1, presenta una clasificación de aguas Mg-Na-Ca-HCO3-SO4 y un valor de pH de 7,45; mientras las concentraciones de arsénico, plomo, cadmio, zinc y hierro, presentan concentraciones muy bajas por debajo del limite de cuantificación; por lo que se puede decir que es un agua de buena calidad desde el punto de vista fisicoquímico.
- Caraynacha CARP1, el pozo subsuperficial (profundidad de 4,4 m) presenta una clasificación de aguas Ca-Na-HCO3 y un valor de pH de 7,48; mientras la concentración de arsénico es de 54,80 µg/L, plomo, cadmio y zinc presentan concentraciones muy bajas por debajo del limite de cuantificación; además cobre 1,77 µg/L y hierro de 346 µg/L .
- Cayumalliri CAYP1, el pozo subsuperficial (profundidad de 4,4 m) presenta una clasificación de aguas Ca-Na-Mg-HCO3-SO4 y un valor de pH de 6,8; mientras la concentración de arsénico, plomo y cadmio presentan concentraciones muy bajas por debajo del limite de cuantificación, además zinc presenta una concentración de 22 µg/L.

- Chapana CHAU1, presenta una clasificación de aguas Ca-Mg-Na-HCO₃-SO₄ y un valor de pH de 7,6; mientras la concentración de arsénico es de 32,37 µg/L, plomo, cadmio y zinc presentan concentraciones muy bajas por debajo del límite de cuantificación, y cobre 2,34 y 30 µg/L respectivamente.
- Challapata CHAP1, presenta una clasificación de aguas Ca-Na-Mg -HCO₃-Cl y un valor de pH de 7,84; mientras las concentraciones de arsénico es de 17,32 µg/L, plomo, cadmio y zinc en concentraciones por debajo del límite de cuantificación, además presentan cobre 1,77 µg/L y hierro 30 µg/L; por lo que se puede decir que es un agua de buena calidad desde el punto de vista fisicoquímico, aunque la cantidad de arsénico es significativa para aguas subterráneas sin influencia minera, que podría ser parte de arsénico natural y se tendría que seguir el monitoreo de este punto por ser fuente de agua para distribución pública.
- Chusaqueri, presenta una clasificación de aguas Ca-Na-Cl y un valor de pH de 7,52; mientras las concentraciones de arsénico es 15,94 µg/L, plomo, cadmio y zinc en concentraciones por debajo del límite de cuantificación, además presentan cobre 2,21 µg/L y hierro 30 µg/L; por lo que se puede decir que es un agua de buena calidad desde el punto de vista fisicoquímico, aunque se debe de realizar algunas determinaciones en diferentes épocas para determinar el origen del arsénico.
- Condo K CONP4, cuya profundidad es de 1,9 m, presenta una clasificación de aguas Na-Ca-HCO₃ y un valor de pH de 7,55; mientras las concentraciones de arsénico es de 229,43 µg/L, plomo, cadmio y zinc en concentraciones por debajo del límite de cuantificación, además presentan cobre 3,44 µg/L y hierro 30 µg/L; aunque se debe de realizar algunas determinaciones en diferentes épocas para conocer el origen del arsénico ya que la zona no tiene ninguna influencia minera
- Copacabanita COP1, cuya profundidad es de 8,62 m, presenta una clasificación de aguas Ca-Na-SO₄ y un valor de pH de 7,08; mientras las concentraciones de arsénico es de 8,22 µg/L, zinc 207 µg/L, plomo y cadmio por debajo del límite de cuantificación, además presentan cobre 1,09 µg/L y hierro 30 µg/L; esta zona no tiene ninguna influencia de actividad minera y se debe de realizar observaciones en diferentes épocas para conocer el origen del arsénico.
- Canton Coripata, presenta una clasificación de aguas Ca-Mg-HCO₃-SO₄ y un valor de pH de 7,48; mientras las concentraciones de arsénico, plomo, zinc y cadmio están por debajo del límite de cuantificación, además presenta hierro 30 µg/L; hay que recabar mayor información de campo para poder seguir el monitoreo.
- Kulliri, cuya profundidad es de 5,22 m, presenta una clasificación de aguas Na-HCO₃-SO₄-Cl y un valor de pH de 7,75; mientras las concentraciones de arsénico es de 44,74 µg/L, plomo, zinc y cadmio por debajo del límite de cuantificación, además presentan cobre 0,83 µg/L y hierro 30 µg/L; esta zona no tiene ninguna influencia de actividad minera y se debe de realizar observaciones en diferentes épocas para conocer el origen del arsénico, aunque la cantidad no es grande se debe determinar relaciones con el HCO₃.
- Llapallapani LLAP1, con una profundidad de ≈ 50 m, presenta una clasificación de Na-Ca-SO₄-HCO₃ y un valor de pH de 6,97; mientras las concentraciones de arsénico es de 41,11 µg/L, plomo, zinc y cadmio están por debajo del límite de cuantificación, además presentan cobre 1,60 µg/L y hierro 30 µg/L; esta zona no tiene ninguna influencia de actividad minera y se debe de realizar observaciones en diferentes épocas para conocer el origen del arsénico, aunque la cantidad no es grande se debe determinar relaciones con el HCO₃.
- Pampa Aullagas PAMP1, con una profundidad de 1,75 m, presenta una clasificación de Na-Ca-Cl-HCO₃-SO₄ y un valor de pH de 6,41; mientras las concentraciones de arsénico es de 116,82 µg/L, cadmio 24 µg/L, plomo, y zinc están por debajo del límite de cuantificación, además presentan cobre 4,29 µg/L y hierro 30 µg/L; esta zona no tiene ninguna influencia de actividad minera y se debe de realizar observaciones en diferentes épocas para conocer el origen del arsénico, además de realizar correlaciones con HCO₃.
- Paria PAP1, pozo de 80 años de antigüedad, presenta una clasificación de Na-Mg-HCO₃-CL-SO₄ y un valor de pH de 7,41; mientras las concentraciones de arsénico es de 24,32 µg/L, plomo 2,32 µg/L, cadmio y zinc están por debajo del límite de cuantificación, además presentan cobre 2,02 µg/L y hierro 30 µg/L, la concentración de arsénico es baja pero se debe hacer seguimiento de la calidad de este pozo.

- Paria PASB1, agua de galería filtrante usada para criadero de truchas, presenta una clasificación de Na-Ca-HCO₃, y un valor de pH de 7,96; mientras las concentraciones de plomo, cadmio y zinc están por debajo del límite de cuantificación, además presenta hierro 30 µg/L, hay que asegurar la concentración de arsénico por lo que se debe hacer seguimiento de la calidad de este pozo.
- Quillacas QUP1, profundidad de pozo de 5,79 m, usada consumo domestico, presenta una clasificación de Na-Cl-HCO₃, y un valor de pH de 7,90; mientras las concentraciones de arsénico es de 233,3 µg/L, plomo, cadmio y zinc están por debajo del límite de cuantificación, además presentan cobre 9,63 µg/L y hierro 30 µg/L, la concentración de arsénico bastante alta y habrá que seguir realizando observaciones en especial las relaciones con el HCO₃.
- Quillacas QUP3, profundidad de pozo de 4 m, presenta una clasificación de Na-Cl-NO₃ y un valor de pH de 6,74; mientras las concentraciones de arsénico es de 36,85 µg/L, , cadmio 22 µg/L, zinc 35 µg/L y plomo está por debajo del límite de cuantificación, además presentan cobre 6,05 µg/L y hierro 1950 µg/L, medio oxidante fuerte que convierte todas las formas de nitrógeno a nitrato y posible presencia de bacterias nitrogenantes o gran cantidad de fertilizante.
- Realenga REPI1, presenta una clasificación de Na-Ca-Mg-SO₄-HCO₃; mientras las concentraciones de arsénico es de 10,51 µg/L, plomo, cadmio y zinc están por debajo de limite de cuantificación, además presentan cobre 0,90 µg/L y hierro 30 µg/L, la concentración de arsénico es baja pero se debe hacer seguimiento de la calidad de este pozo en función de esta sustancia.
- Soracachi SOP1, red de distribución de agua potable, presenta una clasificación de Mg-Ca-Na-HCO₃-SO₄ y un valor de 7,33; mientras las concentraciones de arsénico 6,68 µg/L, plomo, cadmio y zinc están por debajo de limite de cuantificación, además presentan cobre 1,0 µg/L y hierro 30 µg/L, lo que demuestra que el agua es de muy buena calidad desde el punto de vista fisicoquímico, pero hay que monitorear el punto con especial atención de arsénico.
- Soracachi SOP2, presenta una clasificación de Mg-Na-Ca-HCO₃-SO₄ y un valor de 7,15; mientras las concentraciones de arsénico, plomo, cadmio y zinc están por debajo de limite de cuantificación, además presentan cobre 0,7 µg/L y hierro 30 µg/L.
- Tolaloma TOLP1, profundidad de pozo de 2,66 m, presenta una clasificación de Ca-HCO₃-SO₄ y un valor de 7,61; mientras las concentraciones de arsénico 46,55 µg/L, plomo, cadmio y zinc están por debajo de limite de cuantificación, además presentan cobre 2,05 µg/L y hierro 30 µg/L, la concentración de arsénico es significativa por lo que se debe de hacer un seguimiento de la calidad de este pozo en función de esta sustancia y su relación con el HCO₃.
- Toledo TOP1, presenta una clasificación de Na-Ca- Cl-HCO₃ y un valor de 7,72; mientras las concentraciones de arsénico 234,4 µg/L, cadmio 20 µg/L, plomo, y zinc están por debajo de limite de cuantificación, además presentan cobre 2,34 µg/L y hierro 30 µg/L, la concentración de arsénico es significativa por lo que se debe de hacer un seguimiento de la calidad de este pozo en función de esta sustancia y su relación con el HCO₃.
- Toledo TOP2, presenta una clasificación de Na-Ca- Cl y un valor de 7,38; mientras las concentraciones de arsénico 242,4 µg/L, cadmio, plomo, y zinc están por debajo de limite de cuantificación, además presentan cobre 2,08 µg/L y hierro 30 µg/L, la concentración de arsénico es significativa por lo que se debe de hacer un seguimiento de la calidad de este pozo en función de esta sustancia y su relación con el HCO₃, se debería de realizar seguimiento en otras épocas.
- Totoral TOTP1, profundidad de pozo de 8,3 m de uso domestico, y un valor de pH de 6,87, presenta una clasificación Na-Cl-NO₃-SO₄; mientras las concentraciones de arsénico 20,48 µg/L, zinc 120 µg/L, plomo y cadmio están por debajo de limite de cuantificación, además presentan cobre 4,93 µg/L y hierro 30 µg/L, la concentración de arsénico es significativamente baja por lo que se debe determinar el origen de este elemento, la presencia de nitrato muestra medio fuertemente oxidante que convierte todas las formas de nitrógeno a nitrato y posible presencia de bacterias nitrogenantes, gran cantidad de fertilizante y fugas de servicios higiénicos (pozos sépticos).
- Totoral TOTT1, tanque de distribución de agua potable, presenta una clasificación de Na-HCO₃-CL y un valor de pH de 7,34; mientras las concentraciones de zinc 235 µg/L, cadmio y

plomo están por debajo de límite de cuantificación, además presenta hierro 30 µg/L, la concentración de arsénico se debe de verificar para poder reportarlo

- Urmiri URC1, canal de riego cuyas aguas fueron mezcladas con las aguas termales, presenta una clasificación de Na-CL y un valor de pH 7,95; mientras las concentraciones de plomo, zinc y cadmio, están por debajo del límite de cuantificación, además presenta hierro 52 µg/L.
- Urmiri URO1, ojo de agua para distribución de agua para el pueblo, presenta una clasificación de Na-HCO₃-Cl y un valor de pH 7,4; mientras las concentraciones, plomo, cadmio y zinc, están por debajo de límite de cuantificación, además presenta y hierro 30 µg/L

3.4 CAMPAÑA 3: Noviembre 2007

El muestreo se realizo en el inicio de la época de lluvia

3.4.1 Aguas superficiales

- Avicaya AVR1, esta agua se encuentran en medio de las colas, presenta una clasificación de Ca-Zn-SO₄ y un valor de pH 2,87; mientras las concentraciones de cadmio de 587 mg/L, hierro 3087 mg/L y zinc 194000 mg/L y una distribución en el diagrama de Wilcox en el área C4 de muy alta salinidad y S1 de baja concentración de sodio.
- Pazña PAZR1, presenta una clasificación de Ca-SO₄ y un valor de pH 3,64 una distribución en el diagrama de Wilcox en el área C3 de alta salinidad y S2 media concentración de sodio; mientras las concentraciones de cadmio de 446 mg/L, hierro 2336 mg/L y zinc 130000 mg/L.
- Puente Poopó POR3, presenta una clasificación de Na-Cl y un valor de pH 7,97; mientras las concentraciones de hierro 253 mg/L y zinc 1630 mg/L.
- Totoral TOR1 presenta una clasificación de Ca-SO₄ y un valor de pH 4,5 una distribución en el diagrama de Wilcox en el área C4 de muy alta salinidad y S1 baja concentración de sodio; mientras las concentraciones de cadmio de 921 mg/L, hierro 44725 mg/L y zinc 195000 mg/L.

LUGAR	CODIGO	CLASIFICACION
Avicaya	AVR1	Ca-Zn-SO ₄
Cabreria	CABT1	Ca-Na HCO ₃ -Cl
Cabreria termal	CABTE1	Na- Cl
Candelaria	CAN1	Na-Cl-SO ₄
Candelaria	CAN3	Na- Ca- SO ₄ -Cl
Kesu Kesuni	KESP1	Na- Ca-Cl
Pazña	PAZR1	Ca-SO ₄
Puente Poopo	POR3	Na-Cl
Total	TOR1	Ca- SO ₄
Total	TOTP1	Na-Ca-Cl-SO ₄
Urmiri	URC1	Na-Cl

3.4.2 Aguas subsuperficiales

- Cabreria CABT1, presenta una clasificación Ca-Na-HCO₃-Cl y un valor de pH de 7,42, presenta una distribución según el diagrama de Wilcox en el área C2 de media salinidad y S1 de baja concentración de sodio; mientras que las concentraciones de zinc de 77 mg/L y hierro 190 mg/L.
- Cabreria Termal CABTE1, presenta una clasificación Na-Cl y un valor de pH de 7,68; presenta una distribución según el diagrama de Wilcox en el área C2 de media salinidad y S1 de baja concentración de sodio; mientras que las concentraciones de zinc de 228 mg/L y hierro 57 mg/L.

- Candelaria CAN1, presenta una clasificación Na-Cl-SO₄ y un valor de pH de 7,12; presenta una distribución según el diagrama de Wilcox en el área C4 de muy alta salinidad y S3 de alta concentración de sodio; mientras que las concentraciones de cadmio es de 79 mg/L, zinc de 2356 mg/L y hierro 24400 mg/L.
- Kesu Kesuni KESP1, presenta una clasificación Na-Ca-Cl y un valor de pH de 8,08; presenta una distribución según el diagrama de Wilcox en el área C4 de muy alta salinidad y S2 de media concentración de sodio; mientras que las concentraciones de zinc de 39 mg/L y hierro 207 mg/L.
- Totoral TOTP1, presenta una clasificación Na-Ca-Cl-SO₄ y un valor de pH de 7,4; presenta una distribución según el diagrama de Wilcox en el área C3 de alta salinidad y S2 de media concentración de sodio; mientras que las concentraciones de zinc de 161 mg/L y hierro 250 mg/L.
- Urmiri URC1, presenta una clasificación Na-Cl y un valor de pH de 7,63; presenta una distribución según el diagrama de Wilcox en el área C4 de muy alta salinidad y S4 de muy alta concentración de sodio; mientras que la concentración de hierro es 169 mg/L.

3.5 CAMPAÑA 4: Diciembre 2007

El muestreo se realizo en plena época de lluvia.

3.5.1 Aguas superficiales

LUGAR	CODIGO	CLASIFICACION
Avaroa	AVP1	Ca- Na- HCO ₃
Callipampa	CALLP3	Ca-Na-SO ₄ -HCO ₃ -Cl
Cayhuasi	CAP1	Mg-Ca-HCO ₃ -SO ₄
Caraynacha	CARP1	Ca- Na-HCO ₃
Cayumalliri	CAYP1	Ca- Na-HCO ₃ -SO ₄
Challapata	CHAP1	Ca- Na-Mg-HCO ₃ -Cl
Chusaqueri	CHP1	Ca- Na-Cl-HCO ₃
Condo K	CONP2	Ca- Na-HCO ₃
Condo K	CONP4	Ca- Na -HCO ₃
Copacabanita	COP1	Ca-Na-SO ₄
Huancane	HUAP1	Na-Ca-HCO ₃ -Cl
Irukasa	IRP1	Na-Cl-HCO ₃
Kesu Kesuni	KESP2	Na-Ca-Cl
Kulliri	KUP1	Na-HCO ₃ -SO ₄
Llapallapani	LLAP1	Na- Ca-SO ₄ -HCO ₃
Orinoca	ORV1	Na-Ca-HCO ₃
Paria	PAP1	Na-HCO ₃ -SO ₄
Paria	PASB1	Na- Ca-HCO ₃
Pazña	PAZP2	Ca-Na-SO ₄ -HCO ₃
Puñaca	PUNP1	Na- Cl- HCO ₃
Quellea	QUEP1	Na-Ca-Cl-HCO ₃

Quillacas	QUP2	Na-Cl-NO ₃
Quillacas	QUP3	Na-Cl-SO ₄ -HCO ₃
Realenga	REP1	Na-Ca-Mg-SO ₄ -HCO ₃
Siquiri	SIP2	Na-Ca-HCO ₃ -SO ₄
Soracachi	SOP3	Mg -Ca-HCO ₃ -SO ₄
Tolapampa	TOLAP1	Ca-Mg-Na-CO ₃
Toledo	TOP1	Na-Ca-Cl-HCO ₃
Toledo	TOP2	Na-Ca-Cl
Totoral	TOTP3	Na-Cl-HCO ₃ -SO ₄

3.5.2 Aguas subsuperficiales

- Avaroa AVP1, presenta una clasificación Ca-Na-HCO₃ y un valor de pH de 7,17, presenta una distribución según el diagrama de Wilcox en el área C2-S1 de media salinidad y baja concentración de sodio.
- Callipampa CALLP3, presenta una clasificación Ca-Na-SO₄-HCO₃-Cl y un valor de pH de 7,19, presenta una distribución según el diagrama de Wilcox en el área C2-S1 de media salinidad y baja concentración de sodio.
- Cayhuasi CAP1, presenta una clasificación Mg-Ca-HCO₃-SO₄ y un valor de pH de 7,48, presenta una distribución según el diagrama de Wilcox en el área C3-S1 de alta salinidad y baja concentración de sodio.
- Caraynacha CARP1, presenta una clasificación Ca- Na-HCO₃ y un valor de pH de 7,89, presenta una distribución según el diagrama de Wilcox en el área C2-S1 de media salinidad y baja concentración de sodio.
- Cayumalliri CAYP1, presenta una clasificación Ca-Na-HCO₃-SO₄ y un valor de pH de 6,77, presenta una distribución según el diagrama de Wilcox en el área C2-S1 de media salinidad y baja concentración de sodio.
- Challapata CHAP1, presenta una clasificación Ca-Na-Mg-HCO₃-Cl y un valor de pH de 6,88, presenta una distribución según el diagrama de Wilcox en el área C2-S1 de media salinidad y baja concentración de sodio.
- Chusaqueri CHP1, presenta una clasificación Ca-Na-Cl-HCO₃ y un valor de pH de 7,05, presenta una distribución según el diagrama de Wilcox en el área C3-S1 de alta salinidad y baja concentración de sodio.
- Condo K CONP2, presenta una clasificación Ca-Na-HCO₃ y un valor de pH de 7,65, presenta una distribución según el diagrama de Wilcox en el área C2-S1 de media salinidad y baja concentración de sodio.
- Condo K CONP4, presenta una clasificación Ca-Na-HCO₃ y un valor de pH de 7,67, presenta una distribución según el diagrama de Wilcox en el área C2-S1 de media salinidad y baja concentración de sodio.
- Copacabanita COP1, presenta una clasificación Ca-Na-SO₄ y un valor de pH de 6,87, presenta una distribución según el diagrama de Wilcox en el área C3-S1 de alta salinidad y baja concentración de sodio.
- Huancane HUAP1, presenta una clasificación Na-Ca-HCO₃-Cl y un valor de pH de 7,13, presenta una distribución según el diagrama de Wilcox en el área C3-S1 de alta salinidad y baja concentración de sodio.
- Irukasa IRP1, presenta una clasificación Na-Cl-HCO₃ y un valor de pH de 7,41, presenta una distribución según el diagrama de Wilcox en el área C4-S1 de muy alta salinidad y baja concentración de sodio.
- Kesu Kesuni KESP2, presenta una clasificación Na-Ca-Cl y un valor de pH de 7,49, presenta una distribución según el diagrama de Wilcox en el área C3-S2 de alta salinidad y media concentración de sodio.

- Kulliri KUP1, presenta una clasificación Na-HCO₃-SO₄ y un valor de pH de 7,91, presenta una distribución según el diagrama de Wilcox en el área C3-S2 de alta salinidad y media concentración de sodio.
- Llapallapani LLAP1, presenta una clasificación Na-Ca-SO₄-HCO₃ y un valor de pH de 7,24, presenta una distribución según el diagrama de Wilcox en el área C1-S1 de baja salinidad y baja concentración de sodio.
- Orinoca ORV1, presenta una clasificación Na-Ca-HCO₃ y un valor de pH de 6,68, presenta una distribución según el diagrama de Wilcox en el área C2-S1 de media salinidad y baja concentración de sodio.
- Paria PAP1, presenta una clasificación Na-HCO₃-SO₄ y un valor de pH de 7,26, presenta una distribución según el diagrama de Wilcox en el área C3-S2 de alta salinidad y media concentración de sodio.
- Paria PASB1, presenta una clasificación Na- Ca-HCO₃ y un valor de pH de 7,68, presenta una distribución según el diagrama de Wilcox en el área C3-S1 de alta salinidad y baja concentración de sodio.
- Pazña PAZP2, presenta una clasificación Ca-Na-SO₄-HCO₃ y un valor de pH de 7,11, presenta una distribución según el diagrama de Wilcox en el área C3-S1 de alta salinidad y baja concentración de sodio.
- Puñaca PUNP1, presenta una clasificación Na-Cl-HCO₃ y un valor de pH de 7,47, presenta una distribución según el diagrama de Wilcox en el área C3-S2 de alta salinidad y media concentración de sodio.
- Quellea QUEP1, presenta una clasificación Na-Ca-Cl-HCO₃ y un valor de pH de 7,43, presenta una distribución según el diagrama de Wilcox en el área C3-S2 de alta salinidad y media concentración de sodio.
- Quillacas QUP2, presenta una clasificación Na-Cl-NO₃ y un valor de pH de 6,66, presenta una distribución según el diagrama de Wilcox en el área C3-S2 de alta salinidad y media concentración de sodio, la presencia de NO₃ indica un potencial oxidante con actividad bacteriana para transformar todas las especies de nitrógeno en nitrato o presencia de fertilizantes.
- Quillacas QUP3, presenta una clasificación Na-Cl-SO₄-HCO₃ y un valor de pH de 6,63, presenta una distribución según el diagrama de Wilcox en el área C2-S1 de media salinidad y baja concentración de sodio.
- Realenga REP1, presenta una clasificación Na-Ca-Mg-SO₄-HCO₃ y un valor de pH de 6,94, presenta una distribución según el diagrama de Wilcox en el área C3-S1 de alta salinidad y baja concentración de sodio.
- Siquiri SIP2, presenta una clasificación Na-Ca-Mg-SO₄-HCO₃ y un valor de pH de 7,01, presenta una distribución según el diagrama de Wilcox en el área C2-S1 de media salinidad y baja concentración de sodio.
- Soracachi SOP3, presenta una clasificación Mg-Ca-HCO₃-SO₄, presenta una distribución según el diagrama de Wilcox en el área C3-S1 de alta salinidad y baja concentración de sodio.
- Tolapampa TOLAP1, presenta una clasificación Ca-Mg-Na-CO₃ y un valor de pH de 8,51, presenta una distribución según el diagrama de Wilcox en el área C2-S1 de media salinidad y baja concentración de sodio.
- Toledo TOP1, presenta una clasificación Na-Ca-Cl-HCO₃ y un valor de pH de 7,55, presenta una distribución según el diagrama de Wilcox en el área C3-S1 de alta salinidad y baja concentración de sodio.
- Toledo TOP2, presenta una clasificación Na-Ca-Cl y un valor de pH de 7,29; presenta una distribución según el diagrama de Wilcox en el área C4-S3 de muy alta salinidad y alta concentración de sodio.
- Totoral TOTP3, presenta una clasificación Na-Cl-HCO₃-SO₄ y un valor de pH de 6,74; presenta una distribución según el diagrama de Wilcox en el área C4-S3 de muy alta salinidad y alta concentración de sodio.

3.6 Conclusiones

Aguas superficiales naturales (ríos)

En base al Diagnostico Hidroquímico de la Red de trabajo de ASDI-SAREC, podemos sintetizar la información de los cuerpos de agua y sus elementos contaminantes (concentración por encima de los límites permisibles) en la siguiente tabla:

Nº	Cuerpo de agua	Elementos clásicos	Metales pesados
1	Río San Juan de Sora Sora	Calcio-Sulfato	Cadmio-Plomo-Arsénico-Hierro-Zinc
2	Río Poopó	Sodio-Sulfato	Cadmio-Plomo-Arsénico
3	Río Pazña	Sodio-Sulfato	Cadmio-Arsénico-Zinc
4	Río Huancane	-----	-----
5	Río Juchusuma	Sodio	Cadmio-Plomo-Arsénico
6	Río Tacagua	Sodio	Cadmio-Plomo-Arsénico
7	Vertiente Huari (río Huaya Pajchi)	-----	-----
8	Lago Poopó	Sodio-Calcio-Magnesio-Sulfato-Cloruro	Cadmio-Plomo-Arsénico
9	Río Cortadera	Sodio	Cadmio-Plomo-Arsénico
10	Río Sevaruyo	-----	-----
11	Río Márquez	-----	Cadmio-Plomo
12	Río Lacajahuirá	Sodio-Magnesio-Sulfato-Cloruro	Plomo-Arsénico
13	Río Caquiza	Sodio-Cloruro	Cadmio-Plomo (época seca)
14	Chuquiña	Sodio-Cloruro	Plomo-Arsénico
15	Puente Toledo	Sodio-Cloruro	Plomo-Arsénico
16	Río Caracilla	Sodio-Cloruro	Plomo-Arsénico
17	Puente Español	Sodio-Cloruro	Plomo-Arsénico
19	Lago Uru-Uru (norte)	Cloruro	Plomo (época lluvia)-Arsénico

Aguas superficiales con impacto minero: (casos de estudio)

A partir de los muestreos de los meses de Junio y Septiembre 2007, podemos concluir que los diagramas de Stiff de la cabecera de la cuenca (río Chapana) es muy característico de curso de agua con muy poca influencia antropogénica; por otro lado, los diagramas de Stiff de Dique Bolívar, Totoral, Avicaya, y puente de Pazña, tiene un concentraciones muy parecidas que no cambian a medida que se acerca el punto de integración que es la salida de la subcuenca; en cambio la microcuenca de Urmiri tiene otro tipo de diagrama de Stiff, por lo que podemos decir que la dilución no influye fuertemente las concentraciones de los elementos y sustancias presentes en el agua ácida que provienen de la parte con actividad minera de diferente intensidad.

Lo que queda pendiente es el análisis de ciclo del agua en el proceso de mina, debido a que no se pudo a la falta de permisos para el ingreso a interior de las empresas mineras.

Aguas Subsuperficiales: (pozos)

En toda la cuenca se tiene una distribución que será más adelante integrable para realizar la modelización y como se había planeado se realizó un muestreo cada 3 meses (Septiembre y Diciembre 2007) en estos muestreos se identificó los pozos con altas concentraciones de arsénico (Toledo, Condo K, Quillacas, Kulliri, Tolaloma, Andamarca, Avaroa, Caraynacha, Llapallapani, Pazña y Totoral) en rangos desde 250-20 µg/L, además se debe correlacionar la presencia de arsénico con bicarbonato y otras pruebas las cuales se realizarán en el transcurso del año 2008; también se ha determinado la presencia de otros metales pesados (cadmio, zinc, cobre y plomo), en todos los casos se tiene que hacer una verificación en diferentes épocas para poder determinar el origen y vías de ingreso a las fuentes de agua.

El 85% de los pozos presentan de mediana a alta salinidad y 75% presentan concentraciones bajas de sodio.

Aguas Subterráneas: (acuiferos)

Son muy pocos los pozos profundos en la cuenca entre los que podemos indicar, los pozos de Llapallapani y el Challapata, se realizó una clasificación según el diagrama de Wilcox en ambos casos y el pozo de Llapallapani es el único que presenta baja salinidad y baja concentración de sodio en ambas épocas y el Challapata muestra media salinidad y baja concentración de sodio; en relación a arsénico, cadmio, zinc, cobre, estas estaciones de muestreo muestran bajas concentraciones cerca del límite de cuantificación.

Suelos:

Como se había indicado en el programa de muestreo, el trabajo de campo se realizó una sola vez por las propiedades estables de los suelos que no cambian en función del tiempo, se tiene algunos resultados previos que están siendo evaluados para ser reportados posteriormente.

Sedimentos:

En base al Diagnóstico Hidroquímico de la Red de trabajo de ASDI-SAREC podemos concluir que en el lago Uru Uru hay contaminación (encima de los límites permisibles) con arsénico, no hay contaminación con hierro pero sus concentraciones son mayores que en las aguas superficiales. Hay contaminación con plomo, cadmio y arsénico en la región minera, es decir al noreste de la cuenca.

En el lago Poopó, se observan contaminación con arsénico (incluidos sus afluentes). No hay contaminación con hierro.

Hay contaminación con plomo en el lago Poopó y sobre todo en los sedimentos de los afluentes de la región minera (noreste), hay también contaminación con cadmio en los sedimentos del lago Poopó y sus afluentes, además se presenta contaminación con zinc en el río Poopó y en el lago Poopó.

4 IDENTIFICACIÓN DE FUENTES POTENCIALES DE CONTAMINACIÓN

4.1 Áreas Mineras en la Región

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 9.

TABLA 9 : Áreas de captación Minera al sudeste de Oruro

Río	Punto	Área de Subcuenca Km ²	Área de Captación Total km ²
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

4.2 Depósitos de Rocas Industriales del Área

Los minerales y rocas que son considerados de carácter industrial por las características que tienen para ser usados son los minerales no metálicos, la aplicación de estos es bastante amplio, en el país se produjo un incremento considerable de su producción ante la sostenida demanda de estos.

De acuerdo al análisis y características de los materiales se los clasifico en tres grupos:

- **Minerales Industriales:** Con alto valor económico, de baja producción y tratamiento complejo (andalucita, baritina, grafito, cuarzo transparente, etc)
- **Rocas Industriales:** Con valor económico medio, y considerables volúmenes de producción, con procesos de tratamiento regularmente complejos, (caolines, diatomitas, fosfatos, calizas marmóreas, albastró, cuarzo blanco masivo, etc.)
- **Materiales de construcción:** Con valor económico muy bajo, y grandes volúmenes de producción, por lo general requieren tratamiento simple (arenas, gravas, materiales para la fabricación de ladrillos, cemento, etc.)

Dentro el área que abarca la cuenca del Lago Poopó , los principales depósitos corresponden a:

- **Baritina:** Este se encuentra en el área del cerro Jachuma, aproximadamente a 95 km por camino al este de la ciudad de Oruro, pasa por la localidad minera de Bolívar y continua hacia Sacaca, la baritina se presenta dentro le zona de falla en forma de dos vetas principales, con un espesor de 3 a 8 m en una extensión de 300 m, acompañando a la baritina se encuentra la siderita (10-30%) con pigmentación pardo amarillenta, má frecuente en los sectores donde la veta se muestra brechosa. Su explotación esta a cargo de pequeños productores, con tecnología rudimentaria la producción de esta es entregada

casi en su totalidad a BAROID (Oruro), la que se encarga de su tratamiento y comercialización

- **Arenas silíceas:** Existe en la proximidades de Challapata, camino a Huari, a 10 km hacia el sur, el depósito es de origen eólico forma una duna elongada, en dirección N-S con una longitud de aprox. 2500 m un ancho de 700 m y una altura media de 2 m, el volumen aproximado es de 3.5 millones de m³, son arenas de grano fino coloración blanquecina-amarillenta, el análisis muestra un 76% de SiO₂, este material se puede utilizar en la industria del vidrio y/o refractarios.
- **Basaltos:** Se encuentra a 95 Km al este de Oruro, afloran en cuerpos de roca ígneas básicas, se accede siguiendo el camino que pasa por la localidad de Bolívar. El material puede ser usado en aspectos ornamentales.
- **Calizas:** Los principales depósitos se encuentran en el sector de Challapata, en la estancia de Cativi Kollo, a 40 Km camino a Potosí, la caliza posee un alto contenido de CaCO₃ (94-97%), también existen depósitos de piedra caliza a lo largo de la carretera que une la ciudad de Oruro con las localidades Pazña y Challapata, es de menor calidad y la producción de esta es básicamente para la fábrica de cemento EMISA ubicado en la Ciudad de Oruro.
- **Cuarzo:** La existencia de este material esta definida en los sectores de: Machacamarca, Pazña-Poopó, Antequera Norte. El acceso es bastante fácil por el camino Oruro-Potosí, las vetas tienen una dirección general NW-SE, se trata de cuarzo masivo y lechoso, con cristales idiomorfos y translucidos, las potencias varían entre 2 y 15, como también sus longitudes hasta de 600 m, este material es de escaso uso en el país, ocasionalmente en refractarios, eventualmente también puede ser usado en abrasivos y esmaltes en la industria cerámica.
- **Arcillas cuaternarias:** Estos depósitos se encuentran en Poopó y Challapata, dos tienen importancia, el depósito de lago Tacagua que es de deposición horizontal, de un color gris blanquecino, con algunas intercalaciones finas de horizontes amarillentos y rojos pigmentados por óxidos de hierro, el banco arcilloso es de 12 m de espesor forma parte de una pequeña cuenca, el depósito es de origen lacustre. El depósito de Poopó, está a 50 Km de Oruro, de dirección Norte-Sud, se encuentra sobre un substrato gris blanquecino de lutitas silíceas que son de un plegamiento intenso. Responden a una parcial caolinización, la acumulación de sedimentos arcillosos con espesores de 2 a 3 m intercalados con sedimentos limo arenosos.
Los valores relativamente altos de K₂O se pueden deber a un alto contenido de feldespato potásico, como los valores de alúmina sugieren en general una refractariedad algo elevada en materias primas utilizadas en cerámica roja, se puede anticipar que el material es apto para la fabricación de cerámica estructural (tejas, ladrillos tubos de drenaje etc.). El potencial estimado es de 3 millones de m³.
- **Grava y arena:** Existen acumulaciones que corresponden a los principales ríos del área, son de fácil acceso siguiendo diferentes caminos locales, las acumulaciones más importantes se encuentran cerca de Machacamarca, en las cercanías de Challapata y Pazña,
- **Calizas cuaternarias:** Son bastante extendidos, de norte a sur originados por la acumulación de material orgánico (algas, esponjas, corales, etc.) y precipitación de CaCO₃ en aguas poco profundas del antiguo lago Minchin. Las calizas son de color blanquecina a marrón amarillento. De acuerdo a estudios realizados (Cadima & Vargas 1971) se establece que estas afloran hacia el sur entre Pazña y Challapata, los sedimentos llegan a una potencia de 2 m, depositados de manera horizontal, sin embargo toma la morfología del substrato. En la zona de Pazña, las rocas calcáreas afloran en unos 15 km de largo y un ancho medio de 50m con un espesor de hasta 10 m. Por lo general estos depósitos son homogéneos en cuanto a su composición 87 % de CaCO₃, el potencial estimado alcanza a 6 millones de toneladas, las comunidades locales explotan este recurso natural en forma intermitente, todo esto para la producción de cal destinado a la construcción, se puede apreciar la existencia de varios hornos a lo largo de los afloramientos.

4.3 Yacimientos Metálicos del Área

El sector tiene una importancia capital excepcional, al encontrarse en la zona en cuestión ricos yacimientos de vertiformes de estaño, así como vetas poli metálicas de Zn-Ag-Pb-Sn-Au-Sb, de mineralización compleja, y económicamente explotable. La variedad es amplia, sulfosales, sulfoestannatos argentíferos, (cilindrita, franqueita, teallita) y de fosfatos (vivianita, bauxita, wavelita, etc.) Los yacimientos del área continúan siendo explotados, por empresas y cooperativas mineras, donde los principales minerales trabajados son los complejos de zinc, plata, plomo, y estaño.

Los depósitos metalíferos, se encuentran dentro el cinturón estannífero de más de 800 km de longitud desde el SE del Perú hasta el NW de Argentina. El sector en cuestión corresponde al tramo medio, caracterizado por un magmatismo intrusivo, la mineralización es de la edad miocena inferior, en la que se emplazaron pequeños stoks y domos pórfidos cuarcíferos por lo general dácíticos, a los cuales se asocian depósitos vetiformes de casiterita, sulfuros, y sulfosales complejas de Sn, Ag, y metales base.

La edad de los yacimientos de estibina-oro-ferberita de la región puede posiblemente correlacionarse con el evento metalogénico mayor del mioceno inferior, en vistas de ciertas zonaciones distritales: Poopó, Candelaria Huanuni etc.

Se han diferenciado seis tipos de depósitos metalíferos:

- Depósitos vertiformes y diseminados polimetálicos de tipo boliviano
- Depósitos vertiformes asociados a plutones
- Depósitos vertiformes asociados a series sedimentarias
- Depósitos vertiformes y diseminados epitermales
- Depósitos estratoligados diseminados
- Placeres aluviales

Las vetas polimetálicas estan identificadas en la faja Coriviri, alojando números depósitos en el sector de Coriviri, Avicaya, Totoral, Poopó, Candelaria.

En la formación lutítica, se encuentran las vetas de Monserrat, Bolivar, y Maria Teresa. Los yacimientos polimetálicos muestran un vinculo estrecho con pequeños cuerpos (1-2 km² porfídicos en forma de embudo de composición cuarzo-lutítica a dácítica y edad miocena, a menudo controlada por charnelas de pliegues así como por fallas longitudinales y subordinadamente transversales, frecuentemente circundados por diques de pórfidos cuarcíferos.

Las direcciones predominantes de plegamiento son NNW-SSE hacia el norte, y N-S hacia el sur, destaca la sucesión de sinclinales como el de Avicaya, la deformación responsable del plegamiento genero cabalgamientos y fallas inversas longitudinales, una de ellas es la falla Poopó-Uyuni, tiene una zona milotinizada de hasta 60 m de espesor inclinada 45° a 65° hacia el este, a lo largo de la cual el bloque cabalga los terrenos devónicos del margen altiplánico.

Esta zona resulta ser un importante metalotecto de varios tipos de yacimiento vertiforme, cuyas estructuras mineralizadas aprovechan fallas secundarias desarrolladas al techo de la falla principal; minas Coriviri, Poopó, Trinacria, Candelaria.

Otras fallas por el sector tienen orientación NE-SW y N-S, son por lo general de cizallas y eventualmente fallas normales, las cuales controlan también vetas polimetálicas, como son los que existen en Avicaya-Bolívar y Montserrat.

La mineralización se encuentra hospedada dentro un sistema vitiforme de dimensiones variables de a veces de 20 km de longitud por 3 km de ancho, distrito de Coriviri-Poopo-Candelaria y 9 km por 2.5 km en el distrito de Avicaya-Bolívar y Montserrat.

Individualmente las vetas alcanzan longitudes de más de 12 km (veta Poopó) y verticales hasta 500 m (Bolívar y Avicaya); las potencias rara vez sobrepasan los 2.5 m (Poopó-Bolívar). Los rumbos preferenciales son transversales (NE-SW a NNE-SSW), y los buzamientos suelen oscilar de 50° a 70° SE, aunque se observan inclinaciones al NW. A veces las vetas se presentan en forma de rosario o ramificada, también son comunes las vetas inter estratificadas (Coriviri, Poopó-Candelaria, Totoral). Se presentan stockworks en ciertas zonas mayormente cuarcílicas de los yacimientos de Coriviri, Porvenir, Totoral.

Las vetas por lo general son cristalizadas, bandeada, localmente brechoso, con clastos de blenda, pirita, y cuarzo, cementado por sulfosales de polimetálicas. Localmente se presenta zonificada alrededor de los cuerpos ígneos con Sn, W y Bi.

Los contenidos metálicos varían según la especie; wolframita, turmalina, bismutina, casiterita, pirrotina, arseno pirita, marmatita, galena argentífera, wurtzita, y una gran variedad de sulfuro estannatos y sulfuro antimonio, raos de metales base; franckeita, cilindrita, teallita, boulangerita, jamesonita, zinkenita, etc. Es común tener como ganga el cuarzo y la siderita.

El contenido de elementos metálicos es bastante variable, con 500 g/t de Ag registrado en el sector de Poopó como máximo, hasta un 4 % de Sn en el sector de Cóndor Iquiña y Avicaya, y de 10 % a 20 % de zinc en Bolívar, Monserrat, Poopó, contenidos erráticos para el oro hasta 5 g/t en el sector de Poopó.

El tipo de mineralización polimetálica es, asociada a varios tipos de alteración hidrotermal irregularmente distribuidos, en relación, a las rocas ígneas; principalmente alteración filica sericita+pirita+cuarzo, silificación, eventualmente turmalización en el núcleo intrusivo.

Estudios efectuados por Sugaki 1988, se establece que los rangos de térmicos de formación entre 400° C y 200° C, con salinidades de más de 35 % hasta 20 % en peso de NaCl equivalente, la zona de oxidación llega a 200 m de profundidad.

En resumen, los sectores metalogénicos tiene la siguiente distribución:

- El sector del estaño tiene a los distritos de Japo-Pucro, Japo-Morococala, y Huanuni
- El sector polimetálico occidental (Ag-Sn-Zn-Pb) incluye los distritos de Coriviri, Poopó, Candelaria y Bolívar-Avicaya.
- Antimonio-Oro con los distritos de Antofagasta-Khori Mina, y San Bernardino (Challapata)
- Depósitos hospedados en domos dentro los distritos La Joya y Oruro, ubicados en los cerros los que se levantan de la cubierta cuaternaria al sudeste del Lago Soledad y hacia el oeste de Oruro.

4.4 Análisis de los Principales Distritos Mineros

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

Mina Huanuni

Es la mina de estaño más importante de Bolivia. Se encuentra a 50 Km al sud este de la ciudad de Oruro, la mina pertenece a la Corporación Minera de Bolivia COMIBOL, esta se encuentra en manos del sector privado bajo la forma de "Joint Venture", en el año 1995 se efectuó una auditoría ambiental, que fue la base para el manejo del nuevo operador Allan Deals compañía Inglesa, la que a la postre tuvo serias dificultades con el manejo del contrato, ya que habría incumplido una serie de compromisos asumidos por lo que actualmente este contrato se encuentra en proceso de resolución.

La historia data del periodo colonial, en el que fue explotado por plata, recién a fines del siglo XIX se inicia los trabajos por estaño, Patiño se hizo propietario del yacimiento en 1930, cuando ocurrió la nacionalización de las minas en 1952 el promedio anual alcanzo a 3000 toneladas de concentrado, sin embargo existió y existe una producción clandestina fruto del robo por personal que no es perteneciente a la operación misma.

El distrito de Huanuni se encuentra dentro el cinturón de estaño Japo-Pucro de la Cordillera Oriental, el área comprende las siguientes formaciones: Diamicitas y grauvacas de la formación Cancañiri; Limonitas filíticas de la formación Huanuni; Cuarcitas y pizarras de la formación Llallagua; y Lutitas y pizarras de la formación Uncia

La estructura tectónica más notable del distrito es el anticlinal asimétrico de Pozoconi esta estructura es de edad andina, en el distrito tiene un rumbo aproximado de N 30° W, transectado por varias fallas y diaclasas multidireccionales, las fallas están asociadas a brechiación de hasta 30 m de espesor.

El depósito de Huanuni está clasificado como sub volcánico, cripto intrusivo (depósito Boliviano polimetálico tipo filoniano y diseminado GEOBOL, 1995). Tiene más de 50 vetas, los que forman un stockwork del mioceno inferior, el cual toma un área de 2000 por 1800 metros tomando como centro la montaña de Pozoconi. Muchas de las vetas no afloran a la superficie, las vetas mineralizadas son estrechas, irregulares entre 50 y 30 metros horizontal y verticalmente, han sido trabajadas 50 vetas principales con más de 250 ramos, las principales vetas tiene los nombres de: Keller, Nothaf, Crucera Keller, Prometedora, Grande, Central, y Challani.

La mineralización muestra profunda zonación, al centro el estaño es de alta ley (mina Huanuni), pasando a una zona de W-Sb (Quimsa Coya), y a una zona polimetálica Ag, Zn, Pb, Sn al margen (Minas; María Francisca, Porvenir, Pepitos), la mineralización además consta de pirita, marcasita, arseno pirita, esfalerita, calcopirita, estannina, pirrotina, bismutina, bismuto nativo, ferberita, galena, perchblenda.

En proceso de flotación se identifica elevada presencia de minerales de mercurio, en las colas, lo que significa que la presencia de este mineral es significativo y que aun no ha sido cuantificado. La ganga es el cuarzo, cristalino, turmalina, siderita, vivianita, caolinita, apatita, fluorita, y otros. Las reservas probadas alcanzan a 1.7 millones de toneladas, para una ley de estaño mayor o igual a 3 %

Las reservas actuales podrían alcanzar para 10 años al ritmo actual de producción, la mineralización de acuerdo a sondeos a demostrado persistencia vertical hasta una distancia de 700 m, las estadísticas demuestran que la producción por metro de profundidad alcanza a 800 t de estaño, por lo cual este dato incrementaría notablemente las reservas actuales, prolongando la vida del yacimiento.

Mina Bolivar y distrito Avicaya-Bolivar

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, en 1935 el yacimiento paso a manos de Hochschild hasta su transferencia a a COMIBOL. En 1977 comenzó un intenso programa de exploración, en 1993 se firma contrato de Joint venture 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-Bolivar están sobre una potente secuencia marina areno pelítica, que incluye cuarcitas y pezarras 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 (kriz 1980), al rededor del stock se extiende una areola de metamorfismo de contacto con hornfels turmalinicos 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 mas de 1000 m de longitud, a profundidad estas vetas tienden a unirse, los desarrollos en el año 2002 demostraron ese sentido, cerca de los 280 m de profundidad ambas vetas estaban separadas por solo 50 m se estima que en el nivel -300 ambas se convertirán en una sola. El espesor de la veta Nane varia entre 1 y 4 m, en cambio la veta Pomabanba varia entre 2 y 10 m

Dentro el distrito, la mineralización muestra una marcada zonación metalogénica, cerca del centro ígneo (depósitos de Avicaya y Totoral) la mineralización predominante es el estaño, 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 Bolivar son; galena argentifera, jamesonita, bulangerita, calcopirita, esfalerita, estannina, frankeita, pirargirita, tetraedrita, arsenopirita, wurtzita, pirrotina, y argentita, la ganga es pirita, 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 periferie.

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 Compañía Minera del Sur tiene el proyecto de continuar la profundización de las operaciones, las que actualmente se encuentran en el nivel -280.

Distritos de cooperativas

El sistema Cooperativo Minero representa un importante sector en la producción de minerales como ser: el estaño, zinc, plomo, plata, oro y otros en menor proporción como la piedra caliza, abono vegetal, piedra pizarra, cobre, bismuto, etc.

Las Cooperativas Mineras productoras de estaño se encuentran principalmente en el sector de Huanuni, estas son Karazapato, Libres, Playa Verde, y La Salvadora, estos trabajan en los relaves, colas, desmontes y en interior mina en los niveles superiores del yacimiento del cerro Pozokoni. También se encuentran en la subcuenca de Santa Fe, así la Cooperativa “El Porvenir” de Japo trabaja en los desmontes de manera manual, también en interior mina explotando, los puentes y taqueos dejados por COMIBOL, la Cooperativa Santa fe y Morococala explotan minerales complejos de zinc, plata, plomo.

En la subcuenca Poopó la Cooperativa del mismo nombre trabaja en minerales complejos, como también la Cooperativa “El Carmen” ubicado más al norte de la localidad de Poopó.

Las cooperativas directamente involucradas en el área de estudio son:

Sector Huanuni

Existe una Federación regional de Cooperativas Mineras que agrupa a 4 grandes Cooperativas: “Karazapato” con más de 700 socios, “Libres” con más de 600 socios, “Salvadora Huanuni” con 600 socios, “Playa Verde” con 450 socios, estas se encuentran asentadas en la subcuenca Huanuni, realizando trabajos con las cargas expulsadas por el ingenio de la Compañía Minera Allied Deals, además de labores de explotación en los niveles superiores del principal yacimiento minero de Huanuni.

Sector Poopo

Esta subcuenca abarca a las Cooperativas: “Poopó” con 150 socios, los cuales producen minerales complejos de zinc, plata, plomo, parte de estos minerales producidos son tratados en su propio ingenio ubicado en el sector de Alantaña cerca del camino carretero que va hacia Potosí, y otra parte de la producción es comercializada a la Empresa Minera Bolívar (Comsur). Se debe destacar que la Cooperativa Minera Poopó suscribió un contrato de riesgo compartido por 25 años con la COMPAÑÍA MINERA DEL SUR para la explotación del yacimiento Poopó a partir de la cota cero hacia abajo, quedando solo las partes superiores en poder de los Cooperativistas. COMSUR efectúa labores de exploración por más de dos años, ya se efectuó la perforación de cuatro taladros de diamantina y labores de mapeo, muestreo tanto en interior mina como en superficie, se tiene planificado efectuar otras perforaciones adicionales de diamantina, a la fecha se viene procesando toda la información obtenida. Se espera que las operaciones reales de explotación arranquen a comienzos del próximo año, con una producción inicial de 600 t/d.

En el sector de Candelaria se encuentra la Cooperativa de “El Carmen” con 30 socios, ellos trabajan también en las concesiones que tiene COMIBOL en el sector del cerro Tancoollo a 12 km al norte de la población de Poopó. Existen otras Cooperativas más pequeñas como son la Cooperativa “Machacamarca” con 14 socios, esta se encuentra en la misma localidad de Machacamarca.

4.5 Impactos Ambientales de la Minería Cooperativizada

Los impactos ambientales que genera la minería cooperativizada, varían de acuerdo a los métodos de explotación que utilizan en sus actividades productivas, estos pueden ser de interior mina o en superficie.

Operaciones en interior mina

Para todos los trabajos que se efectúan dentro interior mina el método de explotación que se efectúa es el de “circado de veta”, este consiste primero en retirar la caja o ganga, luego extraer solo el mineral, en muchos de los casos cuando el ancho de veta está por encima de los 30 cm se extrae directamente la

veta o “guía mina”, la explotación se efectúa a partir de una galería principal, suspendiendo paulatinamente el techo con perforaciones efectuadas por máquinas tipo stoper, normalmente los taladros son de 0.60 m de largo, para luego efectuar la voladura, la carga arrancada es retirada a través de buzones, a medida que se va suspendiendo el techo mineralizado, se van colocando trancas de callapos de 4”, sobre los cuales se ubican tablonces largos de 2” de espesor los que sirven de plataforma para una nueva perforación y voladura normalmente se utiliza 0.5 kg de ANFO (mezcla de Fuel Oil 5% y nitrato de amonio 95%) con ½ pza de dinamita de 1 1/8” x 4”, con una mecha lenta de seguridad y fulminante N° 10 u 8. Estas labores realizan las Cooperativas que cuentan con la dotación de aire comprimido.

También se efectúa la perforación manual lo que consiste en perforar un taladro por medio de golpes de martillo y cincel hasta una profundidad máxima de 0.40 m, que de acuerdo a la dureza de la roca esta puede durar en roca blanda 4 horas y en roca dura 5 horas.

La voladura se efectúa de manera similar a la descripción anterior. La contaminación generada por este proceso es: Acústica, Atmosférica, y en suelos.

- a. **Acústica:** Por lo general el ruido se considera como un sonido o barullo indeseable, el sonido tiene por lo general dos características principales: frecuencia e intensidad. Sin embargo la influencia directa sobre el trabajador Cooperativista es el ruido, que afecta el sistema auditivo, la exposición prolongada a elevados niveles produce pérdida de audición, esto ocurre cuando se efectúa labores de perforación, y voladura, las perforadoras neumáticas alcanzan hasta 115 db, los procesos de voladura pueden alcanzar si problemas hasta 125 db, cuando el máximo admitido en un lugar de trabajo industrial esta en 85 db, lamentablemente el cooperativista realiza los trabajos sin ninguna protección auditiva, esto por falta de conocimientos.
- b. **Atmosférica:** La generación de gases, se produce en la reacción explosiva, la mayoría de los explosivos son mezclas de compuestos, conteniendo cuatro elementos básicos: carbón, hidrógeno, oxígeno, y nitrógeno, además posee elementos adicionales como sodio, aluminio, calcio los cuales producen algunos efectos especiales. Por regla general las industrias se sujetan al balance de oxígeno en estas reacciones, esto significa la cantidad de oxígeno disponible en la mezcla, para que durante la reacción, todo el hidrógeno forme solo vapor de agua, el carbón reaccionante forme sólo el gas de CO₂ y el nitrógeno forme solo N₂ libre (gas).

Si existe otros elementos a parte de los cuatro básicos tal como sodio pueden formarse sólidos y para esto debe existir una cantidad adicional de oxígeno para combinarse con ellos, cuando existe exceso de oxígeno origina humos altamente venenosos, óxidos nitrosos, los cuales son fácilmente detectables por su fuerte olor y color ladrillo, y por otra parte si hay deficiencia de oxígeno se forma CO, un tóxico. Las labores subterráneas son siempre precarias en oxígeno, ya que las actividades están por encima de los 3500 msnm, normalmente el cooperativista minero luego de efectuar la voladura, se retira del lugar o frente de trabajo retornando después de 12 horas, por lo que normalmente los gases producidos por la explosión tienen el tiempo suficiente para su disipación, además que cuando se cuenta con la dotación de aire comprimido se deja fluir este en el frente de trabajo para eliminar los gases que todavía podrían existir.

Las partículas finas expulsadas por la voladura están confinadas en los niveles interiores de las labores subterráneas, las cuales van depositándose en los frentes de trabajo

- c. **En suelos:** En las operaciones subterráneas la contaminación se produce por la generación de aguas ácidas llamadas copajiras. La oxidación de sulfuros representa uno de los mayores impactos ambientales asociados a la minería subterránea que determinan su composición y variaciones estacionales. período el pH oscila entre 2.1 y 8.0, y el potencial redox entre 150 y 750 mV. En función del grado de influencia de la oxidación de sulfuros y el grado de neutralización alcanzado.
- d. En el sector de Poopó la contaminación de suelos por efecto de aguas ácidas producto de operaciones subterráneas se produce en los niveles inferiores de la operación. Las secciones de “Falsuri” y “Pampa Rosario” expulsan aguas a superficie con pH aproximado de 2, estas van en forma directa al río Poopó, el caudal vertido es de aprox 2 l/s, en el sector de la bocamina, el cual es incrementado en época de lluvias a 4 l/s.

- e. En las labores de exploración con diamantina que viene efectuando COMSUR en la sección “Pampa Rosario”, se intercepto acuíferos termales los cuales fueron encausados a través de cañerías galvanizadas de 4”, el caudal alcanzado por esta agua es aproximadamente de un pH casi neutro, el cual desemboca en la misma bocamina del sector, para luego seguir a través de canales naturales, pasando por desmontes piritosos, llegando finalmente al río Poopó el cual desemboca en el lago del mismo nombre. Las de peor calidad, extremadamente ácidas, proceden de las áreas más antiguas de la mina, con suelos de mina en los que son abundantes los sedimentos carbonosos ricos en pirita y con muy escaso potencial de neutralización de ácidos. Las menos afectadas por la oxidación de sulfuros y mejor neutralizadas proceden de las áreas de más reciente construcción, en las que se ha aplicado criterios de selección de los estériles, habiéndose dejado en superficie pizarras de carácter alcalino y escaso contenido de azufre. Estos resultados demuestran que la gestión selectiva de los estériles es la práctica de restauración que mejor protección ofrece frente a la contaminación de aguas superficiales y subsuperficiales.
- f. La generación de escombros por trabajos de minería subterránea por parte del Cooperativismo minero es realmente mínimo, ya que la labor selectiva que se efectúa la ganga o caja es dejado como relleno en rajos y frentes abandonados en interior mina.

Operaciones en superficie

Las labores en superficie por parte del Cooperativismo minero están identificados en operaciones minero metalúrgicas, el mineral es transportado a plantas de procesamiento manual y mecanizado, la contaminación producida por este proceso es en trabajos de:

a. Concentración: Estas actúan directamente en la contaminación hídrica en las sub cuencas en las que se encuentran operando. En la subcuenca de Huanuni, se identifican varios sectores con trabajos de concentración que realizan los Cooperativistas mineros, el río Huanuni tiene tributarios aguas arriba como el río Toco tocón, como los ríos Llojeta, y Venta y Media lo hacen aguas abajo, existiendo pequeños ríos estacionales que contribuyen en épocas lluviosas al río Huanuni. En esta zona las Cooperativas Karazapato, Libres, La Salvadora y Playa Verde generan fuentes de contaminación.

Se identifican los focos iniciales aguas arriba que proceden de las operaciones propias de la mina, aguas contaminadas producidas por el ingenio de Santa Elena, aguas servidas de la población civil, aguas de escorrentía producida por los pasivos ambientales, sean estos desmontes y colas, y las producidas por el proceso de concentración que realizan los Cooperativistas aguas abajo.

Estas últimas labores deterioran la calidad del río Huanuni, el flujo continuo de colas producidas por la Empresa ricas en sulfuros son descargadas en el río, los cuales son procesados por los Cooperativistas, además de que también se procede al retiro de cargas del depósito “El Porvenir” en volquetas por trabajadores Cooperativistas, los cuales son también llevados a las orillas del río para ser también concentrados. Existe un alto contenido de sulfatos por el uso indiscriminado de ácido sulfúrico en labores de concentración rudimentaria. La generación de drenaje ácido de roca, DAR, es masiva por el tamaño fino de los materiales residuales, y la presencia de piritas.

El llamado “quemado” es el proceso de concentración con el uso de Xantato Z-6 o Z-11, Kerosene, y ácido sulfúrico, estos elementos son empleados en distintas cantidades y de manera totalmente empírica, se inicia con una concentración gravimétrica, luego los residuos son almacenados en pequeños diques que contienen elementos metálicos, con pH de aproximadamente 3.5 a 3.6, luego se realiza el proceso de flotación separando los elementos ricos en estaño de sus impurezas. El río Huanuni se encuentra muy contaminado por estas operaciones mineras.

En la Subcuenca del Poopó se encuentra el río del mismo nombre cuyos caudales en época lluviosa alcanzan 30 l/s, parte de esta agua son utilizados por el ingenio de complejos de la Cooperativa.

Las labores en los niveles inferiores son los que producen agua de mina, la sección Falsuri que es la que se encuentra en el nivel más bajo expulsa un caudal de agua con aproximadamente 10 l/s con un pH entre 4 y 5, este caudal es producido por la acción de bombas eléctricas que están instaladas en niveles por debajo de la cota del río Poopó, estas aguas salen a través de una tubería hasta la bocamina de donde es vertido a un canal de drenaje el cual desemboca en el río Poopó.

El distrito de Poopó también es conocido como un centro de aguas termales ricas en minerales, estas se encuentran colindantes por la parte norte con las operaciones mineras, la producción de aguas

termales es de aproximadamente 20 l/s ligeramente alcalina ya que tiene un pH de aproximadamente 7, el caudal se vio incrementado por que en las labores de exploración a diamantina que viene efectuando COMSUR ya que uno de los taladros intercepto venas acuíferas termales.

La operación que realiza el ingenio minero ubicado en el sector de Alantaña es un proceso de flotación, para ello utiliza distintos reactivos como: cal, Cianuro de sodio, Sulfato de zinc, Areofloat 1012, Sulfato de cobre, Xantatos Z-11 y Z-6, lubricantes y otros. Las colas producidas por esta operación son depositados en el lado norte en una planicie contigua al ingenio minero. La recuperación en el ingenio se encuentra en aproximadamente 70% para minerales de zinc y del 45 % para minerales de plata. La capacidad de tratamiento de este ingenio es de 40 t/d.

Se debe también señalar que existe otro ingenio perteneciente a la Empresa Minera Celeste ubicado a la entrada de la población, realiza labores de flotación, procesa minerales complejos de los yacimientos alquilados de COMIBOL como es San Francisco, una mina ubicada a 3 Km al sud de la población de Poopó, y también de la mina perteneciente a Ferrari esta se encuentra en el extremo superior norte de la falla Poopó.

Entre ambas minas producen un total 200 t/d de minerales complejos, los cuales son trasladados por volquetes hasta una planicie contigua al ingenio, desde el cual es llevado al circuito de tratamiento que tiene la planta.

La capacidad nominal del ingenio es de 400 t/d sin embargo esta opera entre un 50 y 60 %, utiliza los mismos reactivos señalados anteriormente. Las colas producidas por la operación son almacenadas una parte en un dique de colas ubicado en la parte inferior de la planta, y otra parte vertidas a un canal de drenaje que transporta los residuos hacia el sector de Choro.

Depositos de residuos mineros

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 de las características mineralógicas del material, así por ejemplo si este es sulfuroso este 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 ser: agua, aire, procesos de transporte, propiedades físico químicas del material todos estos procesos ínter actúan y establecen lo que se denomina “potencial de generación del ácido” del la roca o residuo.

Colas

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 varia mucho lo que dificulta una adecuada clasificación

TABLA 10 : Inventario de desechos que causan impacto

Tipos de residuo	Área cubierta con residuo (ha)	Toneladas	Principales receptores del impacto
Área Oruro			
Colas	69	2757000	Área municipal de Oruro
Desmontes	19	1883000	Lago Uru Uru
Sub cuenca río Santa Fe			
Colas	3	757000	Río Santa Fe, San Juan
Desmontes	19	2558000	Río Sora Sora, lago Poopó
Colas en lecho de ríos	150	3000	

Río Huanuni y Sub cuenca Sora Sora			
Colas	41	3180000	Río Huanuni, San Juan
Desmontes	5	657000	Río Sora Sora, lago Poopó
Colas en lecho de ríos	2650	48000	
Río Desaguadero (de Caravi a Lago Poopó)			
Colas en lecho de río	1780	32000	Lago Poopó
Sub cuenca río Poopó			
Colas	56	934000	
Desmontes	4	401000	
Sub cuenca río Antequera			
Colas	36	940000	Río Antequera, lago Poopó
Desmontes	15	3138000	
Colas en lecho de ríos	950	17000	
Cotaje			
Residuos lixiviación-pilas	1	13000	
Total	5798	17318000	

Desmontes

Se conoce por Desmonte el depósito de materiales de desechos mineros o rocas estériles, los cuales de acuerdo a sus propiedades físico químicas causan impacto ambiental, en el informe titulado “Resumen General de Reservas de Mineral de las Empresas Mineras de COMIBOL” de 1.993, en el tema relativo a desmontes se establece que existe un total de 31’353.403 millones de toneladas con valores de 0.30 % de estaño. Los que corresponden área de estudio alcanzan a 8’637.000 toneladas, la clasificación es más dificultosa con relación a las colas, ya estas dependen de su evaluación.

4.6 Impacto Ambiental por Fuentes Urbanas

La población urbana en el Departamento, con 236.110 habitantes, representa el 60.25% de la población del departamento, gran parte e ella se concentra en el área de estudio, como se puede observar en la TABLA 11 , que además presenta la cobertura de servicios y las principales poblaciones.

De la TABLA 11 se establece que de los 13 municipios considerados, solo dos presentan un cobertura de alcantarillado, es decir de recolección de aguas servidas de carácter urbano, el resto carece de estos servicios; la cobertura en agua potable es mucho mas significativa. Considerando esta situación solo la ciudad capital presenta condiciones de cobertura de importancia en la región. En la TABLA no se incluya a la población de Huanuni, que es el único centro de mayor población, después de la ciudad capital, que tiene un población relevante y que además dispone de servicios de lantarillado, pero no un sistema de tratamiento de aguas residuales.

Para realizar la evaluación, se considera principalmente la ciudad de Oruro y se analizan dos casos de poblaciones significativamente diferentes, las poblaciones de Huanuni, como centro de interés que además cubre un centro minero importante, y la población de Huari, que dispone de alcantarillado y una laguna de tratamiento de sus aguas residuales.

TABLA 11 : Cobertura de servicios y población urbana de los municipios de la cuenca del Lago Poopo

Municipios	Cobertura de servicios (%)			Localidad con mayor población	Población (Hab.)
	Agua	Alcantarillado	Sanitaria		
Capital	88.44	27.12	34.82	Ciudad de Oruro	201793
Caracollo	35.63	0.53	12.26	Caracollo	5132
El Choro	3.41	0.00	0.66	Choro	450
Challapata	37.64	1.61	6.55	Challapata	7774
Santuario de Quillacas	46.76	0.00	1.46	Sevaruyo	1056
Poopó	44.21	2.09	11.76	Villa Poopó	3092
Pazña	40.26	2.15	9.19	Total	1622
Machacamarca	69.46	11.60	21.60	Machacamarca	2368
Pampa Aullagas	6.95	0.00	9.68	Pampa Aullagas	862
Eucaliptus	72.56	0.62	4.96	Eucaliptus	3342
Santiago de Andamarca	25.38	0.09	1.96	Andamarca	624
Santiago de Huari	41.96	1.43	5.21	Huari	3453
Toledo	10.85	2.00	4.18	Toledo	1055
TOTAL PRINCIPAL POBLACIÓN URBANA					232623

Balance de oxigenos y calidad bacteriologica

Los efectos más notorios sobre la calidad de las corrientes derivados de las descargas de las aguas residuales domésticas son:

- Disminución de contenido de oxígeno disuelto, OD.
- Alta contaminación bacteriológica
- Aumento significativo de la materia orgánica
- Deterioro estético de las corrientes
- Posible eutricación

Respecto de esto se establece que en años excepcionalmente lluviosos existe una conexión entre la laguna cloacal de Oruro y el lago Uru Uru, puesto que este receptor final se encuentra en la zona intermedia entre ambos puntos, la ciudad y el lago. No existe estudios sobre la hidrogeología del área que permita establecer una relación entre ambos cuerpos en forma directa.

Teniendo en cuenta que la DBO, es el mayor componente de la degradación de la calidad del agua ocasionada por la materia orgánica biodegradable, este debe ser un indicador de calidad.

Para el desarrollo del balance de oxígeno, se debe tomar en cuenta, sobre la hipótesis de su contaminación, el sistema hídrico del lago Uru Uru y el río Desaguadero, aplicando un modelo de Balance de Oxígeno, teniendo en cuenta las condiciones de frontera.

4.7 Poblaciones en las Provincias

En el caso de los municipios, como se ha manifestado por la información pertinente, el problema central deriva de la inexistencia, primero de poblaciones considerables, según en la falta de cobertura de servicios, particularmente sobre alcantarillado y sistemas de tratamiento de aguas residuales urbanas. Se carece de información a detalle sobre la situación individual de los municipios y los sistemas de eliminación de aguas residuales existentes, por esta razón resulta difícil realizar una evaluación global sobre la problemática, se puede estimar en razón del análisis efectuado para la ciudad de Oruro, que su problemática debe ser considerablemente menos complicada y por tanto el impacto posible será mínimo.

Para tener una aproximación se analizan dos casos:

- El primero de la localidad de Huanuni, que resulta ser el segundo centro urbano de importancia en la región y que vierte sus aguas residuales del alcantarillado al río Huanuni en que confluye al río San Juan de Sora Sora, en este caso, el alcantarillado con una cobertura de servicio del 95% de la población que para el año 2010, se estima en 18555 habitantes, y una dotación de 60 l/hab. día, se estima un caudal de 846 m³/día, sobre la base del análisis de los parámetros principales, la Tabla 12, muestra que efectivamente existen cargas orgánicas importantes, propias de la calidad del agua residual urbana, pero al mismo tiempo se presenta importante carga química, la cual es incrementada en las actuales condiciones puesto que las aguas de la población se mezclan, en el río Huanuni, con las aguas de las operaciones mineras. La fracción orgánica puede ser relativamente asimilada por el cuerpo de agua y ser degradada, sin embargo la complejidad, como en el caso de la ciudad de Oruro, pero mucho más crítica, se debe a la mezcla con aguas mineras.
- El segundo caso corresponde a la localidad de Huari, con una población de 3453 habitantes, y una proyección de 3829 habitantes para el 2010, con un caudal máximo de 237 l/día, representa una población de diferente naturaleza, es un centro agropecuario y artesanal importante, dispone de un sistema de alcantarillado y una laguna de estabilización, la cual se alimenta con la calidad de aguas residuales urbanas típicas, Tabla 12, la misma que tiene rendimientos del 70% que hacen que las aguas finales de bajo impacto ambiental.

TABLA 12 : Parámetros de evaluación de aguas residuales urbanas para Huanuni y Huari

Parámetros	Unidad	Huanuni	Huari
pH		7.5	7.65
Conductividad	uS/cm		760
Sólidos totales	mg/l	2537	598
Sólidos disueltos	mg/l		364
Sólidos suspendidos	mg/l	276	
Sólidos sedimentables	mg/l	17.5	
DQO	mg/l	354	363
DBO ₅	mg/l	325	583

La situación de estos dos municipios es extrema y las restantes poblaciones importantes se encuentran en estos márgenes, que permiten establecer que la problemática de aguas residuales urbanas en el lago Uru Uru y Poopó no sea significativa.

5 ANÁLISIS DEL MEDIO SOCIO CULTURAL Y SOCIOECONOMICO

5.1 Minería en el Departamento de Oruro

Antes de la revolución de 1952, los medios de producción eran de propiedad de un grupo reducido de empresarios privados. Casi toda la producción era generada por ellos. Posteriormente, la Revolución cambia parcialmente la tenencia de los medios de producción, por lo que la participación en la producción de minerales era compartida entre el Estado y mineros privados. Esta nueva forma de propiedad de los medios de producción, no cambió las características estructurales de la producción minera a nivel departamental y nacional, y tampoco la economía en su conjunto.

Con la implementación de la Nueva Política Económica en 1985, se retorna a una economía de mercado donde imperan la privatización y capitalización de las empresas estatales. No obstante, según los mismos autores, el cambio de modelo económico tampoco tuvo influencia en la estructura

productiva de la economía departamental y nacional. El cambio más importante solamente estuvo ligado a la tenencia de los medios de producción.

El estaño fue el principal mineral de producción y exportación nacional durante el siglo XX. En este sentido, el departamento de Oruro generó una gran contribución pues en él, se encuentran ubicados centros mineros importantes como Huanuni, Bolívar, Estalsa, Avicaya, Totoral y otros productores de grandes volúmenes de estaño.

5.2 Agricultura en el Departamento de Oruro

En el departamento de Oruro y en el altiplano en general, los agricultores se dedican a labores de la tierra en condiciones poco apropiadas en relación con los avances de tecnología, pues se realizan estas actividades de manera rudimentaria y tradicional, utilizando mano de obra directa y tracción animal. La producción a nivel del altiplano esta limitada por el clima y por la escasez de agua, factores que tienen repercusiones sobre el rendimiento. Según Vargas y Herrera (2002), son pocas las unidades productivas que cuentan con riego artificial o tecnología mejorada.

Existen algunos avances en el sector, principalmente en ciertos productos y zonas del departamento, como la quinua en algunas provincias y los cereales en la zona oriental del departamento. Los productos más importantes del departamento son los cereales (como la quinua, cebada, maíz, cañahua y trigo), los tubérculos (como la papa, oca y papaliza), las hortalizas (entre ellas la haba, cebolla, arveja y zanahoria) y los forrajes (como la alfalfa, avena y cebada en berza). Cuando existen excedentes de estos productos, la producción es destinada mayormente a los mercados locales bajo un sistema de comercialización integrado por el productor, distribuidor, mayorista, minorista, etc.

5.3 Ganadería en el Departamento de Oruro

En los últimos años se han emprendido acciones técnicas y científicas para aumentar la población y mejorar la calidad de las especies.

La mayor cantidad de cabezas de ganado con que cuenta el departamento es de especie ovina, concentrada principalmente en la zona Oriental minera del departamento. Le sigue en importancia la población de camélidos (llama y alpacas) en el área occidental con menor actividad minera. Las poblaciones de ganado bovino y porcino se encuentran en tercer y cuarto lugar en importancia respectivamente.

5.4 La Mujer Dentro de la Minería

5.4.1 Funciones de la mujer en la minería

Las nuevas formas de producción minera generadas por la denominada minería cooperativizada y minería chica, reproducen la tradicional estratificación o jerarquización en el trabajo que afecta a las mujeres. Hay una especialización laboral, acompañada de una muy particular nomenclatura para denominar cada una de las labores específicas en donde ellas se desempeñan:

- *Palliris*: proviene de la voz Quechua Pallai que significa escoger. Son las mujeres que seleccionan de manera manual el mineral de los desmontes o residuos de concentrados.
- *Guardas o Serenas*: Son contratadas por las cooperativas, o afiliados. Vigilan y cuidan las bocaminas que constituyen acceso a parajes mineros.
- *Lameras o Relaveras*: Rescatan el mineral de los ríos depositarios de residuos. Utilizan recipientes que los llenan de arena y luego lavan y relavan esta carga hasta obtener el mineral.
- *Veneristas*: Trabajan en veneros ó depósitos aluviales. Los veneros ricos son explotados por empresas privadas mediante dragas de alta capacidad. En sus residuos, ó en los veneros pobres trabajan ellas.
- *Rescatiris*: Son intermediarias entre las palliris y los comercializadores mayoristas. Operan con capital propio ó con préstamos de sus compradores que adquieren material rescatado.

- **Barranquilleras:** Mujeres dedicadas a la minería aurífera. Lavan la tierra mineralizada que se extrae del socavón ó de las colas de los lavaderos. Están en todas las cooperativas y grupos auríferos.
- **Voluntarias:** Son las mujeres que transportan alimentos o hacen los mandados. Encienden antorchas, fogatas y guardan las herramientas.
- **Las pequeñas comerciantes:** Son las esposas de algunos socios de las cooperativas auríferas que disponen de cierto capital para proveer de insumos alimentarios para los miembros del campamento.

Las elaboradoras de alimentos o cocineras, refresqueras y lavanderas: Están omnipresentes en todo centro minero aurífero y en todo campamento minero.

5.4.2 Situación actual de las mujeres que trabajan en la minería

En su mayoría, las mujeres que trabajan en la minería son mujeres solas, viudas ó divorciadas que viven para que sus hijos estudien y puedan tener en un futuro una profesión que les permita mejorar su nivel de vida. Algunas de estas mujeres, se iniciaron en la actividad minera desde niñas y llevan trabajando años pues no cuentan con una profesión y en definitiva no tienen otras opciones laborales.

Las cooperativas mineras, más de 100 en Bolivia, con más de 60.000 miembros, constituyen la base para la asociación de las mujeres mineras, pero un número mucho mayor de mujeres trabaja de una manera no oficial. Las mujeres que son socias de las cooperativas, sin embargo, ganan menos que los varones y tienen un espacio de acción a nivel organizacional muy reducido, pues solamente emiten su voto al momento de haber elecciones dirigenciales sin la posibilidad de que puedan ocupar cargos ejecutivos en la cooperativa.

En cuanto al tema salarial, la remuneración varía dependiendo de las funciones que desempeñan. Por ejemplo, las palliris ganan no más del 25% de lo que perciben los varones (según Trujillo, 2005, aproximadamente 655 Bs/mes) y las guardas ó serenas de las minas, entre el 55 y 66%. Las mujeres voluntarias ganan aún mucho menos, ya que perciben un 20 a 30% del salario que perciben las palliris, las comerciantes ó barranquilleras en un turno de trabajo. Otras mujeres como las esposas de los mineros, trabajan como palliris sin remuneración alguna. Más bien estimulan la capacidad de ganancia de sus esposos.

Según el Censo 2001, en el departamento de Oruro del total de Población Ocupada (5,135 trabajadores) que se dedica a la actividad de extracción de minas y canteras, el 8.72% corresponde a mujeres que trabajan en esta actividad. Esto significa que existen aproximadamente 448 mujeres mineras en el departamento de Oruro. Esta información se puede apreciar de mejor manera en la Tabla 13.

TABLA 13 : Oruro: Población Ocupada de 10 años o más por Censo y según actividad económica. Censos de 1992 y del 2001

Actividad	Censo de 1992			Censo de 2001		
	Población Ocupada	Hombres %	Mujeres %	Población Ocupada	Hombres %	Mujeres %
Agricultura, ganadería, caza y silvicultura	39,977	49.73	50.27	52,275	56.30	43.70
Pesca	254	93.70	6.30	14	85.71	14.29
Explotación de minas y canteras	6,479	91.73	8.27	5,135	91.28	8.72
Industria manufacturera	10,011	74.76	25.24	12,346	64.14	35.86

Electricidad, gas y agua	364	91.76	8.24	375	87.20	12.80
Construcción	5,595	98.59	1.41	8,055	96.39	3.61
Comercio al por mayor y al por menor	12,408	46.62	53.38	22,114	38.34	61.66
Hoteles y restaurantes	1,225	36.16	63.84	5,711	20.78	79.22
Transporte, almacenamiento y comunicaciones	6,230	96.61	3.39	7,182	94.32	5.68
Intermediación financiera	308	69.16	30.84	426	62.21	37.79
Servicios inmobiliarios, empresariales y de alquiler	1,236	76.94	23.06	3,498	67.27	32.73
Administración pública, defensa y seguridad social	3,138	83.52	16.48	3,323	77.10	22.90
Educación	6,604	46.26	53.74	8,585	42.43	57.57
Servicios sociales y de salud	1,552	43.30	56.70	2,376	35.65	64.35
Servicios comunitarios, sociales y personales	2,417	65.04	34.96	3,754	58.15	41.85
Servicios a los hogares y servicio doméstico	2,593	4.47	95.53	2,406	4.61	95.39
Servicio de organizaciones extraterritoriales	40	82.50	17.50	3	66.67	33.33
Sin especificar	13,771	43.12	56.88	7,662	47.64	52.36

Analizando las estadísticas del cuadro, se puede señalar que de acuerdo al Censo de 1992, antes existía un mayor número de mujeres trabajando en la extracción de minas y canteras. Si bien representaban un menor porcentaje (8.27%) del total de la Población Ocupada en esa actividad, el número de estas era de 536 aproximadamente, ó sea 88 más que en la actualidad.

5.4.3 El trabajo de las mujeres mineras en departamento de Oruro

En el departamento de Oruro, existen 8 cooperativas mineras ubicadas en Huanuni, Morocola, Poopó, Machacamarca y Japo.

En Morocola, se encuentra la cooperativa Morocola Ltda. que tiene como socias a 18 mujeres; en Poopó, la cooperativa Poopó Ltda. con 14 mujeres, en Japo la cooperativa Porvenir Ltda. con 10 mujeres y en Machacamarca, la cooperativa del mismo nombre, con 18 mujeres socias.

En Huanuni, el primer centro minero de Bolivia en la explotación de estaño, operan la Corporación Minera de Bolivia (COMIBOL) y cuatro cooperativas mineras: La Salvadora Ltda., que tiene 1.030 socios, de los cuales 60 son mujeres; Karazapato Ltda., en la que están registrados 990 asociados, de

los cuales 92 son mujeres; Playa Verde, que tiene 974 afiliados, entre ellos 544 mujeres; y Libres, que cuenta con 907 varones y 77 mujeres.

Las mujeres cooperativistas trabajan en las laderas del cerro Posokoni o en las orillas del río Huanuni, rescatando los últimos resquicios de estaño que la mina desecha. Luego de que el mineral es extraído por los mineros desde los socavones en piedras enteras y procesado y descartado por los ingenieros, las palliris comienzan su trabajo, armadas con martillos y cincel, para recuperar el estaño que la tecnología no ve. El trabajo de las palliris consiste básicamente en juntar el mineral que queda en las laderas del cerro.

5.4.4 Producción e ingresos

De acuerdo a Trujillo (2005), el promedio de producción de las mujeres palliris de las cooperativas del departamento de Oruro es de 65.43 Kilos con una Ley de 50.95% en contenido de mineral de estaño. Llegando a producir 33.35 Kilos finos de estaño durante un mes laboral. Este mismo autor realizó un cálculo de los ingresos netos promedio que obtienen las mujeres palliris de las cooperativas ubicadas en el departamento de Oruro. El cuadro a continuación muestra sus resultados.

TABLA 14 : Ingresos Netos (Bs/mes)

Cooperativa	Ingreso bruto	Insumos	Ingresos netos
Machacamarca	927.11	278.13	648.97
Huanuni	1542.23	462.66	1079.56
Morococala	1526.35	457.90	1068.44
Poopó	678.56	169.55	508.98
El Porvenir de Japo	650.25	223.25	427.00
Promedio			654.97

En la actualidad los ingresos son mayores debido que el precio del estaño se encuentra en alza. Si se supone que en promedio obtienen 33.35 Kilos finos de estaño y el precio actual de la Libra Fina de estaño se encuentra en 6.56 \$us, entonces el Kg tiene un precio de 14.432 \$us¹. El ingreso bruto es de 481.3072 \$us que en Bolivianos representa 3706.06544 Bs.²

Tomando en cuenta los costos estimados por Trujillo (2005), y calculando la mediana de estos datos, se obtiene un costo de 278.13 Bs. Para encontrar los ingresos netos restamos del ingreso bruto los costos, para obtener un ingreso neto de 3427.93544 Bs. Es evidente que los costos probablemente se hayan incrementado desde el 2005, sin embargo por el alza en el precio del estaño, seguramente las mujeres mineras en la actualidad, perciben mayores ingresos económicos.

5.5 Niños Mineros

5.5.1 Antecedentes

La incorporación de los niños en trabajos mineros, se da fundamentalmente por la necesidad de incrementar los ingresos de la familia, para satisfacer las necesidades básicas de subsistencia.

¹ 2.2 * 6.56 = 14.432 \$us

² Tipo de cambio de 7.70 Bs/\$us

Según datos del Censo 2001, existen alrededor de 1.275 niños, niñas y adolescentes insertos en la explotación de minerales, de los cuales alrededor de 318 trabajan para alguna empresa aurífera, alrededor de 380 trabajan en la extracción de minerales metálicos no ferrosos, casi 237 en actividades relacionadas con la explotación del estaño y alrededor de 340 en la extracción de piedra, arcilla y arena.

A continuación se muestra un cuadro que muestra la distribución del trabajo infantil de acuerdo a las diferentes actividades económicas que realizan.

TABLA 15 : Bolivia: Población Ocupada de 7 a 17 años por sectores de actividad económica, según área de residencia, 2001

Actividad Económica	Área Urbana	Área Rural	Total
Agricultura, caza, pesca	8,844	87,251	96,095
Extracción minas y canteras	525	750	1,275
Primario	9,369	88,001	97,370
Industria	22,777	7,449	30,226
Construcción	7,692	3,166	10,868
Secundario	30,469	10,615	41,084
Comercio minorista y reparaciones	41,298	3,617	44,915
Servicios personales	28,927	4,383	33,310
Hoteles, pensiones y restaurantes	15,625	1,695	17,320
Servicios comunales y sociales	9,165	4,124	13,289
Trasportes y comunicaciones	5,643	733	6,376
Establecimientos financieros y empresariales	2,606	769	3,375
Comercio por mayor	2,595	261	2,856
Terciario	105,859	15,582	121,441
Casos válidos	145,697	114,198	259,895
Sin especificar	16,793	26,711	43,504
Total casos	162,490	140,909	303,399

La minería constituye una actividad peligrosa para los niños, debido a que en muchos casos deben manipular productos químicos, como el mercurio en las empresas auríferas y el xantato para la separación de las impurezas del mineral; en el caso del xantato, sólo la inhalación produce debilidad inmediata. En muchos casos, los niños y adolescentes trabajan largas jornadas, sin ningún control de tiempo, utilizando estos químicos.

La mayor proporción de niños, niñas y adolescentes que trabajan en la minería (77%) está en el altiplano. En los llanos está el 13% y en los valles el 10%.

5.5.2 Actividades mineras que desarrollan los niños y niñas en la minería

Los puestos que ocupan los niños y niñas en las minas son los siguientes:

- *Carreteros*. Encargados de manipular y empujar los carros metaleros en los cuales se transporta el mineral en interior mina. Los niños generalmente varones de 15 a 17 años, hacen este trabajo junto a sus padres, ya que requiere de mucha fuerza física.
- *Ayudantes de perforación*. Como el trabajo de perforación es sumamente peligroso, los niños que ingresan al interior de la mina se convierten en ayudantes de perforación, pasando las herramientas para el trabajo, limpiando el lugar donde se encuentra la veta y recogiendo el mineral extraído. Otra tarea que suelen hacer dentro del proceso de perforación es la

preparación de los explosivos. Esta es la tarea más peligrosa que los niños a pesar de su corta edad, realizan muy hábilmente.

- *Cargueros*. Esta tarea la hacen junto a sus padres, luego de haber extraído el mineral del interior de la mina. Con sus bultos bajan desde la bocamina hasta su ingenio.
- *Molienda*. Esta es la tarea más común entre los niños y niñas trabajadores. Se realiza con la ayuda del guimbalete, un artefacto metálico de por lo menos 10 kilos, en forma de media luna, que se balancea sobre una lámina de hierro, triturando el mineral que se coloca debajo.
- *Xantatear*. Para hacer este trabajo se hace uso de reactivos químicos, como el xantato, el cual se une con ácido para recuperar el mineral con más pureza. La inhalación de este reactivo provoca serios dolores de cabeza y una sensación de desgano y debilidad. Si esta solución es puesta en contacto con la piel, provoca deformaciones y quemaduras.
- *Lamear*. Luego de concentrar el mineral, quedan residuos, a los cuales los mineros llaman cajas o lamas. Estas son nuevamente procesadas a través de un mecanismo diferente, que consiste en mojar continuamente con agua esa cantidad de lamas. Este trabajo lo hacen por lo general las niñas por la habilidad que tienen con las manos.
- *Concentrar*. La concentración se hace utilizando diversas herramientas como el buddle, el chillar y el maritate. Cualquiera de ellas permite obtener un mineral procesado. Los niños y niñas manipulan estas herramientas, que son un poco más grandes, controlando el movimiento de subida y bajada con un palo de madera.
- *Embolsado del mineral*. Esta es la etapa final del proceso. Los niños colaboran utilizando la pala y los sacos donde se introduce el mineral. Las niñas por su parte, participan de esta actividad, cosiendo los sacos rotos para ser reutilizados.
- *Barranquilleros*. Son los niños y niñas que ejecutan las tareas de lavado del oro en las orillas de los ríos ó en los desechos de las operaciones de pre-concentración y concentración gravimétrica de la cooperativa.

5.5.3 El trabajo infantil en Huanuni

Huanuni es una comunidad históricamente minera. Gran parte de la población es inmigrante y alberga un porcentaje muy elevado de niños niñas y adolescentes trabajadores, que se encuentran en una estrecha relación con el trabajo minero.

El trabajo de los menores no es menor a las 5 horas por jornada. Muchos de los niños y niñas que trabajan entre 7 a 8 horas diarias, con descansos de quince minutos a media hora por día. Los instrumentos que utilizan, la mayoría de los niños son combo, cincel, barreno, bolsas plásticas y sacos, o saquillos. La mayoría trabaja en interior mina.

En cuanto a la remuneración que perciben los niños por su trabajo, esta se diferencia de acuerdo a si trabajan de manera legal ó clandestina. Los ingresos económicos de los niños que ingresan al interior mina de manera clandestina varían dependiendo de la veta (mineral) que encuentran para poder trabajar, generalmente en grupos de seis personas. Si encuentran una buena veta, lo cual significa buenos ingresos, la ganancia es distribuida en forma equitativa entre los trabajadores. Sin embargo, en algunas ocasiones no llegan a encontrar vetas adecuadas, trabajando, inútilmente, 15 horas o más.

Los ingresos de los niños, niñas y adolescentes que trabajan para las cooperativas tienen un ingreso mensual promedio de Bs. 700 a 900 (100 a 120 \$us.). Estos menores son, generalmente, hijos de cooperativistas y reciben un trato preferencial dentro de la organización minera.

Los ingresos mensuales de los padres de familia oscilan entre Bs. 900 y 1200 que es insuficiente para el sustento de la familia, razón por la que los hijos menores de 14 años se ven, o son, obligados a trabajar en las actividades mineras.

5.5.4 Efectos del trabajo infantil minero

Sobre la educación: La mayoría de los menores que ingresan a interior mina abandonan la escuela o el colegio, ya que el tiempo que le dedican a las actividades mineras no les permite continuar con sus

estudios. Los niños y niñas que pueden asistir a la escuela, por lo general, son reservados y muestran rendimientos deficientes.

Sobre la salud: Los niños mineros están expuestos, en interior mina, a la falta de oxígeno y a la presencia de gases venenosos que afectan su salud, dañando, principalmente, su sistema nervioso. El contacto permanente con el polvo causa silicosis y la irritación de los ojos y la nariz. Los ruidos fuertes y permanentes de las perforadoras y las explosiones provocan sordera y la exposición de los pies al lodo y al agua produce reumatismo y dolor en los huesos.

Sobre la familia: Los niños, niñas, adolescentes trabajadores prefieren no hablar de la situación de sus familias, algunos manifiestan que sus familias no existen y que son desconocidos que viven bajo el mismo techo, por que no saben de las actividades que realizan cada miembro del grupo familiar. No saben si sus papás están trabajando o están consumiendo alcohol en alguna cantina. En el caso de sus hermanos es una situación similar, no saben en que situación están. No hay comunicación entre ellos lo cual afecta enormemente en la actitud de estos menores que presentan una personalidad inestable, con ausencia de valores y falta de orientación en cuanto a sus perspectivas de futuro.

6 DIAGNÓSTICO

6.1 Conflicto entre Comunidades Campesinas y Originarias

Los conflictos se dan entre comunidades, al interior de las mismas y de estas con el estado y empresas privadas. Una de las causas generalizadas es el acceso, explotación o usufructo y administración del recurso agua del medio ecológico circundante. Diversos grados de conflicto fueron originados al interior de los ayllus y comunidades por obtener el control de mayores recursos para el riego, el pastoreo, la pesca e incluso para el consumo humano.

Uno de los elementos más escasos en la región es el agua. En 1991 el corregidor de tres cruces denunció que el río había sido tapado por los canalizadores del Choro, Cercado sur. Corte que no fue comunicado oportunamente, por lo que se pedía la reapertura del taponamiento ilegal que no considero la muerte de peces mauri y pejerrey y de las crías de oveja, ya que el agua sirve tradicionalmente al ganado de la región. Los ranchos más afectados por entonces fueron cuatro que calificaban como dramática tal situación por contar cada familia con un promedio de 250 ovejas. (Molina y Barragán 1985).

La presencia de centrales de canalización ha transformado, en las generaciones jóvenes, la relación de estos pueblos con el agua: este ahora es un recurso productivo. La economía pastoril de la zona es dependiente de las aguas del río Desaguadero. Las estancias aprovechan las aguas y el forraje para la producción de queso que junto a la lana, cuero, huesos y otros permiten la articulación de estas poblaciones con la ciudad de Oruro. (Alanez, 2000)

La introducción de técnicas modernas como la agricultura de riego, introducción de nuevos pastizales artificiales, mejoramiento del ganado vacuno y ovino y la introducción de maquinaria agrícola como el tractor y las bombas de agua ha creado una mayor competencia por este recurso. De igual manera la ganadería y pesca que vinculan a estos con el mercado en relación a una agricultura destinada en gran parte al autoconsumo.

El Uru es una categoría tributaria, no designa un grupo étnico, si no como individuos destinados al servicio exclusivo de los jefes de las comunidades. Este estereotipo indígena determina la relación con las comunidades vecinas aymaras. Al interior del lago Poopo, la isla de Panza designada originalmente como el lugar principal de los Uru Muratos, fue acaparada por la comunidad aymará de Untavi y el ayllu Pumasara.

Otro elemento que agudiza el conflicto entre las dos etnias es la actividad pesquera. Esta constituye una estrategia de subsistencia retomada por estas comunidades en los últimos años debido al ascenso del agua y la introducción del pejerrey en la década del setenta. Las cooperativas pesqueras están distribuidas en las seis provincias que rodean al lago. Actividad reglamentada en turnos de cinco días de pesca para cada zona geográfica.

El conflicto por el manejo y control del recurso agua también se da al interior de las propias comunidades. La lucha entre familias por tierra y por consiguiente el acceso al agua esta marcada por largos procesos judiciales que otorgaron derecho de posesión y usufructo, situación que a pesar resoluciones legalmente reconocidas esta al filo del conflicto.

Este conflicto es agudizado por existir reglas de residencia, en ranchos o estancias, virilocal, bizonal y herencia bilateral. Las parejas recién casadas mantienen sus derechos de tierra en las comunidades de sus padres a los cuales pueden acudir en caso de necesidad, vivirán en la residencia de los padres del esposo para luego constituir una nueva residencia que por la mercantilización de tierras pueden comprarlas en otras comunidades. La exogamia o matrimonio dentro la etnia se da a nivel de estancia o rancho para acceder a otros recursos con que no cuenta la comunidad y la endogamia a nivel del grupo étnico se da para mantener el control de los recursos y la identidad étnica.

Los comunarios, muchos de los que se encuentran migrados a la ciudad, recurren al alquiler de sus tierras a familiares y pastores y/o sembradores que viven en el campo con el compromiso de partir la producción. Otros comunarios han recurrido al Wata Wata o turno anual, sistema en el que cada miembro de la familia debe aportar al cuidado de los animales anualmente.

6.2 Situación de los Suelos en la Zona de Estudio

Existe una población de aproximadamente 100.000 habitantes en el area de influencia del proyecto, de los cuales cerca de unos 15.000 están ubicados en poblaciones, y comunidades alrededor del lago. Esta población rural si bien en su mayoría estaba más ligada a la minería, de alguna manera también está relacionada con la agricultura del lugar, situación que aumenta por la crisis por e agua en la zona.

La agricultura y especialmente la ganadería que se practica en la zona, se dan en las tierras situadas en la llanura fluvial y fluvio lacustre, es decir en la zona con mayores posibilidades de contaminación del suelo por los aportes directos de los ríos con aguas contaminadas en el pie de monte y llanura (parte este de la cuenca), o por influencia de las inundaciones del lago y las variaciones de la napa freática.

En estas llanuras aluviales (antiguas o recientes), existen aproximadamente más de 65.000 ha de tierras (pampas), cubiertas de pastos, especialmente donde el grado de contaminación no es elevado (sales y sodio). Estas praderas son utilizadas para el pastoreo extensivo de ovinos, camélidos, etc. Los suelos de estas planicies presentan una granulometría variable: suelos franco limosos, arcillo limosos, arcillosos, y franco arcillo limosos.

Sobre la base de visitas de campo y algunos estudios analizados, se ha podido evidenciar que en la zona existe una contaminación química de los suelos debido especialmente a contaminación de suelos con sales y sodio, y contaminación de los suelos con metales pesados

a) Contaminación de suelos con sales y sodio

Sin duda este tipo de contaminación natural de los suelos con sales (cloruros y sulfatos, bicarbonatos de sodio, calcio y magnesio), es muy común en esta zona del altiplano debido a la geoquímica, fisiografía, calidad de las aguas, clima, y otros factores.

La excesiva acumulación de sales en los suelos, se debe además a algunas características del suelo como:

- La textura fina que incide sobre el drenaje interno (imperfecto a moderado) que evita el lavado vertical de las sales acumuladas, además que en razón de que en estas texturas predominan los meses secos existe una acumulación de sales por capilaridad en la superficie.
- La presencia de arcillas tipo 2/1 (montmorillonitas), en los suelos incide en la alta capacidad de retención de sodio en forma intercambiable, facilitando la sodificación de los suelos.
- La presencia de una napa freática contaminada, y con alturas variables, evita un lavado adecuado de las sales de las capas superficiales hacia los horizontes inferiores, además esta napa proporciona a las capas superiores durante los meses secos, suficiente cantidad de sales que se acumulan en la superficie gracias a los movimientos

ascendentes del agua. Esto se debe especialmente a que la evaporación es mayor a la evaporación (ETP>P).

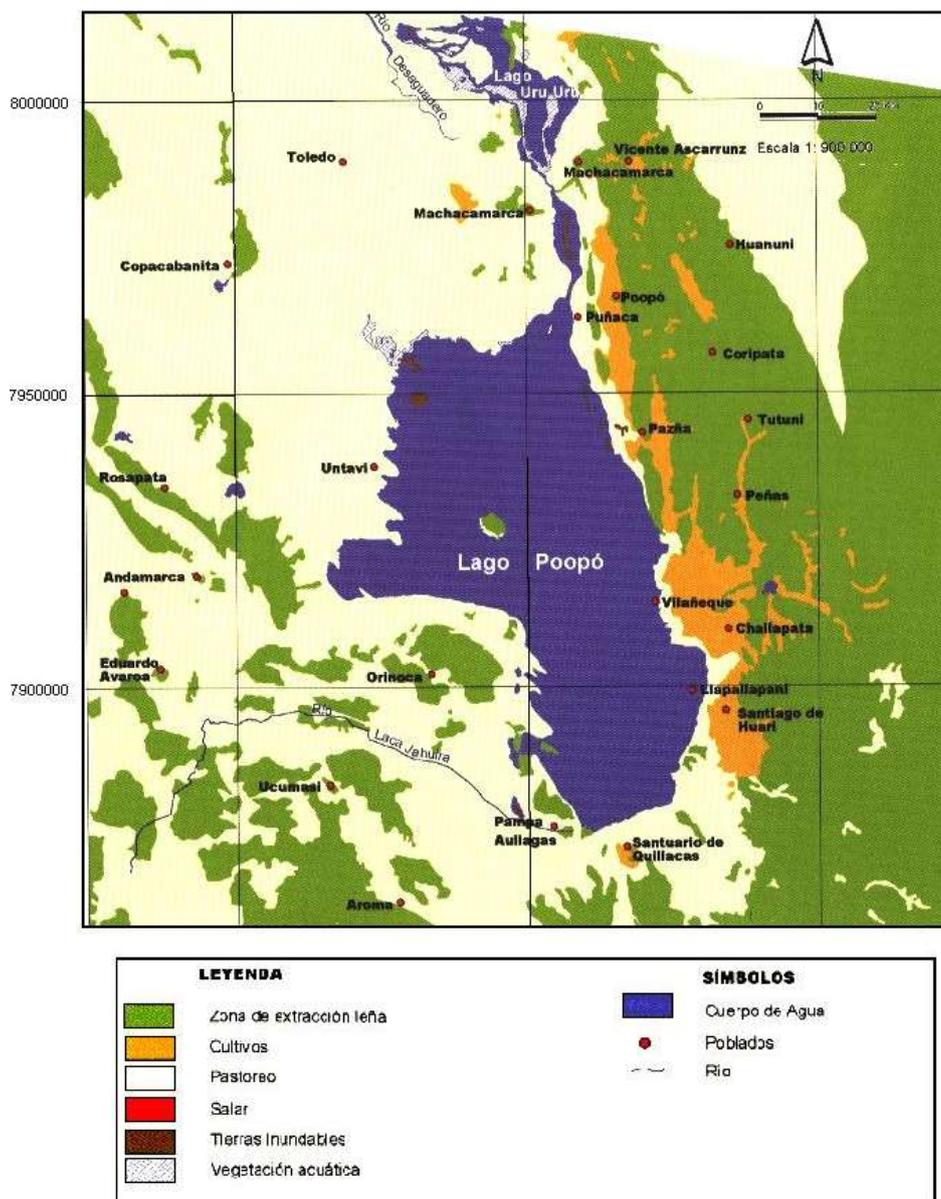
- En vista de que esta zona tiene pendientes extremadamente bajas, se facilita la acumulación de contaminantes, debido al escaso drenaje horizontal, especialmente en las depresiones.

Esta acumulación paulatina de sales y sodio que se da en la zona, disminuye aún más la fertilidad natural de las tierras, en razón de que estas sales inciden de diferentes maneras sobre la productividad.

En años poco lluviosos y especialmente durante el periodo vegetativo la presencia excesiva de sales en la capa arable puede limitar la germinación de algunos cultivos y plantas forrajeras menos tolerantes, así mismos estas sales tienen efectos químicos directos que perjudican la nutrición y el metabolismo de las plantas.

La presencia de sales en los suelos también afecta directamente la absorción del agua por las plantas. Esto se debe al aumento del potencial osmótica y por consiguiente el potencial matricial de los suelos, aspecto muy importante que debe ser considerado debido al déficit hídrico existente en la zona. Asimismo la presencia de sodio intercambiable en mayores proporciones, provoca reacciones alcalinas, lo que incide sobre la disponibilidad de algunos nutrientes como el manganeso, cobre, boro, fósforo, etc., este catión también juega un papel importante en los cambios físicos que se dan en los suelos: disminución de la capacidad de almacenamiento de agua y en las tasas de infiltración, debido a los cambios en la geometría de sus poros, por consiguiente la aeración es menor.

Figura 9 : Mapa de uso de Tierras en los Lagos Poopó y Uru Uru



b) Contaminación de los suelos con metales pesados

Otra situación que merece especial atención en la zona, es la cuantificación de la contaminación de suelos con metales, provenientes especialmente de la actividad minera y procesos naturales de contaminación, en razón de que estos metales son muy tóxicos para el hombre y la naturaleza debido a su baja biodegradación y a su capacidad de acumulación en los tejidos.

Debido al peligro que representa para el hombre la contaminación con metales pesados, es importante evaluar de manera apropiada la contaminación de los suelos agrícolas, en virtud de que en estos obtiene parte de sus alimentos (cultivo y carne de animales que se pastan en el área). La presencia de metales pesados en los suelos en cantidades mayores incide negativamente sobre los cultivos, así por ejemplo según Noras provocan daños en las raíces (Zn, Cu, Pb), o retardan el crecimiento de las plantas (Zn).

Si bien los resultados preliminares realizados en sedimentos y algunos suelos del área por Noras (1993), y el Plan Director PELT 1993, arrojan algunas evidencias e contaminación,

especialmente con cadmio, cobre, estaño, manganeso, mercurio, plomo, zinc. Se requieren estudios sistemáticos y detallados para conocer el grado de contaminación real de los suelos agrícolas y plantas (cultivos y forrajes). Actualmente no se ha evaluado la incidencia de esta contaminación sobre la fertilidad de los suelos y tampoco sobre la calidad de los forrajes y cultivos agrícolas, asimismo, no se ha correlacionado el contenido de estos metales en los suelos, con su presencia en las plantas y los tejidos de los animales, aves y el hombre.

En base a la revisión de diferentes trabajos: Dinchev (1972) y Noras (1992), se puede evidenciar que la mayoría de estos elementos contaminantes son más solubles en medios ácidos, situación que se presenta especialmente en las rocas, durante la mineralización de algunas piritas y formación de aguas ácidas. Pero como los suelos del área de interés presentan más bien reacciones básicas a alcalinas, varios de estos elementos disminuyen su solubilidad o se precipitan en forma de carbonatos de Cu, Cd, Pb y Ag, de donde se desprende la interrogante, de que porcentaje del total de estos elementos presentes en los suelos se encuentran en formas más activas y con posibilidades de ser absorbidas por las plantas y acumularse en los tejidos.

Asimismo para conocer mejor esta situación, es importante dar énfasis a la dinámica estacional de los procesos de oxidación – reducción que se dan en estos suelos, especialmente donde la napa freática tiene variaciones marcadas entre la época seca y húmeda del año o en lugares donde existe anegamiento de la capa superficial. Así, el manganeso durante los procesos de reducción que transcurren en condiciones de demasiado humedecimiento y la aeración es desfavorable (periodo vegetativo) evoluciona hacia formas bivalentes, incrementándose así su solubilidad y por consiguiente puede aumentar su toxicidad en algunos cultivos como alfalfa, trébol y papas. Otros elementos como el cadmio se precipita en forma de carbonatos u óxidos debido al predominio de procesos de oxidación en la época seca.

Es importante dentro de esta problemática, dar énfasis a la adsorción de los metales pesados por las arcillas, en razón de que en el altiplano predominan las de tipo 2/1 que se caracterizan por su alta capacidad de retención.

Asimismo la materia orgánica que se encuentra en mayores cantidades en la capa arable de los suelos, presenta cierta capacidad para retener algunos metales como zinc, cobre, plata, plomo y antimonio. Para cuantificar el grado de contaminación real de los suelos y sus posibles efectos sobre su fertilidad y acumulación en los tejidos de las plantas es necesario tomar en cuenta algunos aspectos:

- Varios de los posibles elementos contaminantes (Cu, Zn, Sn, Cd, B, Cl), son necesarios para las plantas en pequeñas cantidades, para la marcha de algunos procesos metabólicos, pero al mismo tiempo estos elementos en cantidades un poco mayores son tóxicos. Existe por lo tanto, entre ambos límites extremos un margen de diferencia demasiado pequeño que requiere ser determinado con bastante precisión.
- Para evaluar la contaminación de los suelos es necesario manejar algunos criterios y diferenciarlos adecuadamente como: contenido total de un determinado elemento en el suelo, a diferencia del contenido disponible o cambiante, en razón de que de este último depende la cantidad que puede ser utilizada con más facilidad por las plantas.
- Existen diferentes fuentes sobre límites permisibles, muchas veces estos difieren significativamente entre ellos, por consiguiente es necesario buscar los más adecuados.
- Para poder evaluar el grado de contaminación de los suelos con metales pesados y otros, es importante correlacionarlos con análisis de la vegetación, para poder de esta manera determinar su posible incidencia en animales o personas.

6.2.1 Situación de las áreas erosionadas

Las investigaciones académicas respecto al ámbito de las erosiones son escasas, el único estudio realizado es la “Cuantificación de la erosión hídrica de los suelos de la comunidad de Soracachi, provincia Cercado”, donde se enfatiza sobre el grado de erosión laminar de los cultivos intensivos, caso de las hortalizas, cuya superficie estudiada fue de 146,5 has.

Según el PRONAR (2000), la superficie bajo riego con riesgo a erosión laminar es baja en el Departamento de Oruro, alcanzando a 674 has., la Provincia más afectada es Eduardo Avaroa con 341 has, seguida de Ladislao Cabrera con 110 has. A escala nacional la erosión es un problema de cierta gravedad en las áreas de pendiente, del cual el Departamento de Oruro tiene la menor superficie con riesgo de erosión por riego.

En síntesis, la situación de las áreas erosivas en el Departamento de Oruro muestra a la provincia como la más afectada de la cordillera occidental o volcánica por la escasa vegetación que presenta, las serranías son frágiles a la acción de las lluvias, calificadas como erosión fuerte a muy fuerte; mientras, en la cordillera oriental, la erosión en cárcavas es la más visible en pendientes muy escarpadas, dada la mayor precipitación, acompañada de nieves temporales, en algunas profundidades se presentan microclimas, con una presión de cultivos casi continua en las serranías de mayor fertilidad.

En la pampa Altiplánica la erosión es ligera a moderada, con excepción de los sectores desprovistos de vegetación. La mayor parte, presenta una pradera nativa densa, que protege de alguna manera la erosión hídrica laminar y la suspensión de las partículas de arcilla y limo. De forma general, la superficie aproximada afectada por la erosión en el Departamento de Oruro es de 30.787 km² (57 por ciento), de la cual 18.473 km² (34 por ciento) corresponden a la erosión muy fuerte y 8.477 km² (16 por ciento) corresponden a la erosión grave. La mayor extensión está ubicada en la cordillera occidental, seguida del ramal de la cordillera oriental.

6.2.2 Situación de las áreas salinizadas y sodificadas

Los procesos naturales implican una deposición heterogénea de grandes cantidades de sales en el subsuelo y suelo, resultado de procesos físico-químicos y condiciones climatológicas las afloraciones salinas y sódicas son muy visibles a lo largo y ancho de la planicie altiplánica, en la que se han desarrollado especies tolerantes y de alto valor nutritivo, como es Suaeda foliosa y Atriplex sp. y otras de menor tolerancia.

En ese contexto, en la planicie altiplánica del Departamento de Oruro, se aprecian manchones con afloraciones salinas ó sódicas, en algunos casos en puntos intermedios de la vegetación nativa. Los factores que coadyuvan a este afloramiento son el estancamiento de las aguas de lluvia, irrigación continua, inundaciones o precipitaciones de proporción, que por el proceso de capilaridad, las sales afloran a la superficie del suelo.

Los Municipios que están afectados por esta acción natural son: El Choro, Toledo, Oruro (Distrito 6), Machacamarca, Poopó, Pazña, Challapata, Huari, Chipaya y Choquecota. Una de las principales actividades de las familias campesinas, en estos municipios, es la ganadería que, en el caso de El Choro, la extensa red del sistema de riego derivado del río Desaguadero, permitió utilizar intensamente los suelos. Por esta acción se aceleraron las afloraciones salinas y sódicas en todos los sectores donde se riega continuamente, pero es necesario especificar que existen sectores con bajo contenido de sales. Las implicaciones llegan a las aguas subterráneas de deposición pluvial que manifiestan niveles altos de salinidad o acidez, Esta situación afecta también la parte oriental de la planicie de la provincia Saucarí.

Todo 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. Sin duda, este tipo de contaminación natural de los suelos con sales (cloruros y sulfatos, bicarbonatos de sodio, calcio y magnesio), es muy común en la zona del altiplano.

La excesiva acumulación de sales en los suelos, en corroboración con los resultados del laboratorio, se debe además a algunas particulares como ser:

- La textura fina, incide sobre el drenaje interno (imperfecto a moderado), que evita el lavado vertical de las sales acumuladas, además en estas texturas predominan los microporos sobre los macroporos durante los meses secos, esta interpretación sustenta la acumulación de sales por capilaridad.
- La presencia de arcillas tipo 2/1 (montmorillonitas) en los suelos incide en la alta capacidad de retención de sodio en forma intercambiable, facilitando la sodificación de los suelos.
- La presencia de una napa freática con alturas invariables, evita un lavado adecuado de las sales de las capas superficiales hacia los horizontes inferiores, además esta napa proporciona a las capas superiores suficiente cantidad de sales en los meses secos, los cuales se acumulan gracias a los movimientos ascendentes del agua. Esto se debe especialmente a que la evaporación es mayor a la precipitación ($ETP > P$).
- En vista de que esta zona tiene pendientes extremadamente bajas, se facilita la acumulación de contaminantes, debido al escaso drenaje horizontal, especialmente en las depresiones.

Tal como se puede observar en el Mapa de Áreas Salinizadas del Departamento de Oruro, en la zona árida del Departamento existe un extenso salar natural, el Salar de Coipasa, cuya superficie aproximada es de 2667 km². También, existen otras pequeñas áreas salinizadas dispersas, cuya superficie total es de 1336 Km². Estas áreas están ubicadas en las pampas de Chipaya (sector este - oeste), Ladislao Cabrera (sector norte), Carangas (sector central), Saucarí (sector central y norte), Sebastián Pagador (en los bordes del lago Poopó) y Cercado (al oeste de la ciudad de Oruro).

La presencia de sales en los suelos también afecta directamente a la absorción del agua por las plantas. Esto se debe al aumento del potencial osmótico y por consiguiente el potencial matricial de los suelos, aspecto muy importante que debe ser considerado en el análisis del déficit hídrico en las zonas de estudio.

Asimismo, la presencia de sodio intercambiable en mayores proporciones, provoca reacciones alcalinas, lo que incide sobre la disponibilidad de algunos nutrientes como el manganeso, cobre, boro, fósforo, etc. Este catión también juega un papel importante en los cambios físicos que se dan en los suelos: disminución de la capacidad de almacenamiento de agua y en las tasas de infiltración, debido a los cambios en la geometría de sus poros, por consiguiente la aireación es menor. La coloración plomo azulado es una de las características de los suelos sódicos. En algunos sectores de El Choro, Toledo, y trayecto Oruro – Inti Raymi, se encuentran manchones de suelos sódicos, donde se observa la Saueda foliosa.

En síntesis, las áreas salinizadas y las que se encuentran en ese proceso, tienen una extensión considerable. La acción directa de los suelos vs. vegetación, debería ser un elemento importante en la atención investigativa. Respecto a las áreas sodificadas, estas están en proceso de extensión, pero aún constituyen áreas reducidas, que están en proceso de progresión, en especial en la planicie Altiplánica de los Municipios de El Choro, Toledo y Caracollo.

6.2.3 Situación de las áreas con sobrepastoreo

La actividad pecuaria tiene una dependencia por la pradera nativa en todo el ciclo de producción, en la relación suelo - planta - animal, a pesar de los esfuerzos de los ganaderos por encontrar equilibrios, casi siempre hubo déficit de forraje en detrimento de los animales, con implicaciones en la fertilidad de los suelos y la cobertura de las especies nativas.

En los suelos sedimentarios, salinos inundadizos y marginales, caso del río desaguadero y sus ramificaciones, ha evolucionado la forrajera Suaeda fruticosa, especie que provee y complementa la alimentación de los ovinos con repercusión en los periodos más críticos, tal es el caso de los Municipios de Toledo, El Choro, Oruro (parte del Distrito 6) y Caracollo.

No se tiene información exhaustiva sobre el estado del deterioro de las praderas nativas del Departamento de Oruro y en consecuencia de la cuenca del Lago Poopo, muchos especialistas coinciden en indicar que el sobrepastoreo y la sobreutilización de la pradera nativa en el altiplano es un fenómeno evidente, que no está basado, como generalmente se piensa, en la falta de conocimiento de los ganaderos sobre la dinámica de la pradera en pastoreo. Es más bien, el resultado de una

compleja interacción de factores externos e internos a la naturaleza de la pradera, entre los que se puede mencionar: la tenencia de la tierra, población ganadera, manifestación climática, disponibilidad de mano de obra y aspectos socioculturales.

6.2.4 Suelos desarrollados sobre llanuras de inundación

Sobre la base de la Auditoria ambiental del Derrame de hidrocarburos en el río Desaguadero (Vol 3) se sintetiza lo siguiente: A partir de Chuquiña, el río se divide en dos brazos y el paisaje se constituye en una llanura con una ligera pendiente. El brazo este, desemboca en el lago Uru Uru y el oeste, rodeado de extensas zonas inundables, desemboca en el lago Poopó a través de un largo delta. Del brazo este del río Desaguadero se desprenden canales que irrigan grandes zonas como de Huancaroma, Japo y El Choro. El área comprendida entre los dos brazos constituye una llanura, donde se han identificado las dos principales geoformas que modelan el paisaje: llanuras de inundación y depósitos aluvio-lacustres.

Las llanuras de inundación son áreas ligeramente deprimidas que constituyen antiguos cursos de río que drenaban las partes altas. Actualmente algunos de estos cursos se comportan como ríos estacionales. A esta geoforma corresponden los perfiles 4 (Ulloma), 10 (Colquemaya), 26 (Coopata) y 34 (Sur Uru Uru). Los perfiles 4 y 10 corresponden a llanuras de inundación ubicados en el tramo Calacoto - Chuquiña

Los suelos aledaños al Lago Poopó, los cuales debido a esta influencia presentan hidromorfía y alto contenido de sales, así como afloraciones salinas. Han sido clasificados como Entisoles (sub orden Aquents) y Aridisoles, donde se han estudiado perfiles del delta Poopó y el sur del lago Poopó. Es así, que el sur del lago Poopó es la que presenta una gran cantidad de costras salinas, de textura franco-arenosa hasta los 15 cm, en profundidad es arenoso, en este sitio se ha registrado el nivel más alto de sales (13900 unidades).

En general la capa arable en la zona de estudio se caracteriza por la gran cantidad de afloramientos salinos (Delta Poopó) y (Sur Lago Poopó). En sí, la zona de estudio del lago Poopó presenta un pH de 8,2 considerada como moderadamente alcalino y en otros sectores llega por encima de 9. Los valores correspondientes a conductividad eléctrica son muy variables, dado que este parámetro es muy sensible a la ubicación de la topografía, sin embargo hay un predominio de altos valores de conductividad (mayores a 3000 mS/cm), que presentan limitaciones al crecimiento vegetal

En relación con la materia orgánica y nitrógeno total, presentan datos entre 0,5 y 1% registrándose un solo valor por encima de 2%, esto coincide con la referencia de Dregne (1976), quien indica un promedio de 0,5% de contenido de materia orgánica para las zonas más áridas, esto indica que son suelos sumamente pobres y poco adaptados para la agricultura. Respecto a la textura de los suelos de la región, existen zonas de muy alto contenido en arena (Caquiza, Khari Khari, Isla Panza y sur lago Poopó), donde la retención de nutrientes y de agua es mínima, se trata por tanto de suelos secos, donde la actividad agrícola es muy reducida, constituyéndose por tanto en regiones principalmente ganaderas, donde se da mayormente la crianza de camélidos y ovinos.

6.2.5 Suelos afectados por la contaminación minera

En la región se identifican, alrededor de 300 minas en actividad, que incluyen la minería grande, 6 empresas medianas, 4 empresas pequeñas, incluidas cooperativas ubicadas predominantemente en la cordillera oriental frente al lago Poopó.

Según fuentes documentales, la contaminación por efecto de esta actividad económica, corresponde a las regiones de las cuencas menores de los ríos:

- A. Desaguadero.
- B. Pazña
- C. Antequera
- D. Poopó
- E. Huanuni

La base explicativa de la contaminación por actividades minero metalúrgicas expresan la combinación de los efectos inducidos por la explotación, que provienen principalmente de los procesos físico – químicos cuyo resultado produce la solubilización de los elementos de las capas geológicas, que se liberan al contacto con el agua empleada; este proceso incide en los componentes mayores y menores de la formación existente. Si bien este es un efecto no explícitamente significativa para la aplicación de la problemática de contaminación y debe ser necesariamente ser incluida como resultado de la explotación minero – metalúrgica.

Las acciones de tipo directo devienen de la naturaleza de las prácticas de explotación como de las tecnologías empleadas y deben diferenciarse a los tipos de asentamientos existentes, es decir a la explotación minera como etapa atractiva y a los ingenios asentados, cuyo proceso se deriva de operaciones físico – químicas de concentración de minerales.

La naturaleza de los minerales que se explotan en la región muestra que la mayoría de estos son de tipo sulfuroso, pues aún los yacimientos de casiteritas como los de Huanuni, tienen un apreciable contenido de sulfuro de hierro. Esta particularidad de los minerales hace por ejemplo que las aguas de mina sean el principal mecanismo de contaminación ambiental en la región, localizado puntualmente en los asentamientos de tipo extractivo, que vienen cargadas en forma incidente con ácido sulfúrico y sulfatos, con un pH que oscila alrededor de tres.

Los desechos mineros, consistentes en desmontes, portando cantidades variables de compuestos, al ser depositados en forma libre y abierta en las márgenes de los ríos se someten a procesos de lixiviación, siendo uno de los factores de mayor incidencia en las cargas contaminantes, al mismo tiempo que su control es prácticamente inviable, por la carencia de sistemas planificados con este propósito.

En forma general el agua orienta los asentamientos mineros, por los requerimientos de este insumo para la explotación, sin embargo no existen criterios básicos sobre una gestión adecuada de este recurso, la reutilización de aguas residuales se aplican a los procesos metalúrgicos, incorporando efectos adicionales que en el resultado final imposibilita o dificulta lo que en una práctica racional debería constituir el tratamiento de estos afluentes.

En este caso, particula de los ingenios cuyo asentamiento se hace extensivo a la cordillera Oriental, la problemática de contaminación es resultado de la falta de eliminación de contaminantes que son expulsados o vertidos en la concentración resultante de su utilización en los procesos.

En este contexto del origen de la contaminación cuyos efectos no se sitúan exclusivamente a la operación de estos centros, sino tienen efectos residuales que subsisten más allá del periodo de explotación a que son sometidos, y al mismo tiempo la contaminación en la región por su vertido a las corrientes de agua.

6.3 Situacion de los Cuerpos de Agua en la Zona de Estudio

6.3.1 Rios de la cuenca del lago Poopo

Se ha podido identificar tres zonas con diferentes características de influencia minera y ambiental pudiendo, considerando la presencia de metales pesados se pueden identificar tres zonas:

ZONA Pb/ As: Donde se tienen 6 rios, entre los que se pueden mencionar Puente español, Puente Toledo y Lakajahuira.

ZONA Pb/ Cd: 1 rio Marquez

ZONA Pb/ Cd /As: 5 rios, Juchusuma, Tacagua, Pazna

En todas los cuerpos de agua estudiados los elementos contaminantes están por encima de los límites permisibles (Tabla 16).

TABLA 16 : Caracterización de los ríos de la cuenca del Lago Poopó

Nº	Cuerpo de agua	Elementos clásicos	Metales pesados
1	Río San Juan de Sora Sora	Calcio-Sulfato	Cadmio-Plomo-Arsénico-Hierro-Zinc
2	Río Poopó	Sodio-Sulfato	Cadmio-Plomo-Arsénico
3	Río Pazña	Sodio-Sulfato	Cadmio-Arsénico-Zinc
4	Río Huancane	-----	-----
5	Río Juchusuma	Sodio	Cadmio-Plomo-Arsénico
6	Río Tacagua	Sodio	Cadmio-Plomo-Arsénico
7	Vertiente Huari (río Huaya Pajchi)	-----	-----
8	Lago Poopó	Sodio-Calcio-Magnesio-Sulfato-Cloruro	Cadmio-Plomo-Arsénico
9	Río Cortadera	Sodio	Cadmio-Plomo-Arsénico
10	Río Sevaruyo	-----	-----
11	Río Márquez	-----	Cadmio-Plomo
12	Río Lacajahuira	Sodio-Magnesio-Sulfato-Cloruro	Plomo-Arsénico
13	Río Caquiza	Sodio-Cloruro	Cadmio-Plomo (época seca)
14	Chuquiña	Sodio-Cloruro	Plomo-Arsénico
15	Puente Toledo	Sodio-Cloruro	Plomo-Arsénico
16	Río Caracilla	Sodio-Cloruro	Plomo-Arsénico
17	Puente Español	Sodio-Cloruro	Plomo-Arsénico
19	Lago Uru-Uru (norte)	Cloruro	Plomo (época lluvia)-Arsénico

6.3.2 Aguas superficiales con impacto minero: (caso de estudio triangulo Poopo-Antequera-Pazña)

De las cuatro campañas que se llevaron a cabo durante el 2007, se han podido determinar los parámetros hidrogeoquímicos de puntos específicos de donde se ha podido identificar a las subcuencas Poopo/Antequera/Pazña, como las subcuencas donde se puede realizar el seguimiento del flujo de contaminantes provenientes de efluentes de minas DAR y DAM. Se puede mencionar de manera específica que los diagramas de Stiff de la cabecera de la cuenca (río Chapana) es característico de cuerpos de agua con muy poca influencia antropico/minero en las tres subcuencas; por otro lado, los diagramas de Stiff de Dique Bolivar, Totoral, Avicaya, y puente de Pazña, tienen parámetros parecidos que no cambian a medida que se acerca el punto de integración a la salida de la subcuenca; en cambio, la microcuenca de Urmiri presenta otro tipo de diagrama de Stiff que infiere una zona con presencia de aguas termales que no influye por dilución, neutralización y otros mecanismos las concentraciones de los elementos y sustancias de las aguas provenientes del cañadon Antequera con fuerte actividad minera de diferente intensidad. Si bien no se muestra una clasificación completa de los cuerpos de agua estudiados en el triangulo los parámetros mas importantes están establecidos para la segunda etapa del proyecto.

6.3.3 Aguas Subsuperficiales: (pozos)

En toda la cuenca se tiene una distribución integrable para realizar la modelización, se han realizado muestreos cada 3 meses (Septiembre y Diciembre 2007) en estos muestreos se identificó los pozos con altas concentraciones de arsénico (Toledo, Condo K, Quillacas, Kulliri, Tolaloma, Andamarca, Avaroa, Caraynacha, Llapallapani, Pazña y Totoral) en rangos desde 250-20 µg/L. Es prioridad a partir de estos resultados correlacionar la presencia de arsénico con bicarbonato y otras pruebas para evaluar la influencia geológica sobre estos pozos también se ha determinado la presencia de otros metales pesados (cadmio, zinc, cobre y plomo), comportamiento que debe evaluarse estacionalmente para poder determinar el origen y vías de ingreso a las fuentes de agua. De todos los pozos de la red de monitoreo el 85% de los pozos presentan de mediana a alta salinidad y 75% presentan concentraciones bajas de sodio. En su mayoría el agua de estos pozos es destinado al consumo humano y no se utiliza otras fuentes de agua potable especialmente en la zona árida de la cuenca donde el déficit de agua es más intenso.

6.3.4 Aguas Subterráneas: (acuiferos)

Son muy pocos los pozos profundos en la cuenca entre los que podemos indicar, los pozos de Llapallapani y el Challapata, se realizó una clasificación según el diagrama de Wilcox en ambos casos y el pozo de Llapallapani es el único que presenta baja salinidad y baja concentración de sodio en ambas épocas, el pozo de Challapata abarca a uno de los mayores centros poblados de la cuenca y tiene una profundidad superior a los 30 m, funciona con bomba eléctrica y provee de agua a 1/3 de esta población, muestra media salinidad y baja concentración de sodio; en relación a arsénico, cadmio, zinc, cobre las concentraciones son bajas, al límite cuantificable.

La red de distribución de Challapata es una muestra de la calidad de agua de los tanques de distribución de agua de la región, donde queda pendiente un examen exhaustivo desde el punto de vista de salud sobre la aplicación de los límites establecidos recomendables para zonas áridas y semiáridas.

Llapallapani es un pozo surgente que presenta condiciones aptas para el consumo y para la cría de peces, pero que paradójicamente no se utiliza para ninguno de los dos fines, por lo cual se deben plantear ideas en el municipio para su gestión, este caso también es representativo en la cuenca donde estos recursos son desgastados en la agricultura y construcción.

6.3.5 Sedimentos

En base al Diagnóstico Hidroquímico de la Red de trabajo de CAMINAR-ASDI se ha establecido que en el lago Uru Uru existe contaminación con arsénico (encima de los límites permisibles), no hay contaminación con hierro pero sus concentraciones son mayores que en las aguas superficiales. Hay contaminación con plomo, cadmio y arsénico en la región minera, es decir al noreste de la cuenca. Comportamiento que se replica con la contaminación con arsénico (incluidos sus afluentes).

Hay contaminación con plomo en el lago Poopó y sobre todo en los sedimentos de los afluentes de la región minera (noreste), hay también contaminación con cadmio en los sedimentos del lago Poopó y sus afluentes, además se presenta contaminación con zinc en el río Poopó y en el lago Poopó.

6.3.6 Áreas de impacto por contaminación de metales pesados

El área de mayor impacto en el Lago Poopó es indudablemente la parte Noreste que recibe afluentes provenientes de las zonas mineras.

a) Metales de riesgo

Los metales de riesgo son en primer lugar el arsénico, en toda la zona estudiada, el cadmio, el plomo, el antimonio y el zinc se encuentran en concentraciones elevadas – a veces encima de los límites permisibles para agua potable – a nivel local en algunos lugares.

Zonas de alto riesgo: concentraciones altas de metales pesados:

- Las zonas de riesgo es la parte Noreste del lago Poopo por la influencia de minas activas y/o pasivos ambientales de la minería.
- Son sumideros importantes para los metales pesados que se acumulan en sus sedimentos.
- Toda la zona estudiada muestra muy altas concentraciones de arsénico en los cuerpos de agua

Los aportes de metales de origen natural hacia los lagos provienen del río Desaguadero desde el norte, y los afluentes del sur hacia el lago Poopó, entre ellos el río Márquez. Las fuentes naturales del arsénico son las vulcanitas del mioceno en la cuenca del río Mauri y las vulcanitas del mioceno tardío/pleistoceno en las cuencas de los ríos Márquez y Sevaruyo (PPO 1996). Las fuentes naturales del plomo son: las vulcanitas y mineralizaciones asociadas de la caldera de soledad al norte del lago Uru Uru.

Las fuentes antropogénicas de metales son las actividades mineras en el norte del lago Uru Uru y el Noreste del lago Poopó y el procesamiento de minerales en la fundición de Vinto.

Se detectaron las siguientes limitaciones para el uso del agua:

- Salinidad: restringe el uso como agua potable y brevedero para animales (límite 1g/l de sales), agua de riego (puede llevar a la salinización del suelo).
- pH: en algunos casos el pH sube encima de nueve, lo que restringe el uso del agua para el consumo.
- Contaminación orgánica: en todas las muestras se encontraron valores de DQO encima del límite permisible para agua potable y aguas de la clase A.
- Contaminación con metales: en la mayoría de los casos por lo menos uno de los metales se encuentra por encima de los límites permisibles establecidos para agua potable.

b) Los riesgos de los metales pesados en los ecosistemas acuáticos y la salud

Los principales riesgos por contaminación con metales pesados para la conservación de los ecosistemas y para la salud humana pueden resumirse en:

- Impactos directos en las comunidades acuáticas.
- Impactos directos en la salud humana por el uso del recurso agua como agua potable y por uso alimenticio de ciertos recursos acuáticos (peces y aves).
- Impactos directos en la salud del ganado por el uso de plantas acuáticas (totora, llachu) como forraje y por esta vía impactos indirectos en la salud del hombre.
- Impactos indirectos en la salud humana por el uso del agua contaminada en el riego de productos agrícolas.

c) Riesgos para el ecosistema

El contenido de metales pesados en los cuerpos de agua se encuentra en general sobre los límites permisibles establecidos para la protección de la biocenosis acuáticas y sobre los límites para aguas con pesca, porque muchos animales acuáticos reaccionan de forma sumamente sensible frente a una contaminación con metales. Como parte de las contaminaciones con metales pesados se debe a fuentes naturales, se puede asumir que la flora y fauna de esta región ha desarrollado ciertas adaptaciones frente a una intoxicación con estos elementos, especialmente arsénico que es muy distribuido en la zona altiplánica.

Régimen hidroquímico y contaminación natural.

La regulación hidroquímica del sistema hídrico es un factor importante de ser considerado en la evaluación, dada la condición de sistemas cerrados que estos tienen, lo que supone que el régimen hidroquímico caracteriza la naturaleza y aptitudes de los cuerpos de aguas y corresponde a un factor explicativo sobre la problemática ambiental existente.

Son pocos los estudios que se disponen sobre este particular, los existentes se refieren principalmente al lago Poopó, que se constituye en el principal referente de evaluación.

La circulación de sales disueltas a través del lago Poopó está regulada por los aportes fluviales, en Desaguadero es alimentado por el río Mauri y en menor proporción por el río Márquez, y las pérdidas por infiltración y por sedimentación biogeoquímica.

La composición química de las aguas lacustres y de las aguas fluviales ha sido determinada para el período 1976-77 por Quintanilla y comprende las siguientes características de los equilibrios dinámicos de las diferentes sales disueltas:

- Los iones Na^+ y Cl^- son eliminados por infiltración. Por el contrario casi todos los aportes en sílice disuelta y en carbonatos sedimentan en el mismo medio (respectivamente 99% y 94%),
- Las sedimentaciones de Ca^{+2} , Mg^{+2} y SO_4^{-2} son igualmente importantes;
- Como las reservas en sales del lago son débiles, la renovación anual de los elementos disueltos es bastante elevada, especialmente para los que sedimentan en parte en el lago. Así el tiempo de residencia de Na^+ y Cl^- es de 26,5 años, el de sílice disuelta de una semana.

Estas condiciones hacen que el lago Poopó sea un medio muy inestable, debido a la gran variación del volumen de agua, se produce también una variación en la concentración; por esto éste medio lacustre es apto únicamente para aquellas especies con gran capacidad de adaptación.

El régimen hidroquímico establece la susceptibilidad de variaciones que son afectadas por procesos de contaminación natural propias de la zona, estas han sido parcialmente consideradas en la Cuenca del Lago Poopó, no existen estudios relacionados a la Cuenca del Salar de Coipasa.

La contaminación natural ha sido establecida, por tres elementos de interés:

- a) La salinización, cuya relación principal se ubica en la región final del río Desaguadero - Lago Poopó, que presenta los siguientes valores críticos:
- b) Salinidad, total de sólidos disueltos, TDS; los valores de este parámetro van incrementándose del Norte al Sur de la Cuenca, en el lago Poopó alcanza valores máximos de 25 a 40 g/l, en la primavera, que tiene sus máximas concentraciones.
- c) Alcalinidad total; hay un ascenso periódico en las concentraciones de éste parámetro del Norte (Desaguadero), con valores entre 90 a 200 mg/l; hacia el sur de la cuenca (lago Poopó), con valores del orden de 400 a 600 mg/l.
- d) Ión sodio; en el lago Poopó, la concentración del ión sodio es 10 veces mayor que en el río Desaguadero, y con un aumento progresivo, en época de primavera, donde alcanza sus mayores concentraciones, en promedio tiene desde 4,11 a 30 g/l, notándose una ligera disminución a la salida del lago (río Lacajahuira).
- e) Ión cloruro; tiene un comportamiento similar al ión sodio, con un aumento gradual del norte al sur, alcanzando en primavera sus máximas concentraciones, 20 g/l, notándose también una disminución constante de éste elemento a la salida del Poopó, en el río Lacajahuira, debido posiblemente a una sedimentación en el lago, sus concentraciones varían en función del tiempo desde 7 hasta 18 g/l.
- f) Ión sulfato, tiene una concentración 10 veces mayor en el lago Poopó que en los puntos de muestreo en el río Desaguadero, alcanzando en primavera y verano sus máximas concentraciones, de 8 a 19 g/l, evoluciona desde 2 a 6 g/l en su composición media.

La contaminación natural establecida ha sido demostrada por efecto de afluentes salinos, en la región media del Desaguadero, en la zona posterior al vertido de aguas del río Mauri, aguas abajo, donde se presentan arenales, salitrales y vetas salinas importantes.

- También se puede notar en la evolución general del sistema una concentración muy fuerte en la región del Poopó, con valores superiores a límites permisibles en los siguientes iones: calcio, magnesio, potasio y boratos.
- Contaminaciones por arsénico, este elemento se encontró desde Eucaliptus hacia el sur de la cuenca en el subsuelo, en yacimientos naturales y debido a la salinidad de las aguas y al nivel freático muy variable; este elemento es lixiviado hacia las aguas superficiales de la cuenca. En todos los puntos de muestreo sus concentraciones son elevadas, de 0,6 a 0,8 mg/l, que hace que no sea apta para ningún consumo.

6.3.7 Contaminación antrópica

Las fuentes de contaminación antrópica de los ríos de la región pueden ser identificadas por dos causas principales;

- Contaminación derivada de las actividades minero - metalúrgicas, constituyéndose esta en la principal fuente de deterioro ambiental.
- Contaminación por efecto de asentamientos urbanos y actividades inherentes no industriales.

6.3.8 Contaminación del lago Poopó

Bajo estas características, el lago Poopó se encuentra sometido a procesos de contaminación combinados, por una parte una contaminación de origen natural, que deviene de su propia naturaleza, por otra la contaminación por aguas residuales de actividades minero – metalúrgicas, ubicadas en la zona (fig 10).

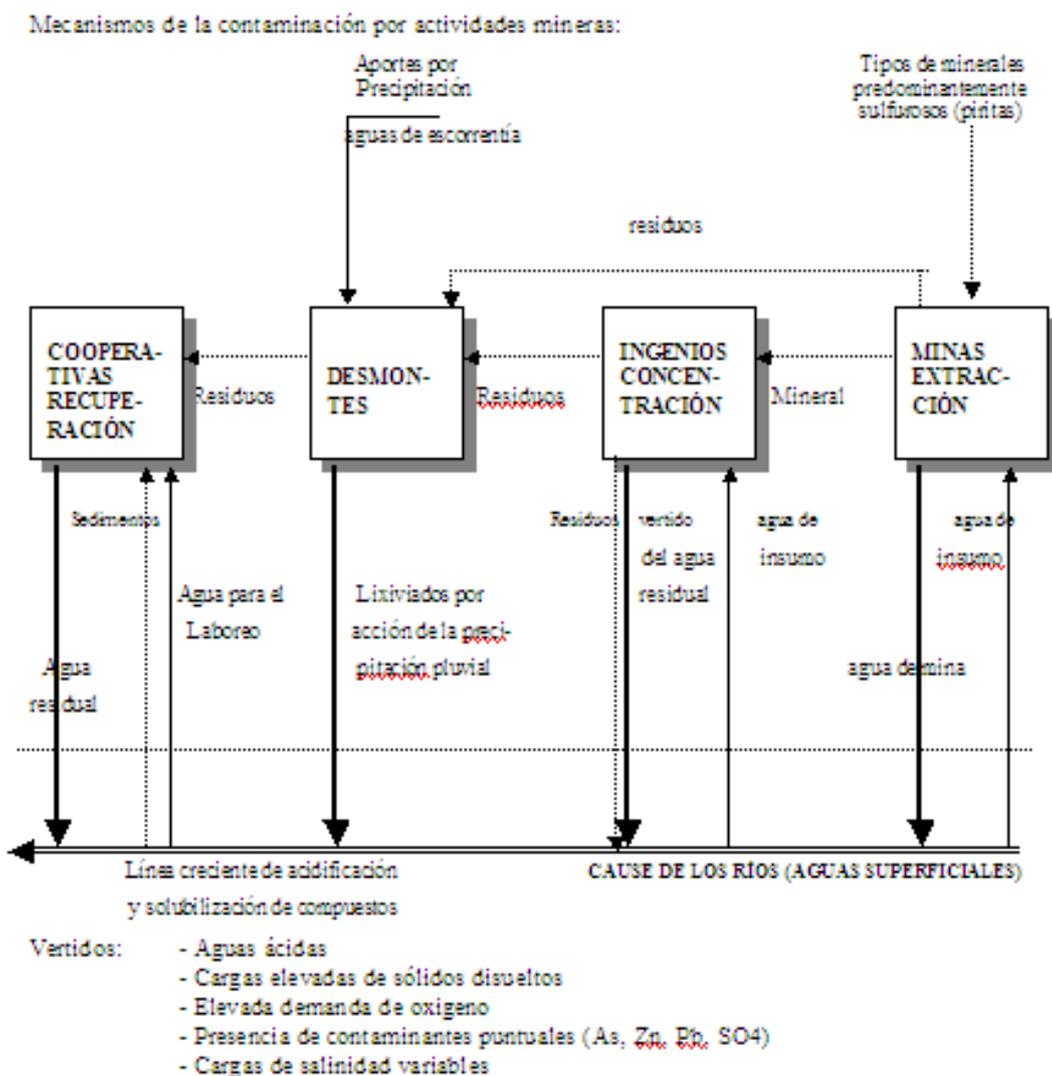
La contaminación de origen natural proviene de la concentración de compuestos que son: por procesos naturales transportados por medio de los afluentes hacia el lago. El río Desaguadero, principal afluente deposita sus aguas en el lago Uru Uru, pasando luego al lago Poopó y aporta una importante cantidad de sales disueltas, que corresponde principalmente a cloruros (cloruro de sodio, sal común) sulfatos y sílice. Otro afluente importante es el río Márquez al sud del lago, aporta contenidos importantes de sílice y proporcionalmente concentraciones menores de otros contaminantes. Estos compuestos depositados finalmente al lago, se someten a diferentes procesos, perdidas por infiltración y precipitación y una permanencia en forma disuelta, que corresponde a un tiempo de residencia de 16,5 años para los sulfatos, 26,6 años para los cloruros, para la sílice una semana.

En consecuencia siendo elevada la tasa de renovación de las aguas y con tiempos de residencia moderados, y la concentración depositada de contaminantes salinos corresponden a tiempos de residencia elevados, el proceso natural corresponde a la concentración salina, principalmente de sal común, lo que hace que el lago Poopó sea un medio inestable, debido a las fuertes variaciones del volumen de aguas, que se refleja en variaciones importantes en la concentración de la salinidad, lo que hace desde el punto de vista biológico que este medio lacustre sea específico para el desarrollo de especies de mayor capacidad de adaptación frente al lago Titicaca.

En este contexto, la contaminación por las actividades minero – metalúrgicas se desarrolla como parte de un proceso, que estructura el espacio regional de manera que se concentra la población del altiplano central en la cordillera oriental, en la que se encuentran prácticamente la totalidad de los asentamientos mineros, como las regiones del Centro Mínero Huanuni, Cañadón Antequera, Poopó y otras, en las que se ubica la actividad minera extractiva y de procesamiento primario (ingenios), que se abastecen de agua de insumo de los ríos que bajan de la cordillera y vierten sus residuos en los afluentes a la cuenca del lago Poopó.

En estas condiciones, de contaminación natural y antrópica los resultados son alarmantes, se evidencia el riesgo inminente de deteriorar irreversiblemente el lago Poopó y de dañar sus riquezas piscícolas, en los sedimentos extraídos de los límites de lago las concentraciones de plomo se encuentran entre 0,06 a 0,71 ppm, el Cobalto entre 0,06 a 0,45 ppm, el níquel entre 0,03 a 0,59 y el zinc entre 0,07 a 17 ppm. Frente a límites recomendados del orden de las diez milésimas en todos los casos, estos metales han sido también detectados en los peces del lago con valores de 3,08 a 5,93 ppm de plomo, 1,65 a 3,81 ppm de cobre, de 0,57 a 1,14 ppm de cobalto, de 0,65 a 2,72 de níquel y de 50 a 101,9 de zinc (MIN B.S., 1987).

Figura 10 : Caracterización de la contaminación minera en la región del Altiplano central



Fuente: Ing. MSc. Felipe Coronado

6.4 Problemas de Gestion del Recurso Hidrico y Ambientales

A pesar de las difíciles condiciones climáticas que conlleva su elevada altitud, la región ha sido objeto de una fuerte explotación de sus suelos y recursos biológicos desde hace varios milenios, gracias a la existencia de grandes extensiones de tierras planas y de recursos hídricos de gran importancia.

Como consecuencia de la gran presión ejercida sobre sus recursos naturales, se ha producido una sobreexplotación de sus suelos y una degradación generalizada de sus recursos biológicos, con excepción de algunas áreas de muy difíciles condiciones, donde han logrado sobrevivir restos de la flora y faunas nativas. Resultado de ello son la deforestación, la erosión de extensas superficies, la alta carga de sedimentos en los ríos, la salinización de los suelos, la colmatación de depresiones lacustres y el fuerte desequilibrio de las cuencas, manifestado en inundaciones y estiajes intensos. Al anterior espectro es necesario agregar la contaminación química de las aguas de algunos ríos y lagos, generada por la minería sin control y las fundiciones de los metales explotados, destinados al comercio internacional, así como la contaminación orgánica ocasionada por los crecientes centros urbanos.

La pobreza generalizada del área, las carencias de la población en servicios básicos y oportunidades de mejoramiento, el aislamiento geográfico y las condiciones económicas, permite prever un aumento de la presión productiva sobre los ecosistemas y recursos naturales del área en el futuro inmediato, como

la salida a esta situación. En este proceso, la problemática ambiental puede pasar a un segundo plano, a pesar que ella está en el origen mismo de la problemática.

Las causas del estado de la problemática ambiental, se establecen en:

- La sobreexplotación de las tierras del sistema y la excesiva carga por hectárea en las praderas, especialmente de ganado introducido (ovino y vacuno), la cual produce un desgaste energético y un degeneramiento progresivo de las praderas, lo que se manifiesta en una disminución de la biomasa y de la capacidad de carga natural. Como resultado, los animales alcanzan bajo peso y tamaño corporal y bajos niveles de producción de carne y leche.
- Quemadas de las formaciones arbustivas (tolares), su uso para leña y aprovechamiento de los bosques de queñoa para leña y construcción.
- Mal uso del suelo en las áreas agrícolas, manifestado en técnicas rudimentarias de manejo, inadecuado uso de agroquímicos (cuando se usan) y otras que han generado bajas productividades y falta de recursos para su mejoramiento y conservación.
- La minería es, en los sectores donde se práctica, el principal factor de degradación ambiental. Las aguas ácidas de mina, los desmontes y colas dispuestos en forma indiscriminada en distintos sectores de las zonas mineras y los efluentes de las plantas de concentración que emplean métodos de flotación, son las principales fuentes de metales en solución, así como de otras sustancias empleadas en el procesamiento de minerales, tales como cianuros y xantatos, de alta toxicidad para la fauna y la flora acuáticas. La minería a cielo abierto, al remover y dejar al descubierto terrenos volcánicos ricos en sales minerales que son arrastradas por el agua de lluvia, contribuye también de manera significativa a la salinización del Desaguadero y de los lagos Poopó y Uru Uru.
- La remoción y trituración de los minerales polimetálicos es también la principal fuente artificial de contaminación del aire por partículas en suspensión (polvo), la cual es favorecida por el carácter semiárido del clima y los vientos fuertes, especialmente en la zona de Oruro. No obstante, el mayor impacto sobre el aire en las zonas mineras es producido por las instalaciones de la fundición de metales, las cuales emiten grandes volúmenes de dióxido de azufre y polvo de arsénico y plomo, cuyos efectos sobre la salud de la población pueden ser muy perniciosos.
- La cuenca del TDPS se caracteriza por una superposición de sistemas culturales y económicos, en que una amplia economía agraria de subsistencia convive con sectores productivos modernos. En este contexto, los recursos naturales han sufrido un impacto diferencial, aunque en todos los casos su consumo y sus pérdidas de productividad originadas en las actividades productivas no se incorporan a los costos de producción.
- En relación con esta superposición de sistemas culturales, se ha producido una desestructuración y una pérdida de valores de la población, tanto rural como urbana inmigrante, a causa de los desarraigos culturales y de las deficiencias del sistema educativo, por lo general basado en experiencias ajenas a la realidad del altiplano.
- En términos generales, el marco jurídico vigente presenta problemas de dispersión y ambigüedad. Además se podría añadir el carácter eminentemente sectorial de la normatividad, por cuanto su objeto principal es el desarrollo económico del sector y, secundariamente, la conservación ambiental.
- Existe una falta de control administrativo ambiental sobre los aprovechamientos de recursos naturales renovables y no renovables. Esta situación está relacionada especialmente con la falta de recursos económicos suficientes para la vigilancia y el control, pero también con deficiencias en el sistema de administración pública, de manera especial en lo que tiene que ver con las responsabilidades de las autoridades y comunidades locales.

Los principales efectos ambientales de la explotación de los recursos naturales de la cuenca se puede resumir en:

- a. Degradación de los suelos de la cuenca, que se manifiesta por:
 - Erosión: el 67,5% de las tierras están afectadas por procesos de erosión de intensidades moderadas a muy severa. De éstas, 39.377 Km² (el 29,9% de los terrenos de la cuenca,

-
- TDPS) presentan procesos de intensidades severa y muy severa.
- Salinización: unos 3.449 Km², correspondientes al 2,4% de los terrenos de la cuenca, han sido clasificadas como tierras salinas.
 - Pérdida de productividad de los suelos: ligada al bajo nivel tecnológico de la agricultura.
- b. Degradación de los recursos hídricos, debido a:
- Contaminación orgánica y bacteriológica, generada por el vertido de aguas negras de los centros urbanos del sistema. Aunque este no es un problema generalizado existen problemas locales cuya gravedad justifica la aplicación de medidas de control y recuperación, como el caso del Lago Uru Uru.
 - Contaminación química causada por la minería y la industria metalúrgica, en particular en los lagos Poopó y Uru Uru y en el curso inferior del río Desaguadero, los cuales presentan altas concentraciones de metales pesados. Entre estos metales, el cadmio, el plomo, el níquel, el cobalto, el cromo, el estaño y el arsénico se encuentran en concentraciones por encima de los límites permisibles para el consumo humano en los lagos Poopó y Uru Uru.
 - De otro lado, las condiciones naturales de la cuenca hacen que ciertos cuerpos de agua presenten altos niveles de salinidad, como es el caso del río Desaguadero aguas abajo de La Joya, donde la salinidad supera los 2 g/l, y del Lago Poopó, donde las concentraciones salinas pueden superar los 100 g/l.
- c. Degradación de los recursos biológicos, manifestada por:
- Degradación de las praderas naturales, manifestada en una decreciente productividad y en un empobrecimiento florístico.
 - Degradación de las formaciones leñosas, manifestada en el raleamiento o reducción de la densidad del tolar (21% de los tolares ralos) y en la baja superficie cubierta por las formaciones leñosas en la cuenca (2,3% en formaciones arbustivas y 0,7% en bosques).
 - Pérdida de áreas específicas tales como bofedales, áreas de vegetación acuática, especialmente de totorales (la superficie disminuyó de 59.132 has en 1970 a 40.056 en 1992), y zonas con restos arqueológicos a las cuales no se les da debida protección y mantenimiento.
 - Pérdida de biodiversidad y de reservas genéticas, por lo cual muchas especies de la flora andina otrora abundantes, hoy en día sólo quedan restos. Con respecto a la fauna hay por lo menos 5 especies en vías de extinción y 12 en situación vulnerable.
 - Amenaza de degradación de las áreas silvestres remanentes.
 - Degradación natural de los productos pecuarios y pesqueros, la cual afecta en particular a la carne de pescado, especialmente del extraído de los lados del sur de la cuenca (Poopó y Uru Uru), la cual muestra altos contenidos de metales pesados, en concentraciones que podrían ser perjudiciales para la salud humana.
- d. Degradación del espacio regional, manifestado en:
- Pobreza del paisaje vegetal y degradación del paisaje rural por los fenómenos de erosión, disminución de la productividad de los suelos y otros mencionados.
 - Ríos y fuentes de agua contaminados, lo que limita su aprovechamiento para otros usos (consumo humano, riego, pesco, etc.).
 - Deterioro del paisaje y contaminación del suelo y el agua por la inadecuada disposición de los residuos sólidos de los centros urbanos y mineros, estando la capacidad de utilización y desvalorización de dichas áreas. Sequías e inundaciones frecuentes, las cuales han constituido dos de los problemas hídricos de mayor impacto social y económico en la región del TDPS. Existen registros de por lo menos 12 grandes sequías y 10 inundaciones. Estos fenómenos están ligados a los regímenes naturales de lluvias y caudales, pero en una buena parte de ellas se deben a los desequilibrios de la cuenca generados en su mal uso y a la inadecuada localización de las actividades e infraestructura productiva.
 - Desequilibrio entre la demanda y la oferta de recursos hídricos para el desarrollo futuro de la cuenca, ocasionados por la alta irregularidad y los problemas de salinidad del agua que exigen la construcción de obras de regulación en algunos afluentes, selección y priorización de los proyectos de aprovechamiento.
-

- Como consecuencia de lo anterior, pobreza generalizada, manifestada en mala calidad de la vivienda, desnutrición, altos índices de morbilidad, altas tasas de analfabetismo rural y desarraigo creciente a las actividades rurales, en especial por parte de la población joven.

6.4.1 La problemática ambiental en el contexto de estudio

La problemática ambiental relacionada a los recursos hídricos de la región, puede ser categorizada en cuatro grupos de problemas existentes:

a. Los eventos extremos

Que comprenden principalmente los problemas derivados de los períodos de sequías e inundaciones, como efecto de causas climatológicas en la región.

b. La contaminación natural

Por efecto de los procesos naturales de sedimentación y mineralización en los ríos y lagos.

c. La contaminación antrópica

Derivados de asentamientos urbanos e industriales producto de la actividad de la población.

d. Problemas de gestión de recursos hídricos.

Producto del uso de los ríos y lagos y su manejo.

e. Contingencias ambientales.

Respecto de problemas accidentales de impacto ambiental.

Sumariamente, se presenta la evaluación de la problemática, como marco de referencia, para establecer una relación situacional de los mismos, orientada al diagnóstico.

Eventos extremos

Los eventos más críticos que se presentan en la región corresponden a los períodos de sequía, que afectan el régimen hídrico, principalmente por la carencia de aportes a la subcuenca del Lago Poopó, estos en forma general han tenido un orden regular en la etapa precedente, sin embargo se considera que como resultado del "Fenómeno del Niño", ocurrido en 1983, que se produjo a nivel mundial y principalmente en América Latina un cambio radical en el clima de esta región, causando en algunas áreas inundaciones y sequías de consideración, que en este año en el área andina se registró una de las sequías más agudas, al no haber caído ni 1 mm de precipitación en el período de un año, 1.983.

De la observación de la serie histórica de niveles medios mensuales de agua en el lago Poopó, así como de la serie de precipitación anual promedio, 1960-1990, sobre el altiplano, se puede deducir que los períodos más secos (escasez de lluvias) fueron los años 1943, 1982-83 y 1990. Como resultado, se ha estimado las sequías que:

- La probabilidad de ocurrencia (en los próximos 50 años) de una sequía igual o mayor que la máxima sequía histórica con registros (1943) es de 5%.
- La probabilidad de ocurrencia (en los próximos 50 años) de una sequía igual o mayor que la sequía de 1982-83 es de 10%.
- La probabilidad de ocurrencia (en los próximos 50 años) de una sequía igual o mayor que la sequía de 1990 es de 15%.

En forma general, la incidencia directa de los períodos de sequía en el altiplano central tienen una relación directa con los niveles alcanzados por el lago Poopó, se establece que los recursos hidrobiológicos del lago Poopó son muy dependientes de los niveles que éste llega a alcanzar naturalmente. Así en los últimos catorce años, de 1979 a 1993, el lago Poopó llegó a niveles extraordinariamente altos, en particular entre 1987 y 1991, como resultado de una secuencia de años húmedos en la cuenca, los cuales no son representativos en el conjunto de los niveles de los pasados 70 años, como se observa en la Figura correspondiente. Se debe señalar que entre 1939 y 1943 los niveles alcanzados en el lago fueron muy bajos.

Las inundaciones, si bien afectan a la región, tienen una mayor incidencia en el altiplano norte donde tienen una ocurrencia reciente. En la segunda mitad de la década de los ochenta varios años

consecutivos de fuertes lluvias produjeron un fuerte aumento de los aportes al lago Titicaca, cuyo nivel fue ascendiendo progresivamente anegando decenas de miles de hectáreas de las zonas ribereñas. Este fenómeno que tuvo su máxima expresión en el período 1986-87, trajo consigo asimismo un gran aumento de las descargas por el río Desaguadero, que al verse incrementadas con los aportes de sus afluentes originaron graves inundaciones a lo largo de su curso y, en especial, en su tramo inferior, lagos Uru-Uru y Poopó, poniendo en peligro incluso a la ciudad de Oruro.

Las dos causas de las inundaciones corresponden:

- Los desbordamientos de los ríos debido a que los caudales de avenida superan la capacidad del cauce.
- La anegación de tierras ribereñas por la subida del espejo de los lagos, considerando principalmente la poca pendiente de los terrenos circundantes.

6.4.2 Problemas de gestión de recursos hídricos

La gestión de los recursos hídricos comprende los principales usos y demandas del agua, los que se identifican en: agua potable, riego, consumo industrial y posibles trasvases, además la dedicación de este recurso para la actividad piscícola y las demandas del ecosistema.

- El agua del río Desaguadero y los lagos Poopó y Uru Uru, ha sido descrita como poco apta para el consumo humano, en razón del estado de contaminación y su carácter salobre; sin embargo resulta ser en muchos casos la única fuente disponible localmente para este efecto, esta demanda es reducida y no significa un consumo importante. No existe registrada ninguna fuente de aprovisionamiento de agua potable de estos cuerpos de agua a poblaciones.
- El uso del agua en actividades de riego, es la mayor y más importante demanda para actividades productivas, en la cuenca del Lago Poopó, se registran los sistemas de riego establecidos por la Tabla 17

De la demanda total, que comprende un área de 29476.5 Has, El Choro representa el 54.31% y la demanda atendida es de 36.67%, de la cual el 34% comprende al sistema de riego del El Choro (Desaguadero/Lago). Estas relaciones muestran el carácter deficitario que se tiene en la disponibilidad y acceso del agua, donde se atiende apenas la tercera parte de lo demandado. Sin embargo, pese a ello, la dedicación del agua para sistemas de riego representa la mayor utilización del agua ofertada en el sistema.

- El consumo de agua en la cuenca dedicada a actividades industriales cubre principalmente el uso en minería, la principal demanda de agua en el río Desaguadero corresponde a las operaciones mineras de Inti Raymi S.A., en los afluentes que comprenden áreas mineras la demanda varía, no existe especificaciones sobre el uso de agua por esta aplicación.

TABLA 17 : Sistemas de riego en la cuenca del Lago Poopo

MICROCUCENCA	ÁREA AGRÍCOLA Has.		OBSERVACIONES
	Regable	Regada	
Río Sevaruyo	243.0	132.86	Familiar-micro
Río Cortadera	792.8	76.80	Familiar-pequeño
Río Condo	1068.0	135.90	Familiar-pequeño
Río Peñas	989.0	600.30	Pequeño-micro
Río Kamiri Huancane	424.7	131.60	Familiar-pequeño
Río Antequera	468.0	218.00	Pequeño-familiar
Río Umapirhua	150.0	0	Familiar
Río Poopó	72.0	27.80	Pequeño-micro
Río Irancani	112.0	29.30	Familiar
Río Desaguadero/ lago	16010.0	3678.00	Grande

Río Huanuni	1211.0	256.70	Familiar-micro
Río Caquiza	151.0	83.80	Familiar-micro
Río Khara Khara	164.0	57.00	Familiar-pequeño
Lagunas Janko Khota	94.0	4.00	Familiar
Río Tacagua	7527.3	5377.50	Pequeño-micro
TOTALES	29476.5	10809.56	

- En relación a la actividad piscícola y las demandas del ecosistema, se establece que los recursos hidrobiológicos del Lago Poopó son muy dependientes de los niveles que éste llega a alcanzar naturalmente. En el período de 1979 a 1993, el lago llegó a niveles extraordinariamente altos, en particular entre 1987 y 1991, como resultado de una secuencia de años húmedos en la cuenca, los cuales no son representativos en el conjunto de mediciones de los niveles de los últimos 70 años, como resultado el lago tuvo una producción pesquera alta, que permitieron en 1990, contribuir con el 40% de la producción pesquera de Bolivia. Sin embargo a partir de 1993 se reestablecieron los niveles normales y como consecuencia de los niveles de salinidad elevados, que sobrepasan los límites de tolerancia de las especies ícticas (pejerrey).

La fauna íctica está constituida por especies nativas, principalmente el género *Orestias* y *Trichomycterus* (*mauri* y *suches*) y especies exóticas (*trucha* y *pejerrey*). Desde hace 10 años, se ha ido observando la disminución de las especies nativas, algunas de las cuales se encuentran en una franca etapa de extinción y otras ya desaparecidas. Se ha identificado cualitativamente que los eventos extremos, particularmente los de los últimos años han afectado significativamente la distribución de la biomasa. En este contexto se ha presentado una discontinuidad en la actividad piscícola del lago, debido a que los peces prácticamente han desaparecido, recientemente se evidencia la presencia y el retorno de la actividad pesquera.

En cuanto a los recursos vegetales acuáticos, se han desarrollado más de 15 especies de macrófitas, planta de raíces acuáticas, que se caracterizan por su gran producción de biomasa. Estas especies, en muchos casos, son la base de la alimentación del ganado en las zonas circunlacustres, además de ser utilizadas en actividades domésticas (construcción, abono).

- En relación a la regulación, el ALT ha desarrollado a partir de 1993 un programa de regulación de la cuenca del TDPS, este programa no incluye el Lago Poopó y se limita en el sur al Lago Uru Uru; en la base de estos proyectos se ha buscado dotar de agua a las zonas áridas del Perú, mediante el trasvase hacia los departamentos peruanos de Arequipa y Tacna, dado la condición deficitaria de estas regiones respecto de sus recursos hídricos, aspecto justificado en el programa desarrollado, para ello se ha emprendido la regulación del nivel del Lago Titicaca, mediante un sistema de compuertas, las que han reducido el aporte de caudal al río Desaguadero y consiguientemente el aprovisionamiento del Lago Poopó.

El proyecto de desviación de aguas en la cuenca alta del río Mauri, ha restado agua fresca dulce al cauce de este río y consiguientemente ha modificado sus características y propiedades agudizando problemas de contaminación natural, además de reducir los caudales de aporte al río Desaguadero. No existe una evaluación sobre este tipo de proyectos respecto de su impacto en la cuenca baja, particularmente en el Lago Poopó.

6.4.3 Contingencias ambientales

La principal contingencia ambiental presentada en el contexto de estudio corresponde al derrame de petróleo producido el 30 de enero del 2002, en el oleoducto Huayñacota-Charaña-Arica, denominado OSSA II, operado por la empresa Transredes S.A., sucedido en el cruce del río Desaguadero en las proximidades de la comunidad de Calacoto, Provincia Pacajes del Departamento de La Paz.

La empresa ha reconocido un volumen estimado de derrame de 29000 barriles de petróleo reconstituido que ha afectado a la cuenca baja del río Desaguadero. El momento del derrame coincidió con condiciones de inundación, o sea flujo de banco lleno, durante el período de los niveles de agua

más altos correspondientes a la temporada de lluvias. El petróleo derramado fue depositado a lo largo de un total de aproximadamente 400 Km de riberas, lo cual incluye ambas riberas del río, ramificaciones del río, llanuras inundadas y canales de riego, así como varios centenares de hectáreas de llanuras de inundación bajas o pampas.

El primer reporte elaborado por la empresa ha establecido que no existen importantes impactos del derrame, debido a que se evidencia la pérdida del "60% de los hidrocarburos debido a la evaporación, volatilización y otros procesos de degradación" y que el "petróleo derramado no se acumuló en el lecho del río corriente abajo", además que "muestras de agua y sedimento recolectadas en áreas de los lagos Uru Uru y Poopó están libres de contaminación por hidrocarburos, lo que demuestra que el derrame de petróleo se limitó al sistema del río Desaguadero".

En base al marco regulatorio, la autoridad competente, el Viceministerio de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Desarrollo Forestal, estableció la aplicación de una Auditoría Ambiental de los factores agua, suelo, ecología, socioeconomía y de salud de toda el área afectada por el derrame.

La Auditoría Ambiental ha establecido que el derrame ha afectado un área que comprende 17 municipios: 7 ubicados al sur del Departamento de La Paz, en las provincias de Pacajes, Villarroel y Aroma, y 10 en el Departamento de Oruro, en las provincias Tomas Barrón, cercado, saucari, Sebastian Pagador, Dalence y Avaroa, las cuales incluye a la misma ciudad de Oruro. Esta área, en el Departamento de Oruro, incluye los municipios de Eucaliptus, Caracollo, Toledo, El Choro, Quillacas, Huari, Pazña, Poopó, Machacamarca y Challapata. La población de las comunidades afectadas asciende aproximadamente a 8000 familias y a un total de 17000 habitantes "estantes" y 3616 residentes; que se distribuyen en 120 comunidades.

En relación a los impactos socioambientales, la Auditoría Ambiental establece:

- Contaminación de superficies en las que el derrame se expandió físicamente. Estas corresponden en general al área de inundación anual de las riberas del río desaguadero y praderas inundables. Se inician a la altura de la comunidad de Calacoto, donde se produjo el derrame, y se expanden hasta el inicio del Lago Poopó (incluyen las riberas del lago Uru Uru).
- Contaminación y corte de funcionamiento de los sistemas de riego, producidos en áreas que se alejan de las riberas del río y se adentran en praderas a secano, tan lejos como los sistemas de riego y canalización llegan. Además de comunidades ribereñas, que cuentan con pequeños sistemas de riego empleados para cultivar sus áreas a secano, esta área incluye la zona del El Choro, totalmente dependiente de los sistemas de canalización para la vida y la producción.
- Sobre carga de praderas a secano, como efecto del no uso de praderas inundables expuestas al derrame o praderas forrajeras afectadas por corte de riego, y la consecuente prolongación del período de pastoreo en áreas a secano. El área afectada corresponde a los espacios comunales de praderas a secano y no irrigadas (todas las comunidades afectadas por contaminación de terrenos o por corte de riego).
- Disminución de precios y de oferta de productos provenientes del área afectada. El área así impactada comprende además de las comunidades incluidas en los impactos anteriores, las ferias a las que estas acuden.
- Incremento en la demanda y el número de casos atendidos por los centros de salud a los que acude la población de las comunidades afectadas.

En base a esta evaluación, la Auditoría Ambiental ha establecido la pertinencia de una compensación a las comunidades afectadas, esta integra la compensación inicial otorgada a las comunidades antes de la realización de la auditoría.

Para la identificación de impactos físicos y bióticos, la Auditoría Ambiental ha establecido un total de 17 puntos de muestreo en las zonas afectadas, y la realización de análisis de aguas y sedimentos, referidos a parámetros significativos para el propósito de la evaluación que comprenden Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH), Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos (PAH) y pruebas de toxicidad con indicadores biológicos. Los resultados en los análisis del aguas, en el momento del muestreo, establecen que las concentraciones de hidrocarburos muestreadas en el río Desaguadero, canales de riego y de los lagos, eran muy bajas; los valores de TPH y PAH se encuentran por debajo de los estándares internacionales para consumo humano; así como las pruebas de toxicidad sobre los

organismos de prueba han mostrado la existencia de una toxicidad sin relación con los contenidos de hidrocarburos en el agua. Además de ello se ha establecido la presencia de petróleo residual intemperizado que no representa riesgo ambiental. Respecto de las muestras de suelos y sedimentos, la Auditoría establece que se comprueba una toxicidad en las pruebas con indicadores biológicos asociada con sedimentos donde existía evidencia visual de petróleo. Por tanto, en base a esos datos es posible evidenciar la ocurrencia de algún impacto aunque de carácter limitado. Sin embargo, estos impactos no se traducen necesariamente en riesgos ecológicos.

Respecto de los impactos sobre la salud, la Auditoría establece: "Las consecuencias del derrame sobre los procesos que determinan la salud y la enfermedad en estas poblaciones, son múltiples, y dependen de los niveles de exposición y contacto que los organismos humanos y bióticos en general hayan tenido con elementos constituyentes del crudo derramado. En este caso, por el estudio realizado, se puede inferir una general aunque heterogénea exposición y contacto con los tóxicos, ya sea a través del aire en la fase inicial, del agua consumida directamente por hombres y animales, del agua utilizada en riego que puede llegar directamente al hombre cubriendo alguna variedad de alimento, o bien como parte de las afectaciones en los alimentos para humanos y animales provocados por las alteraciones bioquímicas y microbiológicas de los suelos productivos", añade "el hecho evidente de la contaminación del aire y del agua se ha expresado en efectos inmediatos directos en la salud con una sintomatología concordante con la exposición y el contacto a los hidrocarburos".

Respecto de los factores ambientales y ecológicos, la Auditoría expresa la falta de evidencia sobre impactos significativos en relación al ecosistemas y las comunidades ecológicas involucradas.

Como conclusión de la Auditoría Ambiental, se establecen impactos significativos socioeconómicos, productivos y a la salud, que han dado lugar al proceso de compensación económica a las comunidades afectadas, sin embargo existe poca relevancia respecto de los impactos de carácter ambiental principalmente sobre los lagos Poopó y Uru Uru.

7 RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES

7.1 Del Marco Normativo Nacional

La modificación del marco institucional, y la falta de un organismo rector de la política ambiental y de planificación sostenible en el Estado, originan que el marco legal en materia ambiental nuevamente se disperse; se dicten normas de diferentes niveles jerárquicos y se encuentren normas contradictorias entre sí. En este sentido se está volviendo al desorden de la economía jurídica en materia ambiental y a la situación caótica existente antes de 1992.

La fragmentación de las responsabilidades por el desarrollo de los recursos hídricos entre los organismos sectoriales está resultando ser un impedimento aun mayor para la promoción del manejo integral del agua de lo que se había previsto. Se requieren mecanismos de implementación y coordinación eficaces, se precisa una Ley de Aguas concordante con la realidad nacional y adecuada a la modernidad y el manejo del Estado.

El gobierno Nacional debe establecer políticas, leyes y marcos regulatorios para la gestión del agua, delegar la toma de decisiones y fomentar la entrega de servicios mejores por agencias autónomas del sector público y operadores del sector privado. Promover políticas y establecer las estructuras institucionales para manejar las cuencas hidrográficas y acuíferos, y superar los conflictos sobre la distribución del agua. Facilitar el desarrollo de prácticas económicas y financieras, incluyendo el costo total de servicios de suministro de agua con mecanismos adecuados para proteger los más pobres.

Con la ayuda de socios internacionales, establecer mecanismos para fortalecer la gestión integral de cuencas y promover los acuerdos transfronterizos que permiten la utilización equitativa de los recursos compartidos.

7.2 Evaluación Prospectiva de los Recursos Hídricos y su Problemática Ambiental

La mayor parte de la problemática derivada de la minería pequeña y privada, como de las cooperativas, está insuficientemente estudiada y documentada. Por lo general se ubica en zonas de menor influencia, marginales y presencia de problemas ambientales locales.

A fin de conocer el comportamiento de elementos mayores y metales pesados en los diferentes ecosistemas de la cuenca del lago Poopó y Uru-Uru, se recomienda iniciar estudios con mayor profundidad en parte de aguas subterráneas y biota.

Es prioridad realizar una regionalización de la cuenca del lago Poopó a fin de evaluar sus características ambientales, productivas, socio-demográficas y la problemática ambiental particular.

A nivel de política Nacional se deben iniciar obras de regulación que garanticen el caudal ecológico en todo el sistema Titicaca, Desaguadero, Poopó y salares (TDPS).

No se puede dejar fuera de este análisis el mejoramiento de los servicios básicos en las comunidades de la cuenca del lago Poopó a través de propuestas de fortalecimiento municipal que consideren además la evaluación de los sistemas de riego y la salinización de suelos.

Los ecosistemas acuáticos de los lagos Poopó y Uru-Uru están sujetos a una variabilidad climática que determina una inestabilidad muy drástica sobre las comunidades biológicas del medio. Esta situación, incluida la necesidad del recurso agua a lo largo del río Desaguadero para riego, además de los diferentes programas de trasvase de los países vecinos, han modificado enormemente el caudal natural que mantenía la permanencia de estos lagos.

Si se consideran estas variables más la contaminación minera con metales pesados a nivel de sedimentos, la diversidad biológica se ve seriamente afectada y por ende hay un potencial enorme de peligro para salud humana si consideramos el uso del recurso biológico, en especial explotación pesquera como es el caso del Pejerrey como una fuente alimenticia de las etnias de los Urus Muratos.

Los estudios y diferentes evaluaciones sobre la contaminación por metales pesados, expresados en acumulación en los diferentes niveles tróficos de éstos ecosistemas, han determinado resultados preocupantes, aspecto que debe ser considerado como alarmante tomando en cuenta que las autoridades regionales y organizaciones pesqueras pretenden recuperar las potencialidades piscícolas como un medio de mejorar las condiciones de vida de los pobladores y no contemplar los grandes peligros sobre la salud humana.

Salm y Gehler (1989) han encontrado bajas concentraciones de fosfato y nitrato, debido posiblemente a la pobreza de estos elementos en los suelos y al déficit pluviométrico, ya que la lluvia es el principal aporte de nitrógeno (Carmouze, et al., 1984), nuestro estudio también ha encontrado valores muy bajos de nutrientes (fosfato y nitrato) en los afluentes a los lagos Poopó y Uru Uru.

Sin excepción, todos los ríos drenan sus aguas de operaciones mineras al lago Poopó están químicamente contaminadas. Algunas afluentes presentan un pH ácido (alrededor de 3), metales pesados y arsénico (contaminante natural); en muchos casos sus valores están 10 a 100 veces por encima de los valores estándar aceptados en Canadá. Los mismos rangos se observan para el contenido de sólidos suspendidos.

La calidad de aguas superficiales de los afluentes a los lagos Poopó y Uru Uru es muy variada en parámetros clásicos y metales pesados, como se detalla a continuación:

- En los afluentes a los lagos Poopó y Uru Uru existen elevadas concentraciones de sodio, sulfato y cloruro, en cambio hay una disminución de los mismos en la salida (río Lacajahuira), probablemente debido a la precipitación y sedimentación.
- Los afluentes también presentan altos niveles de metales pesados de 0,5 µg/L de cadmio, 0,3 µg/L de plomo y 4,6 mg/L de arsénico, los cuales disminuyen en la salida del lago (río Lacajahuira), probablemente debido a la precipitación y sedimentación.
- Únicamente la vertiente Huari (río Huaya Pajchi) y río Huancane cuando tiene agua no presentan ningún elemento mayoritario ni metales pesados que se encuentren por encima de los límites permisibles para cualquier tipo de uso.

Por lo tanto, las aguas de los lagos Poopó y Uru Uru no son aptas para ningún uso y de sus afluentes solo se pueden usar para riego en el caso de los ríos Huancane y la vertiente Huari (río Huaya Pajchi) sin ninguna restricción, en cambio los otros afluentes se pueden usar para riego con restricciones dependiendo del tipo de sembradío y de la época.

Existe contaminación con plomo en el lago Poopó y sobre todo en los sedimentos de los afluentes de la región minera (noreste), hay también contaminación con cadmio en los sedimentos del lago Poopó y sus afluentes, además se presenta contaminación con zinc en el río Poopó y en el lago Poopó.

7.3 Regionalización de la Cuenca

En base a la zonificación de la problemática ambiental, elaborada como conclusión del diagnóstico situacional, a efecto de sistematizar la identificación de propuestas y el análisis de alternativas, se plantea la regionalización de la cuenca del lago Poopó, que incluye los resultados del diagnóstico referentes a:

- Competencias políticas, provinciales y municipales.
 - Ubicación, provincia
 - Municipio, características generales
- Caracterización ambiental.
 - Recursos naturales
 - Ecosistemas
 - Potencialidades
- Caracterización productiva.
 - Uso y tenencia de la tierra
 - Producción agropecuaria
 - Actividades productivas relevantes
- Caracterización sociodemográfico.
 - Población
 - Indicadores socioeconómicos
 - Poblaciones originarias
- Problemática ambiental.
 - Contaminación natural
 - Contaminación antrópica
 - Problemática relacionada

Aplicando estos criterios, se propone la regionalización establecida en la Figura 11, que identifica 5 regiones, la aplicación de los criterios establecidos, en el contexto Departamental, se presenta sumariamente en la Tabla 18

Figura 11 : Regionalización de la Cuenca del Lago Poopó



TABLA 18 : Características de las regiones

REGIÓN	Ubicación política	Características ambientales	Características productivas	Características sociodemográficas	Problemática ambiental
1	Provincias: - Cercado Municipios: - Caracollo - Sección capital	Zonas aptas para ganadería extensiva indiferenciada en llanuras de pendiente débil, con problemas o limitaciones por textura de suelos y agua de riego	Minería Ganadería ovina Agricultura Comercialización Desarrollo Industrial	Zona de alta concentración urbana Elevado acceso a servicios básicos Índice de pobreza bajo Ocupación en servicios, agricultura e industria, preponderantemente de obreros y empleados	Problemas ambientales urbanos. Contaminación minera localizada. Pasivos ambientales. Salinización y degradación de suelos. Contaminación natural. Desregulación hídrica.
2	Provincias: - P. Dalence - Poopó Municipios: - Machacamarca - Poopó - Pazña	Colinas, montañas y mesetas de pendiente moderada a fuerte, con vegetación de pastos naturales y arbustos ralos.	Minería Agricultura Ganadería diversificada Centro turístico Pesca y caza	Zona de concentración poblacional media Elevado nivel de acceso a servicios Pobreza de moderada a extrema Ocupación en agricultura y minería, cuanta propia y obreros Población Uru Murato	Contaminación de ríos por la minería. Acumulación de pasivos ambientales. Problemas ambientales urbanos.
3	Provincias: - Avaroa - S. Pagador Municipios: - Challapata - Huari - Strio. Quillacas	Ríos de la cordillera, zonas aptas para la agricultura y ganadería tradicionales con restricciones por pendientes y erosión moderadas, pie de monte con posibilidades de riego.	Producción forestal Agricultura Ganadería diversificada Centros comerciales Artesanía Recursos minerales Pesca y caza	Zona de concentración poblacional media baja Acceso medio a servicios Población Uru Murato Ocupación principal en la agropecuaria, bajo la forma de cuenta propia. Pobreza de baja a moderada.	Contaminación natural de ríos.
4	Provincias: - Saucari - Sur Carangas	Flora abundante y diversificada, zonas aptas para la ganadería camelidos, con restricciones	Agricultura Ganadería ovina y camélida Artesanía	Zona de baja concentración poblacional Carece de servicios básicos	Salinización de suelos. Desertificación y erosión. Cotaminación

	- L. Cabrera Municipios: - Toledo - Stgo. Andamarca - Pampa Aullagas	por salinidad de suelos. Áreas de anegamiento y praderas naturales.		Migración temporal Dedicación a la agricultura mediante cuenta propia Pobreza moderada.	natural de ríos y el lago.
5	Provincias: - Cercado - Saucari - T. Barron Municipios: - Eucaliptus - Caracollo - Toledo - El Choro	Zonas aptas para ganadería extensiva indiferenciada en llanuras de pendiente débil, praderas naturales, afectadas por suelos salinos, no apta para cultivos.	Minería Sistemas de riego Agricultura Producción forrajes Ganadería ovina y vacuna Artesanía	Zona de alta concentración poblacional Nivel de acceso medio a servicios básicos Trabajo preponderante la agricultura mediante la ocupación de cuenta propia. Pobreza moderada a extrema.	Salinización de suelos. Degradación de praderas.

La regionalización propuesta permite sectorializar la problemática, en base a los resultados del diagnóstico, de manera que se ordena el análisis de alternativas para cada uno de los problemas identificados y se establece un criterio de prioridad por regiones.

La TABLA 19 presenta la matriz de especificación de la problemática, considerando los criterios propuestos.

TABLA 19 : Matriz de especificación de la problemática ambiental

REG.	Problemática ambiental	Restricciones	Alternativas
1	Problemas ambientales urbanos. Contaminación minera localizada. Pasivos ambientales. Salinización/degradación suelos. Contaminación natural. Desregulación hídrica.	Carencia de políticas e inversión pública Falta de estudios sobre la salinización de suelos Carencia de información sobre la regulación hídrica Recursos económicos limitados	Tratamiento sanitario Aplicación de proyectos específicos Manejo y control de suelos Estudio predictivo de fuentes naturales de contaminación Evaluación obras de regulación hídrica
2	Contaminación minera. Acumulación pasivos ambientales. Problemas ambientales urbanos.	Ausencia de políticas ambientales sobre la minería tradicional Falta de aplicación del marco regulatorio Recursos económicos limitados	Aplicación de proyectos específicos
3	Contaminación natural de ríos.	Carencia de estudios específicos sobre fuentes de contaminación natural	Desarrollo de estudios de evaluación y predicción de la contaminación natural
4	Salinización de suelos. Desertificación y erosión.	Falta de estudios sobre la salinización	Proyectos de fomento a la actividad agropecuaria

	Cotaminación natural.	Limitaciones en la formación de recursos para el manejo de suelos	
5	Salinización de suelos. Degradación de praderas.	Ausencia de políticas para el desarrollo agropecuario	Evaluación de la salinización de suelos y recuperación de praderas

La problemática considerada en resumen concierne a los siguientes grupos generales de problemas:

- a. Problemas derivados de la contaminación ambiental de origen antrópico, derivada de las actividades mineras, poblaciones urbanas y pasivos ambientales relacionados. Esta problemática tiene una fuerte incidencia sobre el estado ambiental de los lagos Poopó y Uru Uru. El nivel de intervención necesario corresponde a una prioridad para reducir las cargas contaminantes y mitigar la contaminación existente.
- b. Problemas derivados de la contaminación natural, que tienen directa relación sobre la calidad de las aguas de los lagos y cuya evolución debe ser motivo de una mayor comprensión, para establecer en forma predictiva el comportamiento de los cuerpos de aguas y la evolución del sistema natural. En este grupo se debe considerar la mineralización de aguas y suelos, la salinización del sistema y la regulación hídrica.
- c. Problemas derivados del manejo de recursos naturales, principalmente relacionados con las prácticas culturales y la producción agropecuaria, que permita el uso racional de los recursos existentes y su preservación en forma sostenible.

7.4 Análisis Conceptual de Alternativas

El enfoque conceptual de alternativas que se plantea, comprende la selección de acciones que permita en un orden de prioridad, mitigar los efectos ambientales reduciendo los impactos detectados en los cuerpos de aguas, regular y controlar los niveles de contaminación, promover la valoración de los recursos naturales e incorporar acciones de gestión sobre los recursos naturales.

Las bases de esta formulación comprenden los siguientes argumentos que se plantean en el análisis:

- a. El enfoque predominante de la problemática de la cuenca del lago Poopó ha estado marcado por la evaluación de los impactos ocasionados por la actividad minera. Sin embargo la problemática presenta diferentes matices necesarios de ser evaluados. Existe la necesidad de realizar una valoración de los recursos naturales disponibles y su incidencia sobre los factores socioeconómicos y socioculturales relacionados a la dinámica de los lagos. En particular, el enfoque debe orientarse a los potenciales existentes para el desarrollo de actividades económicas fundamentadas en la disponibilidad y acceso a los recursos del lago Poopó y Uru Uru. Este argumento pone en cuestión la incidencia real de la minería sobre la economía global del lago y los recursos, debido a que, como se establece en el diagnóstico, su incidencia sobre las comunidades, particularmente respecto de la ocupación de mano de obra, es mínima.
- b. El estado de la información existente ha estado marcado en gran medida por lo expuesto anteriormente. Existe un elevado número de trabajos de investigación y diagnóstico que tienen la orientación de establecer criterios sobre la contaminación minera desde un punto de vista limitado, que no contribuyen efectivamente a establecer una evaluación que tenga relación con otras dimensiones de la dinámica de la cuenca. En consecuencia existe poca información en relación a la economía de los pueblos originarios del lago, de los potenciales bióticos y los efectos sobre las actividades productivas existentes. En este contexto, la comprensión integral de la problemática requiere estudios complementarios que permitan el conocimiento de estas dimensiones de la problemática.
- c. La orientación de los proyectos que plantean la rehabilitación de los lagos, se basa en soluciones que, desde el punto de vista de su financiamiento, bajo las condiciones actuales, no son factibles; en consecuencia, la base de prioridad debe manifestarse en proyectos de bajo nivel de inversión y alto impacto social y ambiental en la región. Las prioridades deben responder al criterio de valorar y fortalecer las actividades productivas no tradicionales, para fortalecer la economía de la región

en base al uso de los recursos naturales existentes, en base a políticas de desarrollo sostenible.

8 BIBLIOGRAFÍA

- Alanez Víctor; (2000); Forma de Acceso a las aguas del Río Desaguadero y procesos de cambio en San Pedro de Challacollo, Cuaderno de Investigación; Centro de Ecología y Pueblos Andinos (CEPA); Oruro, Bolivia.
- ASDI/SAREC - UMSA; 2006, Memoria del Seminario Taller: “Intercambio de Experiencias en la región de los lagos Poopó y Uru Uru y sus Áreas de Influencia” ; Ed. Jorge Quintanilla Aguirre; Oruro, Bolivia
- Argollo, J., and Mourguiart, P. (2000). Late Quaternary climate history of the Bolivian Altiplano., *Quaternary International* 72, 37-51.
- Beck, S. y E. García. 1991, Flora y Vegetación en los diferentes pisos altitudinales. Historia Natural de un Valle de los Andes: La Paz, Instituto de Ecología, La Paz, Bolivia.
- Beck, S. 1988. Las regiones ecológicas y las unidades fitogeográficas de Bolivia; En: Manual de Ecología, C.B. de Morales (Ed.). La Paz, Bolivia.
- Beveridge, M., Coutts, R. Centro de Desarrollo Pesquero, Ministerio de Asuntos Campesinos y Agropecuarios; Un estudio de los niveles de metales pesados en el lago Poopo, Bolivia; Institute of Aquaculture, University of Stirling, Stirling monografía, Scotland.; Enero 1983; (ver página 22 – 24).
- Binford, M., Kolata, A., Brener, M., Janusek, J., Seddon, M., and Curtis, J. (1996). Climate Variation and the Rise and fall of an Andean Civilization. *Quaternary Research* 47, 235-248.
- Bocangel, Danilo, 2001. Bolivia: Estudio Regional/Nacional sobre la Pequeña Minería y Artesanal, Proyecto MMSD. Internacional Institute for Environment and Development (IIED)- World Business Council for Sustainable Development (WBCSD)- MEDMIN Foundation. La Paz, Bolivia, 2001.
- Boulangé, B., Rodrigo, L., and Vargas, C. (1978). Morphologie, formation et aspects sédimentologiques du lac Poopó, Bolivia. *Cah. Orsotom, ser. Geol., vol. X, No 1*, 69-78.
- Bucher, E., Castro, G., Floris, V., 2000. Integrated Water Resources Management in Latin America and the Caribbean. IDB N° ENV-114, Washington DC.
- CACC S.R.L., Clasificación de los principales cuerpos de agua superficial del departamento de Oruro en función a su aptitud de uso, Oruro, Abril del 2002.
- Chaparro, E., 2005. La Mujer en la Pequeña Minería de América Latina: el caso de Bolivia. Naciones Unidas- CEPAL. Santiago de Chile, marzo de 2005.
- Calizaya Andrés et.al., 2006; Hidrología y Recursos Hídricos en la Cuenca de los Lagos Poopó y Uru Uru; (Instituto de Hidráulica e Hidrología, IHH)en: Memoria del Seminario Taller: “Intercambio de Experiencias en la región de los lagos Poopó y Uru Uru y sus Áreas de Influencia” UMSA – ASDI/SAREC; Oruro, Bolivia
- Carmouze J.P.; Arce C. Quintanilla J.; 1984; Le Lac Titicaca: Stratification physique et métabolisme associé. *Rev. Hydrobiol. Trop.* 17(I)
- Coronado Felipe; 1995; Recopilación de información, elaboración de resumen estado actual de ríos y lagos en el departamento de Oruro. Oruro, Bolivia
- Ellemberg, H. 1981; Desarrollar sin destruir. Instituto de Ecología – UMSA; La Paz, Bolivia
- D’Orbigny, A., 1835. *Voyages dans l’Amérique Méridionale*. Paris.
- FAO, Manual de Descripción de Perfiles de Suelo, 1977.
- Fornari, M., Risacher, F., and Féraud, G. (2001). Dating of paleolakes in the central Altiplano of Bolivia. *Elsevier Science B.V., Paleo.* 172, 269-282.

- Franken, Margot (1990); "Purificación de Aguas mediante plantas acuáticas" en Revista de Ingeniería Sanitaria (ABIS), Vol 5, Nº 6, La Paz, Bolivia.
- Garreaud, R. and Aceituno, P. (2001). Interannual rainfall variability over the South American Altiplano. *J. Climate* 14, 2779-2789.
- Garreaud, R., D. (2000). Intra-seasonal Variability of Moisture and Rainfall over the South American Altiplano. *Monthly Weather Review*, Vol. 128, No 9, pp. 3337-3346.
- Garreaud, R., Vuille, M. and Clement, A.C. (2003). The climate of the Altiplano: observed current conditions and mechanisms of past changes. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 194, 5-22.
- Grigg, N., 1996. *Water Resources Management: Principles, Regulations and Cases*. McGraw Hill Professional. Pp. 540. ISBN 007024782X.
- Hahnenberger, M., Douglas, M., and Galvez, J. (2003). *Summertime Precipitation Variability and Atmospheric Circulation over the South American Altiplano: Effects of Lake Titicaca and Salar de Uyuni*. Report, Salt Lake City, UT.
- IIMM, Corporación de Desarrollo de Oruro, Evaluación de la mancha de contaminación minera en el sector de Iroco y sus efectos en la cuenca baja del Rio Desaguadero, Informe final, Oruro, abril de 1995.
- Ledo, Carmen, sin año. *Trabajo Infantil en Bolivia, Características y Condicones*. UNICEF.
- Lenters, J., D., Cook, K., J., 1999. Summer time precipitation variability over South America: Role of the Large-Scale Circulation. *Monthly Weather Review*, Vol. 127, No 3, pp.409-431.
- Liberman, M., 1993 *Análisis de la vegetación y uso actual de la tierra en las dunas del altiplano de Bolivia*. Sistema Hidrológico del Altiplano. UMSA, CEEDI, Bolivia, CIID, Canada.
- Lorini, J. ;Los factores limitantes de un Ecosistema como causas del desequilibrio. 1er. Congreso Ecología y Recursos Naturales en Bolivia(7-12). Centro Portales. 1982.
- Lorini, J., 1993 *Climatología de la Cuenca del Rio Desaguadero*. Sistema Hidrológico del Altiplano. UMSA, CEEDI. Bolivia, CIID, Canada.
- Marino, A., Simonovic, P., 2001. *Integrated Water Resources Management*. IHAS Press. pp456. ISBN1901502716.
- MEDMIN, CECI, ACIDI, 2005. *Investigación sobre: Los Niños Trabajadores en las Minas de Bolivia: Su Perspectiva*. Fundación Medio Ambiente, Minería e Industria (MEDMIN)- Centro Canadiense de Estudios y de Cooperación Internacional (CECI)- Agencia Canadiense de Desarrollo Internacional (ACDI). La Paz, Bolivia, diciembre de 2005.
- MIN B.S., 1 987.- "Some aspects of conservation of pejerrey in lago Poopó", Fisheries Research and Development Agency, Fisheries office, R.O.K, Corea
- Minchin, J., 1882. Notes on a journey through part of the Andean tableland of Bolivia. *Proc. Royal Geogr. Soc.* 4, 67.
- Ministerio de Asuntos Campesinos y Agropecuarios (MACA); 1990, *Informes Técnicos (No publicados)* La Paz, Bolivia.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural/DGSR/PRONAR., 2000. *Inventario Nacional de Sistemas de Riego*. Cap.5 Oruro. 117-136p.
- Ministerio de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente, Secretaría Nacional de Minería, Proyecto Piloto Oruro, *Impacto de la minería y el procesamiento de minerales en cursos de agua y lagos*, Swedish Geological AB, Diciembre, 1996. (ver página 48, 49 tabla 5.2)
- Ministerio de Minería y Metalúrgica de Bolivia Proyecto de Rehabilitación del Sector Minero, *Impact of minerals industry on the environment in some areas of the departments of Oruro and Potosí, Bolivia – a preliminary study of stream waters and sediments*, 1992
- Molina R., Barragán R. 1985; *Etnicidad y Marginalidad de los Uru Muratos y Aymaras del Lago Poopó*; UNICEF, La Paz, Bolivia.

- Morel F.; 1983, Principios de Química Acuática. Ed. Wiley Interscience Pub. (ISBN: 0-471-08683-5) USA.
- Neveu-Lemaire, M., 1906. El Titicaca y el Poopó: Contribución al estudio de los lagos altiplanos. Rev. Min. de Colon y Agric. No 16, 17, 18 568-591.
- Noras P., Solis G., Torrico V.; 1992; Impact of the minerals industry on environment in some areas of the departments of Oruro and Potosí, Bolivia: A preliminary study of stream waters and sediments. Ministerio de Minería y Metalurgia: Proyecto de Rehabilitación del Sector Minero, Informe BO-92005.
- OEA / PNUMA, Bases para el Plan de Gestión Ambiental del Sistema Hídrico del Lago Titicaca, Río Desaguadero, Lago Poopó y Salar de Coipasa (TDPS), Control de la contaminación en el sistema TDPS: Diagnóstico y propuestas de control, volumen 4, La Paz (Bolivia), Puno (Perú), Enero de 1999. (ver anexo IV. A; cuadro N° 01- II)
- PIIQ – UTO – COPLA, Memoria final del proyecto de recursos naturales y preservación ecológica, resumen ejecutivo, Oruro, 1994.
- Pillco, R., and Bengtsson, L., 2006. Long-term and extreme water level variation of the shallow Lake Poopó, Bolivia. Hydrological Sciences-Journal-des Sciences Hydrologiques, 51(1).
- Pillco, R., and Bengtsson, L., 2006. Mapping the bathymetry of the shallow Lake Poopó, principally using depth measurements and satellite images (en publicación).
- Plan Director Global Binacional de Protección – Prevención de Inundaciones y Aprovechamiento de los Recursos del Lago Titicaca, Río Desaguadero, Lago Poopó y Salar de Coipasa (PELT), (Sistema T.D.P.S.); ESTUDIO DE HIDROQUIMICA Y CONTAMINACIÓN; Convenios ALA/86/03/y ALA/87/23 – Perú y Bolivia; Julio 1993; (ver cuadro 4-1A y B; 4-2A y B; 4-3A y B).
- PNUD, 2002. El Derecho a la Palabra, Los Pobres frente a la Ciudadanía y la Política. Programa de Las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Bolivia, 2002.
- PPO, 1996. Proyecto Piloto Oruro, Ministerio de Desarrollo Sostenible y medio Ambiente – Secretaría Nacional de Minería – Swedish Geological AB. R-BO-E-9.45-9605-PPO, LP, Bolivia.
- Quintanilla, Jorge; Arce C.; Carmouze J.P.; 1978, Circulación de materia (agua-sales disueltas) a través del sistema Fluvio-lacustre del Altiplano: Regulación Hídrica e hidroquímica de los lagos Titicaca y Poopó. Cah. ORSTOM, sér. Geol., 10(I)
- Ribera , Marco Octavio, Libermann M, Beck S., y Moraes M., 1996, “Vegetación de Bolivia. Comunidades, Territorios Indígenas y Biodiversidad en Bolivia. CIMAR y Universidad Autónoma Gabriel René Moreno, Santa Cruz – Bolivia.
- Rocha Olivio, O., Diagnostico de los recursos naturales y culturales de los lagos Poopó y Uru Uru, Oruro – Bolivia, La Paz, Octubre del 2002.
- Rocha, O., 2002. Diagnóstico de los Recursos Naturales y Culturales de los Lagos Poopó y Uru Uru, Oruro- Bolivia. Convención Ramsar, WCS/Bolivia. La Paz, Bolivia.
- Salm H., Gehler E.; 1989; Suelos salinos en el Altiplano Central de Bolivia y su relación con el crecimiento de las plantas; Rev. Bol. Quim. Vol. 8, N° 1, La Paz, Bolivia.
- Schreiber, D., 1981. A comparative examination of threshold valued for dry months, taking the situation of Kenya as an example. Appl. Geogr. And Develop. Institute for scientific cooperation, Tubingen. Alemania
- Stumm W. y Morgan J.; 1981; Aquatic Chemistry: An Introduction Emphasizing Chemical Equilibria in Natural Waters; Second Edition, Wiley Interscience. USA.
- TDPS, 1993. Climatología del Sistema de los lagos Titicaca, Desaguadero, Poopó y Salares Coipasa y Uyuni (TDPS). Comisión de comunidades de Europeas-Repúblicas del Peru y Bolivia, convenios ALA/86/03 y ALA/87/23. La Paz, Bolivia.
- TRANSREDES; 2001; Auditoria Ambiental del Derrame de Hidrocarburos en el río Desaguadero (Vol 3), La Paz, Bolivia.

Trujillo, E., 2005. La Minería Cooperativizada Apoyada con Manos Femeninas: Las Palliris. NOVIB (Oxfam Netherlands)- Centro de Investigación y Servicio Popular (CISEP). Oruro, Bolivia, junio de 2005.

UNEP/OEA; 1996; Diagnóstico Ambiental del Sistema Titicaca-Desaguadero-Poopó-Salar de Coipasa (Sistema TDPS); Bolivia – Perú. Departamento de Desarrollo Regional y Medio Ambiente. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos, Washington D.C.

Universidad Mayor de San Andres (UMSA), Universidad Técnica de Oruro (UTO), Centro de Estudios Ecológicos y de Desarrollo Integral (CEEDI), Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), Universidad de Laval (QUÉBEC), SISTEMA HIDROLÓGICO DEL ALTIPLANO (A.H.S.), CUENCA RIO DESAGUADERO (BOLIVIA), Informe final Tomo I, II, La Paz – Bolivia, 1993, (anexo 11).

Vuille, M., 1999. Atmospheric Circulation over the Bolivian Altiplano during Dry and Wet Periods and Extreme Phases of the Southern Oscillation. *International Journal of Climatology*, 19, 1579-1600.

Vuille, M., Keiming, F., 2004. Interannual Variability of Summertime Convective Cloudiness and Precipitation in the Central Andes. *Journal of Climate*, 17, 3334-3348.

Zteno, Ruth, 2006. Estudio de la Flora y Fauna del Municipio de Poopó, Provincia Poopó, Oruro-Bolivia. Gobierno Municipal de Poopó y Fundación MEDMIN. Oruro, Bolivia.