



# Problemas ambientales de la minería Boliviana

Estudio de caso de la minería en el área de la ciudad de Potosí

Proyecto IDRC – WRI – CIPMA:  
Identificando los Impactos Económicos y Ambientales de la  
Liberalización del Comercio: Una Aplicación al Sector Minero

María del Socorro Peñaloza  
Igor Reinhardt  
Fundación MEDMIN

© 2000

**MA - 038**

## Tabla de contenido

1	Descripción de las operaciones mineras en Bolivia .....	3
1.1	El sector de la minería mediana .....	3
1.1.1	Definición del sector .....	3
1.1.2	Descripción de las operaciones mineras .....	3
1.2	El sector de la pequeña minería .....	3
1.2.1	Definición del sector .....	3
1.2.2	Descripción de las operaciones mineras .....	4
2	Contaminación producida por la minería .....	6
2.1.1	Minería mediana .....	6
2.1.2	Pequeña minería .....	6
3	Impactos ambientales de los ingenios mineros de la ciudad de Potosí .....	9
3.1	Justificación .....	9
3.2	Situación actual .....	9
3.2.1	La minería en el área de Potosí .....	9
3.2.2	Impactos sobre la cantidad y la calidad de agua .....	11
3.2.3	Impactos socioeconómicos .....	12
3.2.4	Pérdidas económicas .....	13
3.2.5	Impacto sobre los humanos .....	14
3.3	Disponibilidad de información .....	14
4	Ingenios de Potosí y ley del medio ambiente: alcances y limitaciones .....	16
4.1	Conformidad de la minería en Potosí con la reglamentación ambiental .....	16
4.1.1	Contaminación hídrica .....	16
4.1.2	Contaminación atmosférica .....	18
4.2	Implementación y aplicación de la reglamentación ambiental .....	18
4.2.1	Licencias ambientales .....	18
5	Bibliografía .....	19
6	Explicación de abreviaciones .....	20

## Anexos:

- Anexo 1: Plano general de Ubicación  
 Anexo 2: Ubicación de los Ingenios de Potosí  
 Anexo 3: Efectos de la contaminación minera

# 1 Descripción de las operaciones mineras en Bolivia<sup>1</sup>

## 1.1 El sector de la minería mediana

### 1.1.1 Definición del sector

La minería mediana abarca las empresas privadas afiliadas a la Asociación Nacional de Mineros Medianos (ANMM), incluyendo a las empresas de la “nueva minería”.

Las dos empresas que constituyen la nueva minería en Bolivia, Inti Raymi y COMSUR, han logrado adaptarse a las nuevas condiciones del mercado después de la crisis del estaño de 1985 gracias a la asociación con capital extranjero, la introducción de nuevas tecnologías y el cambio de la minería de estaño a la minería de zinc y de oro. Estas empresas producen la casi totalidad del oro, plata, zinc y plomo de las empresas afiliadas a la ANMM.

Otras empresas medianas han intentado seguir el camino de la “nueva minería”, buscando entrar en asociación con empresas extranjeras, pero con menor éxito. Las operaciones mineras asociadas a la ANMM, que no constituyen la “nueva minería”, están concentradas en la producción de estaño y antimonio.

La empresa estatal COMIBOL enfrentó la crisis de 1985 reduciendo operaciones y entregando una gran parte de ellas al sector privado o a los mismos trabajadores que se organizaron en cooperativas. Actualmente ya no cuenta con operaciones propias y sus actividades se concentran en la administración de las concesiones arrendadas a empresas medianas y a cooperativas.

### 1.1.2 Descripción de las operaciones mineras

En la mina Inti Raymi, el oro y la plata del cerro Kori Kollo se explotan a cielo abierto. Por día la empresa extrae 20.000 toneladas de mineral. El material es triturado y molido antes de ser alimentado a los 12 tanques de lixiviación con cianuro. Las colas de la lixiviación ingresan a una planta para la extracción del cianuro y luego son trasladadas al dique de colas. En el horno se recuperan posteriormente los metales valiosos por fundición. El agua subterránea que sale del yacimiento se deposita en grandes piscinas (LA RAZON, 2000).

## 1.2 El sector de la pequeña minería

### 1.2.1 Definición del sector

La definición de la pequeña minería engloba a las cooperativas, la minería chica y la minería informal. La pequeña minería ha incrementado su participación en la producción de casi todos los minerales, con excepción del oro. También en este último sector la pequeña minería ha aumentado la producción. Sin embargo, su participación en la producción total ha disminuido a causa del aumento de la producción por la nueva minería.

La minería cooperativista se clasifica entre cooperativas dedicadas a la explotación de oro (cooperativas auríferas) y cooperativas tradicionales, dedicadas a la explotación de minerales de zinc, plomo, plata, estaño y antimonio. Las cooperativas están afiliadas a la Federación Nacional de Cooperativas Mineras (FENCOMIN)<sup>2</sup>. Las operaciones de las cooperativas aumentaron después de la crisis de 1985, esto como

<sup>1</sup> La casi totalidad de la información en este capítulo proviene del informe de Evia, J.L. y Molina, R. (1997). Las otras fuentes de información están indicadas en el texto

<sup>2</sup> Es posible que muchas cooperativas no estén afiliadas, sobre todo las que trabajan en zonas alejadas.

consecuencia de la reducción de las actividades de la COMIBOL, cuyas concesiones se arrendaron a los cooperativistas.

La minería chica se agrupa en la Cámara Nacional de Minería (CNM). La minería chica ha sido fuertemente afectada por la crisis de principios de la década de los años 80 y desde entonces el tamaño de este sector se ha ido reduciendo de manera importante. Esta reducción de las actividades se debe en parte al paso de algunas de las operaciones al sector informal. Las empresas de la minería chica trabajan tanto en la explotación de minerales tradicionales (complejos plomo-plata-zinc, antimonio, estaño tungsteno) como de oro.

La minería informal está conformada por individuos o grupos que no poseen concesión, que explotan todo tipo de yacimiento utilizando temporalmente técnicas y equipos rústicos (*Wotruba, H. Y Roque D., 1996*).

## 1.2.2 Descripción de las operaciones mineras

### 1.2.2.1 Minería tradicional

Las cooperativas tradicionales han acompañado siempre las explotaciones de la minería estatal. En las antiguas explotaciones de la COMOBIL, así como en algunos depósitos de colas y desmontes existen operaciones de cooperativas.

En las cooperativas que procesan desechos o colas, el proceso de trabajo incluye la selección del material, su transporte a un río cercano para el lavado y la concentración gravimétrica. En algunos casos se utilizan reactivos (ácido sulfúrico, xantato, kerosene) para lograr una primitiva flotación que remueva los sulfuros de los concentrados de estaño. En el proceso de concentración se utiliza muchas veces aguas servidas, con el consiguiente peligro para la salud de los cooperativistas.

Las cooperativas tradicionales que trabajan explotando galerías extraen el material de la mina manualmente o con ayuda de compresoras y perforadoras, en ambos casos es común el uso de explosivos. El transporte se realiza manualmente. El material estéril generalmente se deposita al costado de las mismas galerías, obstruyéndolas, lo que perjudica la libre circulación del aire, deteriorando así las condiciones de trabajo. El mineral extraído puede ser procesado por los mismos cooperativistas, quienes utilizan métodos rústicos de concentración. También puede ser vendido a un rescatista, a una comercializadora o a la unidad de comercialización de la cooperativa.

Se han hecho varios intentos de mecanizar y centralizar la producción de las cooperativas tradicionales, que hasta ahora han fracasado, principalmente por falta de los conocimientos necesarios para el manejo de estas plantas relativamente complejas (*MEDMIN, 1996-2000*).

Pese a sus diferentes formas de organización la minería chica y las cooperativas no se diferencian mucho en su sistema de explotación ni en su impacto medioambiental. Al contrario de las cooperativas, las pequeñas empresas en minería tradicional trabajan generalmente en forma mecanizada, tanto en la explotación y extracción de la carga como en la concentración, tratando poco tonelaje (<50t/día) (*MEDMIN, 1996-2000*).

En la minería informal de minerales tradicionales se realizan los mismos trabajos como en las cooperativas por individuos sin ninguna forma de organización.

### 1.2.2.2 Minería aurífera

Tanto las cooperativas como las empresas chicas explotan tres tipos de yacimientos:

- yacimientos aluviales
- yacimientos en aluviones terciarios ("cangalli")
- yacimientos primarios

En la minería aurífera aluvial, los yacimientos son generalmente explotados por medio de minería a cielo abierto, en algunos casos por cuadros profundos enmaderados que atraviesan capas de grava suelta. Las cooperativas grandes que explotan yacimientos aluviales disponen en general de moderna maquinaria pesada para el movimiento de la tierra. Estos mueven grandes volúmenes de material (estéril y aurífero), que generalmente son empujados a los ríos después del proceso de extracción de oro. Para la separación del oro de la grava generalmente se utilizan canaletas (lavaderos), después de un descarte por clasificación del material estéril, mediante cribas estáticas o vibratorias. El preconcentrado de las canaletas es enriquecido con bateas. El oro grueso se recupera directamente con batea, mientras que el oro fino se amalgama con mercurio.

En la minería informal, los denominados "barranquilleros" siguen a las cooperativas mecanizadas de la minería aluvial para trabajar en las colas utilizando bateas o pequeños lavaderos. La minería informal de los yacimientos auríferos aluviales se realiza generalmente en época seca y el movimiento de tierra es mínimo.

En los yacimientos de aluviones terciarios, la extracción del material se efectúa sobre todo por minería subterránea, utilizando compresoras, maquinas perforadoras y explosivos. Se excavan galerías de longitudes considerables, que pueden alcanzar varios cientos de metros. En algunos casos se llega hasta derrumbar una montaña en tajo abierto, provocando la erosión del material con fuertes torrentes de agua. La concentración para la recuperación del oro se realiza de la misma forma como en la minería aluvial.

En la minería aurífera primaria, el oro se presenta como oro visible sobre el cuarzo como también entrecrecido con los sulfuros. Las vetas son explotadas por algunas cooperativas manualmente y por otras con la ayuda de compresoras de aire y perforadoras neumáticas. El uso de explosivos es común. La preparación del material y el beneficio del oro se lleva a cabo utilizando diferentes esquemas. Lo más rústico es una trituración manual a combo, seguido por una molienda en molinos de piedra (quimbaletes), que puede ser efectuada en seco o en húmedo. Bajo la última forma, generalmente se utiliza mercurio combinando molienda con amalgamación. El oro libre amalgamado, luego se separa del cuarzo molido utilizando bateas. En los ingenios o plantas concentradoras mecanizadas, se utilizan trituradoras a mandíbulas, molinos a ruedas (trapiches) o a bolas, y después una o más etapas de concentración, que pueden ser canaletas con tojilla o rejillas, jigs, mesas concentradoras o placas amalgamadoras. Generalmente las capacidades de los ingenios varían entre 2 y 20 toneladas por día. A veces la capacidad instalada del ingenio no puede ser aprovechada, debido a que la mina no puede abastecer la carga necesaria. Es muy común echar mercurio directamente en los trapiches o en los molinos de bolas, para moler y amalgamar simultáneamente en la misma etapa. Los ingenios de este tipo a veces no cuentan con una etapa posterior de concentración, el oro recuperado es extraído como amalgama del molino.



## 2 Contaminación producida por la minería

### 2.1.1 Minería mediana

#### 2.1.1.1 Nueva minería

En el cuidado medioambiental las empresas de la nueva minería, Inti Raymi y COMSUR se diferencian de las demás explotaciones mineras. Inti Raymi posee una evaluación detallada de su impacto medioambiental y cumple con las normas ambientales del Banco Mundial. Las normas que sigue esta empresa en muchos casos son incluso más rígidas que las normas bolivianas (*Evia, J.L. y Molina, R., 1997*). El cianuro utilizado para la recuperación del oro es reciclado en el proceso (véase 0). Sin embargo no se tiene información sobre posibles escapes a las lagunas de colas y su impacto medioambiental. Tampoco se dispone de información acerca del riesgo de accidentes que pueden dar lugar a derrames de cianuro al medio ambiente.

#### 2.1.1.2 Las otras empresas medianas

Las antiguas empresas de COMIBOL fueron planificadas, diseñadas e instaladas bajo los mejores conceptos tecnológicos de la época de su iniciación a principios de siglo. Pese a que, para esta época, la preocupación por la preservación del medio ambiente era incipiente, la planificación de las operaciones contemplaba la construcción de diques de colas principalmente para recuperar el agua para su reciclaje por la escasez de este recurso y para retener la mayor parte de los sólidos y acumularlos como reservas mineralógicas.

El recurso de estos desmontes se explota por cooperativas carentes de recursos técnicos y financieros, que proceden a la destrucción y depredación de estos depósitos, con la consiguiente agresión al medio ambiente (ver 0).

Las viejas operaciones paralizadas dejaron socavones como pasivos ambientales, de donde fluyen aguas ácidas que se descargan a los ríos y suelos circundantes (Catavi, San José, Colquechaca, Bolsa Negra etc.). Del pie de desmontes y relaves, generalmente con contenidos abundantes de sulfuros, fluyen aguas ácidas con contenidos de metales pesados, que igualmente desembocan en los ríos (Siglo XX, Potosí, Telamayu, San José etc.)

Adicionalmente existen depósitos de chatarra, que con las aguas de lluvia y el oxígeno ambiental se oxidan, generando aguas ácidas contaminantes (Catavi, Siglo XX, San José, Pulacayo, Oruro etc.).

### 2.1.2 Pequeña minería

#### 2.1.2.1 Minería tradicional

Las actividades de la pequeña minería son muy fluctuantes y sujetas a fenómenos tipo "fiebre de oro", muchas veces de corta duración. En la minería pequeña la salud ocupacional es a menudo tan importante o hasta más importante que la contaminación ambiental (*McMahon et al. 1999*).

Los cooperativistas tradicionales no poseen ningún sistema de disposición de colas. Estas generalmente van a parar a los ríos. Debido al escaso conocimiento técnico, los procesos de concentración que incluyen una flotación rudimentaria no son eficientes, por lo que cantidades importantes de reactivos (ácido sulfúrico, xantato, kerosene) quedan en las colas que van a parar a los ríos. Asimismo, la actividad de los cooperativistas incrementa el potencial contaminador, ya que al remover los desechos los exponen a la oxidación. Además, al triturar el material de las antiguas colas, aumenta la superficie total de las partículas, lo que incrementa la liberación de metales por lixiviación de las colas. Aún cuando la contaminación que cada cooperativista causa puede ser considerada como pequeña, el número de

cooperativistas hace que su impacto sea considerable. El impacto de este tipo de operaciones sobre el medio ambiente es desproporcionado con relación a su producción. Por lo ineficaz de su trabajo, y por los métodos que utilizan, el potencial contaminador de los desechos que producen es mayor al de otro tipo de explotaciones (Evia, J.L. y Molina, R., 1997).

En la minería chica de minerales tradicionales los impactos medioambientales son iguales a los de la minería cooperativizada, aunque algunas empresas cuentan con diques de colas rústicos (MEDMIN, 1996-2000).

### 2.1.2.2 Minería aurífera

#### 2.1.2.2.1 Minería aurífera aluvial

La práctica de la minería aluvial causa grandes daños al medio ambiente por la lodificación de los ríos y la alteración de sus cauces. También se altera en forma grave el paisaje, por la destrucción de terrazas y playas fértiles, antes utilizadas por los pobladores originarios para sus sembradíos, sin ninguna intención de restauración del terreno por parte de las cooperativas o pequeñas empresas. El uso de terrenos por la minería es especialmente crítico en los yungas, debido a que en las cuencas las terrazas y playas representan las únicas superficies disponibles sobre las cuales se pueden realizar cultivos. Debido a la total inexistencia de una minería planificada, ordenada y sistemática, grandes superficies de terreno originalmente fértiles son transformadas en montones de piedra, cuya posterior cultivación es prácticamente imposible (MEDMIN, 1996-2000). Esto a menudo lleva a conflictos con los agricultores locales, ya que las concesiones mineras dan el derecho de explotar el subsuelo, pero no especifican los derechos de los propietarios del terreno superficial.

En algunas explotaciones de yacimientos aluviales se desvía el río o se usa bombeo para poder trabajar en seco, lo que lleva a alteraciones de los niveles freáticos (Hentschel T. et al., 1998).

En la explotación de minerales auríferos aluviales en cuencas anchas de la llanura se excavan lagunas artificiales causando devastación del paisaje, alteraciones morfológicas, pérdidas de suelo y de la capa vegetal y el desplazamiento de la fauna. (Hentschel T. et al., 1998).

Las capacidades de las cooperativas y pequeñas empresas van desde 10 toneladas hasta 50.000 toneladas de material extraído por mes. La mayoría de las explotaciones se concentra sin embargo en menos de 200 toneladas por mes (Evia, J.L. y Molina, R., 1997, basado sobre una encuesta de MEDMIN).

En la concentración gravimétrica de minerales auríferos aluviales se emiten grandes cantidades de lodos y colas a los ríos. En las etapas de la amalgamación con mercurio y la posterior fundición se emite mercurio a la atmósfera y a las aguas y también se producen grandes cantidades de lodos que se echan a los ríos (Hentschel T. et al., 1998).

#### 2.1.2.2.2 Minería aurífera en aluviones terciarios

En la minería de aluviones terciarios a tajo abierto se causan graves problemas de lodificación de los ríos que corren al pie de la montaña y se destruye el paisaje, los suelos y la capa vegetal. Los daños causados por la minería de aluviones terciarios en explotaciones subterráneas son menores, ya que generalmente sólo se extraen unas toneladas de material rico por día (MEDMIN, 1996-2000). Sin embargo, en las explotaciones en seco a veces se utiliza bombeo para bajar el nivel freático (Hentschel T. et al., 1998).

En los yacimientos de aluviones terciarios el uso de mercurio para la recuperación del oro no es común, por el tamaño grueso del oro. Existe un gran número de cooperativas de minería de aluviones terciarios que sólo realizan una concentración gravimétrica. Si no se trata de explotaciones a tajo abierto, el impacto ambiental producido por estas cooperativas es comparativamente bajo ((Wotruba, H. Y Roque D., 1996).

### 2.1.2.2.3 Minería aurífera primaria

En las explotaciones primarias el daño causado al medio ambiente durante la extracción del mineral es mínimo comparado con el impacto de la posterior concentración. Durante las etapas de la concentración gravimétrica se emiten lodos y colas a los ríos, aunque en cantidades menores que en la minería aluvial. En las etapas de la amalgamación con mercurio y la posterior fundición se emite mercurio a la atmósfera y a las aguas. También se producen grandes cantidades de lodos que se echan a los ríos (*Hentschel T. et al., 1998*).

Del total de las cooperativas y pequeñas empresas incluidas en una encuesta realizada por MEDMIN, el 64% declaró usar mercurio en sus operaciones<sup>3</sup>. El uso de mercurio es común tanto en las explotaciones grandes como en las pequeñas. Sólo el 26% declaró utilizar combustibles (*Evia, J.L. y Molina, R., 1997*).

La mayor parte del mercurio utilizado en la minería aurífera se emite a la atmósfera. Esto causa por un lado un impacto directo sobre la salud de los mineros. Por otra parte, el mercurio llega a ecosistemas lejanos por los mecanismos del transporte atmosférico y su disolución en el agua de las precipitaciones. De esta manera, el mercurio emitido localmente se reparte en toda la cuenca Amazónica. En los ecosistemas acuáticos el mercurio se convierte en metil-mercurio por medio de la actividad microbiana y en esta forma se acumula en la cadena alimenticia<sup>4</sup>. El consumo de pescado contaminado con metil-mercurio es dañino para la salud humana (*De Lacerda, L.D. y Salomons, W., 1998*).

---

<sup>3</sup> Esta cifra puede ser mayor, porque muchos mineros tienden a ocultar este hecho, porque conocen de sus efectos medioambientales.

<sup>4</sup> Este proceso es más importante en aguas tranquilas que en aguas corrientes. Las mayores concentraciones de metil-mercurio se midieron en grandes lagunas artificiales de la Amazonía.

### 3 Impactos ambientales de los ingenios mineros de la ciudad de Potosí<sup>5</sup>

#### 3.1 Justificación

Para la presente investigación se eligió tomar el caso de contaminación de los ingenios de Potosí, por constituir actualmente el caso más importante de contaminación minera en el país. Adicionalmente existen varios estudios referidos a este tema (Hinojosa y Rosales, Golder, Cooperación Financiera entre Alemania y Bolivia, MITSUI, Peñaloza), que facilitan el análisis. Sin embargo, gran parte de la información existente es aún insuficiente para fines del trabajo presente, por lo que se tuvo que realizar estimaciones en algunos casos (estimación de la cantidad producida en los ingenios, beneficios de los ingenios).

Otro punto importante se refiere a la necesidad de una solución a la brevedad posible para este problema, que además ha sobrepasado el carácter regional para convertirse en un punto de discusión internacional.

#### 3.2 Situación actual

##### 3.2.1 La minería en el área de Potosí

Anexo 1: Plano general de ubicación.

###### 3.2.1.1 Minas e ingenios

La explotación minera en Potosí tiene una historia de más de 400 años. El Cerro Rico ha generado en el pasado la producción más intensa de minerales y aún hoy en día la actividad minera continúa, constituyendo esta actividad la fuente de ingresos más importantes para este departamento. Varias cooperativas mineras así como algunas empresas estatales y privadas extraen minerales del cerro ubicado al sur de la ciudad, los cuales son luego vendidos a los ingenios de flotación donde son procesados para extraer concentrados de zinc, estaño, plata y plomo.

En el inicio de las actividades mineras en el Cerro Rico en el año 1545 se producía plata, que se obtenía por fundición de los minerales de plata. A partir de 1825, al acabarse las reservas de minerales de plata en el yacimiento, las actividades mineras empezaron a concentrarse gradualmente en la explotación de minerales de estaño. El estaño se producía primero por empresas privadas y a partir de 1952 por la empresa estatal COMIBOL, hasta la caída de los precios del estaño en 1985. Para la concentración del mineral se utilizaban métodos gravimétricos. Las colas de estas actividades, denominadas "sucus", cubren hoy las laderas del Cerro Potosí.

En el Cerro Rico de Potosí se explotan yacimientos de complejos plomo-zinc-plata por minería subterránea. La empresa privada PAILAVIRI y las 25 cooperativas pequeñas, que están arrendando el derecho de explotación de la Concesionaria estatal COMIBOL, extraen 1.300-1.600 toneladas de material por día. Las cooperativas realizan la mayoría de sus operaciones a mano y con la ayuda de explosivos, mientras que la empresa PAILAVIRI cuenta con equipamiento mecanizado.

El mineral extraído es procesado en 42 ingenios situados alrededor del área de la ciudad de Potosí, con una capacidad total instalada de 2.700 toneladas por día. Actualmente se procesan entre 1.300-1.600 toneladas por día. El mineral se tritura y se muele antes de concentrar los minerales de zinc con plata (ZnS/AgS) y de plomo con plata (PbS/AgS) por medio de la flotación. En la flotación se utilizan entre 25

<sup>5</sup> Las informaciones y datos de este capítulo provienen de MITSUI 1999. Otras fuentes se indican en el texto.

y 52 g de cianuro de sodio, entre otros químicos. Los minerales de estaño ( $\text{SnO}_2$ ) se pierden en las colas, porque su recuperación por medio de la flotación no es rentable.

Los ingenios están ubicados en el centro o en la periferia de la ciudad (Anexo 2). Estos son pequeños o medianos, con diferentes grados de tecnología, tamaño y capacidad de producción. El proceso genera concentrados y residuos (colas). Los residuos provenientes del proceso se descargan directamente al Río La Ribera que cruza la ciudad, estas descargas se realizan sin ningún tratamiento previo. Las pulpas de colas son descargadas diariamente al río, que es en la actualidad el río más contaminado de Bolivia (MEDMIN).

Adicionalmente se produce la descarga de aguas servidas del sistema de alcantarillado de la ciudad y drenaje ácido de roca (DAR) de varias fuentes, tales como aguas de mina del Cerro Rico, filtraciones de depósitos antiguos de colas y descargas de desmontes.

Como la corriente natural del río es estacional, se restringe a los meses entre noviembre y abril, época de lluvias. Por lo tanto, el caudal permanente es una combinación de pulpa de colas, aguas servidas y DAR, que se diluyen significativamente en la época lluviosa.

El Río La Ribera después de su transcurso por la ciudad, recibe las aguas del Río Huaynamayu, Korimayu y Alja Mayu, los mismos se unen al Río Tarapaya, el cual es un afluente del Río Pilcomayo (sistema fluvial del Río de La Plata), por tanto la contaminación de este curso de agua ya no es únicamente un problema nacional, llegando a tener alcance internacional y provocando tensión con Argentina y Paraguay.

Se debe mencionar que las plantas de tratamiento además de generar externalidades negativas también generan beneficios no sólo privados, se crea empleo en la región y toda una cadena de efectos positivos para la economía de Potosí.

### **3.2.1.2 Fuentes de la contaminación minera**

#### **3.2.1.2.1 Fuentes de contaminación hídrica**

Las aguas de los cuatro ríos en Potosí son contaminadas cada día por cuatro tipos de fuentes:

- 1) Aguas residuales del alcantarillado de la ciudad
- 2) Aguas de drenaje de las minas
- 3) Aguas percoladas por las acumulaciones de colas
- 4) Efluentes de las colas de los ingenios, unos 1.000 – 1.200 toneladas/día (MEDMIN, 1996)

Las aguas de drenaje de las minas y las aguas percoladas por las acumulaciones de colas son ácidas por causa de la oxidación y posterior disolución del sulfuro contenido en los minerales de las acumulaciones. Estas aguas están cargadas de metales pesados disueltos, principalmente cobre ( $\text{Cu}^{2+}$ ), Zinc ( $\text{Zn}^{2+}$ ), Estaño ( $\text{Sn}^{2+}$ ) y Cadmio ( $\text{Cd}^{2+}$ ). Estas fuentes aportan a la contaminación de los ríos principalmente durante la época húmeda.

La parte de la carga sólida que no es arrastrada inmediatamente por el río se acumula por debajo de las celdas de flotación. Al contrario del drenaje ácido de minas y colas, el efluente de las colas de los ingenios es alcalino, debido a la utilización de monóxido de calcio en la flotación para aumentar el pH y favorecer la flotación. Además de una carga elevada de sólidos suspendidos, estas aguas residuales contienen metales pesados y los aditivos que se utilizan en la flotación. El más peligroso de estos últimos es el cianuro, que es altamente tóxico. Tiene un impacto agudo inicial y después se degrada rápidamente.

Las colas de las plantas que son descargadas tienen un alto contenido de sólidos suspendidos, el cual varía entre 22% y 70% en peso, con un valor promedio de 46% aproximadamente<sup>6</sup>. La densidad de pulpa, que corresponde al porcentaje de peso de sólidos en las colas es más baja, esto debido a la dilución de las mismas por las aguas de alcantarillas contaminadas y DAR y por la sedimentación de las colas más gruesas a lo largo de los trechos con menos pendiente del río. Según muestras tomadas en puntos situados después del último ingenio, la densidad de pulpa era de 5% y llegó a 1,5% unos 7 Kms río abajo.

Adicionalmente a las fuentes de contaminación relacionadas con la minería se produce la descarga de aguas servidas del sistema de alcantarillado de la ciudad (MEDMIN, 1996).

#### **3.2.1.2.2 Fuentes de contaminación del aire**

Durante los procesos de la extracción de los minerales se producen partículas finas. Como las actividades son subterráneas, no se emiten muchas partículas al aire libre. Sin embargo, el aire está altamente contaminado dentro de las minas, que carecen de sistemas eficaces de ventilación.

La trituración de los minerales en los ingenios produce partículas finas de mineral que se emiten al aire, que son dañinos para el aparato respiratorio. Asimismo se arrastran partículas finas de las acumulaciones de colas de los ingenios por el viento, contribuyendo a la contaminación atmosférica.

#### **3.2.1.2.3 Fuentes de contaminación de los suelos**

Los suelos en el área de las minas y de la ciudad de Potosí son destruidos por la excavación de socavones en el Cerro Rico y por el uso del terreno para los desmontes y las acumulaciones de colas.

La carga de sólidos en los efluentes de los ingenios se sedimenta río abajo, donde la pendiente del cauce y la velocidad del flujo son menores. El agua de los ríos se utiliza para la irrigación de los cultivos colindantes a sus orillas. De esta manera los contaminantes son repartidos sobre los suelos fértiles.

Por la erosión eólica de las acumulaciones de colas las partículas finas de estas acumulaciones son transportadas por la atmósfera y se depositan sobre los suelos.

### **3.2.2 Impactos sobre la cantidad y la calidad de agua**

#### **3.2.2.1 Impacto sobre los caudales de los ríos**

Cuatro ríos atraviesan la ciudad de Potosí: los ríos Huaynamayu, Chectakala, Korimayu y La Ribera. Los ríos Huaynamayu y Chectakala confluyen con el río La Ribera en el centro de Potosí. Poco después de su transcurso por la ciudad, el río La Ribera recibe las aguas del río Korimayu. La mayoría de los ingenios se sitúan en las orillas del río La Ribera, en cuyas aguas desechan las colas de la flotación. Río debajo de la ciudad, el río La Ribera confluye con los ríos Hualampaya y Agua Dulce formando el río Tarapaya, el cual es un afluente del río Pilcomayo (sistema fluvial del río de la Plata). Véase Figura 3. Por lo tanto la contaminación de los cursos de agua de la ciudad de Potosí ya no es únicamente un problema nacional, llegando a tener alcance internacional y provocando tensión con Argentina y Paraguay.

El agua necesaria para el procesamiento de los minerales en los ingenios proviene de embalses situados en las altas cuencas de los cuatro ríos de la ciudad. Durante la época de lluvias, entre noviembre y abril, se retiene el agua de los ríos, disminuyendo sus caudales naturales. En época seca el agua almacenada se utiliza para los procesos en los ingenios, donde se carga de contaminantes y aumenta los caudales naturales. Por lo tanto, el caudal permanente es una combinación de pulpa de colas, aguas servidas y drenaje ácido de mina, que se diluyen significativamente en la época de lluvias.

<sup>6</sup> MEDMIN 1995

### 3.2.2.2 Impacto sobre la calidad del agua de los ríos

Al combinarse las aguas ácidas del drenaje de minas y de la percolación, cargadas con metales pesados disueltos, con las aguas alcalinas de los ingenios, se produce una reacción de neutralización y la precipitación de los metales pesados. Los precipitantes, hidróxidos de los metales pesados, se sedimentan lentamente a lo largo del sistema Río La Ribera – Río Tarapaya – Río Pilcomayo. El cianuro liberado por los ingenios forma cianuro combinado o complejos con los metales pesados, cuyas concentraciones no se han analizado en el estudio. La descarga de aguas servidas de la ciudad de Potosí y las sustancias orgánicas utilizadas en los ingenios aumentan la carga de contaminantes orgánicos de los ríos, medidos con el parámetro DOQ.

Debido a la afluencia de otros ríos y la sedimentación de la carga sólida la contaminación del agua del sistema Río La Ribera – Río Tarapaya – Río Pilcomayo disminuye con la distancia de las fuentes de contaminación en el área de Potosí. Sin embargo, las muestras de sedimentos tomadas en el río Pilcomayo a 180 kilómetros río abajo de Potosí (Puente Mendez) estaban seriamente contaminadas. Esto demuestra que los metales pesados contenidos en la carga sólida de los ríos son transportados a través de largas distancias.

### 3.2.3 Impactos socioeconómicos

Existen dos estudios elaborados para determinar los impactos socioeconómicos de las operaciones mineras de los ingenios de Potosí. El primero es un trabajo realizado el año 1995 (Hinojosa, Rosales). El segundo es más completo por cuanto presenta información tomando en cuenta un universo mayor (42.097 personas dentro de 9.790 familias), es más actual y además realiza una estimación sobre las pérdidas económicas en agricultura, ganadería, pesca y el impacto sobre salud.

En el primer estudio se tomó en cuenta a 23 comunidades compuestas por 897 familias. Se dividió a las comunidades en cuatro grupos. El periodo de referencia del análisis fue de cinco años (1990-1995). La investigación aporta información sobre algunos efectos de la contaminación minera: migración, producción agrícola, ganado, sedimentación de colas en las tierras de cultivo y uso del agua (Hinojosa, Rosales).

Los resultados se presentan en el anexo 3. Los miembros de las comunidades se identificaron como campesinos, dedicados principalmente al cultivo de las tierras y crianza de algún ganado. El análisis realizado es cualitativo y no ofrece información cuantitativa de los efectos. Los efectos más importantes se resumen a continuación:

En las regiones donde las aguas del Río La Ribera, Molino y Tarapaya se utilizan para irrigar los cultivos, se han reportado altos valores de mortandad de cultivos. Esto podría atribuirse a la alta concentración de cobre y zinc (fitotóxicos) así como cadmio, manganeso y zinc. Al irrigarse los campos con agua de colas, los sólidos de las mismas se depositan en las tierras. Las lamas de las colas son muy dañinas para las tierras cultivadas, éstas destruyen la raíz y secan la planta.

Pese a no contar con datos sobre el número de enfermos tratados, los efectos en salud no pueden ser pasados por alto. Especialmente los niños son afectados por irritaciones de piel y sangrados al exponerse al agua. Casos de enfermedades estomacales y diarrea también han sido reportados (Hinojosa y Rosales). Estos últimos están más relacionados con aguas servidas que con la contaminación minera, cuyos efectos no han sido medidos aún en términos de casos reportados y analizados por contaminación de metales pesados. Es por ello que existe una necesidad urgente de buscar una solución también al problema de aguas servidas de los efluentes urbanos. Existe ya un proyecto a ser implementado junto al dique de colas con tal propósito.

Otro efecto se refiere al creciente proceso de migración producida en las comunidades, tanto permanente como temporal, llegando la migración permanente a alcanzar 80% de la población en seis comunidades. Sin embargo las causas de la migración son diversas, entre ellas causas estructurales como la pobreza extrema en estas regiones y también la contaminación del agua.

42% de las comunidades estaban directamente afectadas (usan agua del río como única fuente). 21% tienen una fuente alternativa de agua aunque usan todavía algo de agua del río. 25% son indirectamente afectados, tienen una fuente alternativa pero sufren del mal olor del agua y sus animales usan la misma. Finalmente 12% no están afectados.

El sector agrícola parece ser el más afectado: el suelo muestra un acelerado proceso de erosión, el monto de nutrientes ha disminuido así como la productividad, lo que se observa en la dificultad de la planta para crecer, florecer y germinar. También se ha observado un proceso de desaparición de vegetación y fauna acuática en los cauces del río.

### 3.2.4 Pérdidas económicas<sup>7</sup>

#### 3.2.4.1 Agricultura

La irrigación de cultivos con agua contaminada de los ríos afecta la fertilidad de los suelos y reduce sus rendimientos. En 8 de las 37 comunidades del área rural de la cuenca del río Pilcomayo (área de estudio del estudio socioeconómico de *Hinojosa Daza, J. y Rosales Ramírez, S., 1995*) se utilizan dos a tres veces más semillas para obtener el nivel de germinación requerido, en comparación con la situación estándar. Los daños causados por los efectos combinados de los contaminantes contenidos en el agua son:

- Coloración amarillenta y reducción de tamaño de los botones después de la germinación
- Hojas y troncos arrugados
- Disminución de la producción
- Inmadurez de las raíces de las plantas jóvenes
- Germinación dificultada

Se estima que la disponibilidad de agua no contaminada para la irrigación permitiría aumentar la producción agrícola en un 27%<sup>8</sup> y extender la superficie cultivada en un 23%<sup>9</sup>, lo que aumentaría el valor de la producción en US \$ 280.000 en el área de estudio. En toda la cuenca del río Pilcomayo la producción se podría aumentar en 3.7 millones US \$.

#### 3.2.4.2 Ganadería

El consumo de agua contaminada del Río Pilcomayo por el ganado ovino y caprino afecta a la salud de los animales. Los efectos en el ganado son:

- Deformaciones de las piernas de los animales recién nacidos
- Diarrea
- Enfermedades de la piel

Se estima que los productores podrían tener el doble del ganado ovino y caprino si las aguas del Pilcomayo no estuviesen contaminadas. Esto corresponde a un aumento de la producción en 1,8 millones US \$.

#### 3.2.4.3 Pesca

El análisis de carne de pescado del Río Pilcomayo en Villamontes (Tarija) indicaron altos niveles de contaminación con plomo. Suponiendo que estos pescados ya no se deberían comer y que por esto no

<sup>7</sup> Las pérdidas económicas han sido calculadas en MITSUI, 1999, sobre la base del estudio socioeconómico de Hinojosa Daza, J. y Rosales Ramírez, S., 1995

<sup>8</sup> El rendimiento medio en el área de estudio en 1993 era de 1.353 Bs/ha y el promedio boliviano en los mismos cultivos llegaba a 1.723 Bs/ha

<sup>9</sup> La superficie cultivada en el área de estudio en 1993 se podría extender de 1.537ha a 1.898ha, recuperando las tierras abandonadas por la migración.

tienen ningún valor económico, se puede estimar las pérdidas económicas causadas por la contaminación. En el área de estudio, es decir, en las 37 comunidades rurales de Potosí a Puente Mendez, estas pérdidas se cifran en US \$ 200.000 (en 1993).

### 3.2.5 Impacto sobre los humanos

#### 3.2.5.1 Impacto sobre la salud

El agua del río Pilcomayo sirve como fuente de agua potable en 6 de las 37 comunidades rurales a lo largo del río entre Potosí y Puente Mendez. Algunas comunidades tratan el agua por filtración por arena del río. El consumo del agua contaminada causa diarrea y dolor de estómago. Su contacto afecta la piel de las personas. Sin embargo, la incidencia de estas enfermedades tiende a disminuir, porque los ribereños son cada vez más conscientes de la contaminación. En las 11 comunidades en que el agua del río Pilcomayo se utiliza para la irrigación, el contacto con el agua contaminada es frecuente.

En la ciudad de Potosí también son frecuentes las enfermedades causadas por el consumo de agua contaminada y por el contacto con esta agua con la piel.

Además la materia prima y los productos de la minería se almacenan al aire libre alrededor de los ingenios. El viento levanta y reparte las partículas finas de estos materiales y causa diferentes enfermedades en los humanos, especialmente asma.

Como no existe información sobre la incidencia de estas enfermedades, no se pueden estimar las pérdidas económicas correspondientes a la pérdida de productividad. Sin embargo, es posible tomar en cuenta los daños económicos causados por la reducción de la expectativa de vida. A partir de la diferencia entre la expectativa de vida en la zona y el promedio del país las pérdidas económicas por la reducción de la productividad laboral se estiman en 22,7 millones de US \$.

#### 3.2.5.2 Impacto social

La dificultad o imposibilidad de realizar las actividades productivas tradicionales causan pobreza. Esta pobreza lleva a muchas personas a abandonar sus tierras y emigrar hacia los departamentos de Santa Cruz y Cochabamba, especialmente en invierno, cuando la escasez de agua limpia para el riego es aguda. La migración y la pobreza debilitan las estructuras de las organizaciones sociales tradicionales.

## 3.3 Disponibilidad de información

Las informaciones contenidas en MITSUI, 1999 sobre las emisiones de la minería en el área de la ciudad de Potosí se refieren al año 1998 y son relativamente actuales. Sin embargo, es posible que el número de ingenios y la cantidad de colas que ellos producen fluctúen con el tiempo. Estos datos se pueden actualizar pidiendo las informaciones necesarias a la municipalidad de Potosí.

En cuanto a los impactos socioeconómicos de la contaminación del sistema Río La Ribera – Río Pilcomayo, los informes de *Hinojosa Daza, J. y Rosales Ramírez, S., 1995* y de *MITSUI 1999* constituyen las únicas fuentes de información existentes. Aunque no hayan cambiado las emisiones de la minería y la contaminación del sistema fluvial desde la fecha de estos estudios hasta hoy día, es muy probable que la situación socioeconómica se haya agravado por la continuación de la migración y la crisis económica. Esto sólo se puede averiguar realizando nuevos estudios.

Las mediciones de parámetros de contaminación realizadas en los estudios existentes en el área de la ciudad de Potosí se limitan a los aspectos de la contaminación hídrica. No existen datos sobre la contaminación atmosférica por el polvo levantado de las acumulaciones de minerales y de colas al aire libre. Sin embargo, los estudios mencionan las enfermedades causadas en los humanos por la contaminación atmosférica. Haría falta medir los parámetros de la contaminación atmosférica para poder comprobar la relación entre esta contaminación y la incidencia de las enfermedades mencionadas. Estas

mediciones también serían útiles para saber cuáles de los parámetros sobrepasan los límites establecidos por la legislación ambiental.

## 4 Ingenios de Potosí y ley del medio ambiente: alcances y limitaciones

### 4.1 Conformidad de la minería en Potosí con la reglamentación ambiental

#### 4.1.1 Contaminación hídrica

##### 4.1.1.1 Legislación vigente

El Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica (RMCH) define los límites de las concentraciones de contaminantes en los ríos que no deben ser sobrepasados río abajo de un punto de descarga. Estos límites dependen de la clasificación del río (cuerpo receptor) según su aptitud de uso. Sin embargo, el RMCH, en sus disposiciones transitorias, define límites de concentraciones de contaminantes en los efluentes, que no dependen de la calidad del cuerpo receptor. Estos límites, establecidos en el anexo 2 del RMCH, son vigentes mientras no se establezca la clasificación de los cuerpos receptores.

En el Reglamento Ambiental para Actividades Mineras (RAAM) están definidas las normas para las acumulaciones de residuos mineros. El artículo No. 39 del RAAM dispone que las descargas a un cuerpo receptor del agua percolada por las acumulaciones mineras o del agua decantada de un dique de colas, deben cumplir con los límites establecidos en el RMCH.

##### 4.1.1.2 Efluentes de los ingenios

La Tabla 1 muestra los parámetros de calidad de agua, cuyos valores están por encima de los límites legales del RMCH en los efluentes de los ingenios de Potosí.

Parámetro	Rango de valores (mg/l)	Límites legales para efluentes, mg/l	
		Valores diarios	Valores mensuales
Sólidos suspendidos	31.800 - 97.300	60	**
pH	11,4 - 12,4	6,9	6,9
Cromo total (Cr)	0,041 - 0,467	Cr(III): 1,0 Cr(VI): 0,1	Cr(III): 0,5 Cr(VI): 0,05
Hierro total (Fe)	31,63 - 135,01	1,0	0,5
Plomo (Pb)	0,52 - 2,44	0,6	0,3
Estaño (Sn)	22,59 - 87,73	2,0	1,0
Cianuro libre (CN)	0,043 - 0,22	0,2	0,1

Tabla 1: Parámetros, cuyos valores en los efluentes de las colas de los ingenios de Potosí están por encima de los límites establecidos en el Anexo II del Reglamento en Materias de Contaminación Hídrica (RMCH). Fuente de datos: MITSUI 1999

##### 4.1.1.3 Agua percolada por las acumulaciones mineras

La Ilustración 1 muestra los caudales totales y el número de fuentes del Cerro Rico, que no cumplen con los límites legales del RMCH.



*Ilustración 1: Caudales de fuentes de agua del Cerro Rico en época húmeda. Fuente de datos: MITSUI 1999*

La Ilustración 2 muestra el número de fuentes del Cerro Rico, que no cumplen con los límites legales del RMCH.



*Ilustración 2: Número de fuentes de agua del Cerro Rico en época seca. Fuente de datos: MITSUI 1999*

## 4.1.2 Contaminación atmosférica

El Reglamento en Materia de Contaminación Atmosférica (RMCA) establece límites permisibles de calidad de aire para una serie de contaminantes atmosféricos. En el caso de la contaminación del aire causada por el levantamiento de polvos de los materiales almacenados en los ingenios de Potosí, los siguientes límites de los siguientes contaminantes podrían ser aplicables:

- Partículas suspendidas totales (Anexo 1, RMCA)
- Partículas menores de 10  $\mu\text{m}$  (Anexo 1, RMCA)
- Plomo (Anexo 1, RMCA)
- Metales pesados: arsénico, cadmio, zinc (Anexo 2, RMCA)
- Cianuro de sodio (Anexo 3, RMCA)

El reglamento establece los límites de estos parámetros así como la manera en que tienen que ser medidos.

Aunque no existen datos de la contaminación atmosférica en Potosí, la alta incidencia de enfermedades pulmonares y de la piel de los habitantes alrededor de los ingenios (ver 0) indica, que la calidad del aire en estas zonas no cumple con los requisitos legales.

El RMCA obliga a los propietarios de fuentes fijas<sup>10</sup> de contaminantes atmosféricos a elaborar “programas calendarizados de medidas para lograr niveles de emisión compatibles con los objetivos de la calidad del aire” (artículo 32° del RMCA). También deben controlar sus emisiones las fuentes fijas que emiten sustancias peligrosas según el anexo 3 del RMCA, que incluye plomo y cianuro (artículo 33° RMCA).

## 4.2 Implementación y aplicación de la reglamentación ambiental

### 4.2.1 Licencias ambientales

El Reglamento de Prevención y Control Ambiental (RPCA) obliga a toda obra, actividad o proyecto (AOP) en planificación, ejecución o en fase de abandono a obtener su licencia ambiental. Con esta licencia la AOP se compromete a llevar a cabo las medidas de adecuación necesarias para que sus impactos ambientales estén conforme a la reglamentación ambiental.

El tipo de procedimiento y de documentos a elaborar para su obtención depende de las características de la AOP. En el caso de la minería, los detalles están reglamentados en el Reglamento Ambiental para Actividades Mineras (RAAM). En este reglamento también se definen plazos para el inicio de los trámites para obtener la licencia ambiental. La Ley del Medio Ambiente (No 1333) exige, que este plazo no supere los 5 años (artículo 116 Ley No. 1333).

Sin embargo, en el caso de los ingenios de Potosí, el decreto presidencial No. 25876 de agosto 2000 establece, en su artículo 5, que “para los ingenios mineros de Potosí, el plazo se computará a partir del inicio de la descarga en la Presa de San Antonio”. El proyecto del dique de San Antonio existe e incluso se tiene a un financiamiento. Pero no se realizaron los planes de ejecución en el plazo establecido por los financiadores y parece que no hay voluntad política para construir el dique. En otras palabras, si el dique no se construye dentro de varios años, lo que es muy probable, la minería tiene derecho a seguir contaminando por mucho tiempo.

<sup>10</sup> El RMCA define una fuente fija como “toda instalación o actividad establecida en un solo lugar o área, que desarrolle operaciones o procesos industriales, comerciales y/o de servicios que emitan o puedan emitir contaminantes a la atmósfera

## 5 Bibliografía

- De Lacerda, L.D. y Salomons, W. (1998): "Mercury from Gold and Silver Mining: A Chemical Time Bomb?". Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 1998
- Evia, J.L. y Molina, R. (1997): "Estudio Medio-ambiental de la Minería Mediana, Pequeña y Artesanal en Bolivia", Universidad Católica Boliviana, La Paz 1997
- Hinojoza Daza, J. y Rosales Ramírez, S. (1995): "Análisis del Impacto Socioeconómico de la Contaminación del Río de la Ribera- Pilcomayo". MEDMIN, Potosí, Bolivia
- Hentschel, T., Hruschka F. Priester, M. Y Wotruba H (1998). "Manejo Ambiental en la Pequeña Minería". MEDMIN/COSUDE, La Paz 1998
- McMahon, G., Evia J.L., Pasco-Font A. y Sanchez J.M. (1999): "An Environmental Study of Artisanal, Small, and Medium Mining in Bolivia, Chile, and Peru", World Bank Technical Paper N°429, Washington DC, 1999
- MEDMIN (1996): "Feasibility Study for the Construction of a Tailings Disposal Facility at Potosí, Bolivia". Golder Associates, La Paz, febrero 1996
- MEDMIN (1996-2000): Informes técnicos internos de MEDMIN, La Paz 1996-2000
- MITSUI, Mitsui Mineral Development Engineering Co. Ltd. (1999): "The Study on Evaluation of Environmental Impact of Mining Sector in Potosí Prefecture of the Republic of Bolivia". Draft Final Report, UNICO International Co., Ltd., La Paz, Marzo 1999
- LA RAZON, diario boliviano, edición del domingo 17.09.00: "Inti Raymi: el oro y la plata se explota a cielo abierto". La Paz, Septiembre 2000

## 6 Explicación de abreviaciones

ANMM	Asociación Nacional de Mineros Medianos
CNM	Cámara Nacional de Minería
COMIBOL	Corporación Minera de Bolivia
DQO	Demanda Química de Oxígeno
RMCH	Reglamento en Materias de Contaminación Hídrica, Decreto Supremo No. 24176
RAAM	Reglamento Ambiental para Actividades Mineras
RMCA	Reglamento en Materias de Contaminación Atmosférica

## Anexo 1: Plano general de Ubicación

## Anexo 2: Ubicación de los Ingenios de Potosí

## Anexo 3: Efectos de la contaminación minera

Impactos socioeconomicos de la contaminación causada por la minería en el Río Pilcomayo								
Comunidad	Uso del agua	Efectos en salud humana	Efectos en agricultura	Efectos sobre ganado	Efectos sobre la tierra	Efectos sobre flora silvestre	Efectos sobre fauna silvestre	Migración definitiva
<b>Grupo 1</b>	La Puerta: Río La Ribera (contaminado)	Rajaduras en la piel, agrietamiento y sangrados	Disminución de productividad	Diarreas y enflaquecimiento	Salinidad inutiliza tierra	Paulatina desaparición de vegetación en margenes	Desaparición fauna acuática	66%
	La Palca, El Molino: Río Hunacarani (no contaminado)	Olor y agrietamiento o rajaduras al atravesar el río	No afecta	No afecta	No afecta			30%
	Aroifilla: excedente Palca y Molino + algo R. La Ribera (contaminado)	Agrietamiento en los pies al atravesar	Disminución de productividad	Diarreas y enflaquecimiento	Salinidad inutiliza tierra			52%
	Tambo Pampa: vertiente 60% + R. Tarapaya (contaminado)	Rajaduras de los pies con sangramiento	Abandono de tierras por falta de riego	Diarreas y enflaquecimiento	Salinidad inutiliza tierra			31%
<b>Grupo 2</b>	Mondragon: 30% vertiente y 70% R. Tarapaya (contaminado)	Diarrea, escozor, agrietamiento	Disminución productividad, mala calidad del producto. Mas tiempo de trabajo necesario.	Diarrea, muerte, desarrollo anormal	Sedimentación residuos minerales, bajo rendimiento	Paulatina desaparición de vegetación en margenes	Desaparición fauna acuática	67%
	Sullcari: directo uso de agua contaminada, única fuente de abastecimiento	Agrietamiento, olor	Disminución productividad, mala calidad del producto. Mas tiempo de trabajo necesario.	Diarrea, muerte, desarrollo anormal	Sedimentación residuos minerales, bajo rendimiento			54%
	Pallka: R. Jatun Mayu (no contaminado)	No afecta	No afecta	No afecta	No afecta			nd
	Juicuni: R. Ankhara Mayu (no contaminado)	No afecta	No afecta	Afecta solo si entran en contacto con agua	Perdida de terrenos por erosión			35%

Comunidad	Uso del agua	Efectos en salud humana	Efectos en agricultura	Efectos sobre ganado	Efectos sobre la tierra	Efectos sobre flora silvestre	Efectos sobre fauna silvestre	Migración definitiva
<b>Grupo 3</b>	Tacuara y Ancoma: están en el cerro, cultivos a secano.	No afecta	Mejor calidad en producción maíz, trigo, cebada	Buena calidad de ganado caprino, ovino, burros y vacunos	Erosion destruyo intensivamente terrenos de cultivo			93%
	Kholo: R. Torre Mayu (no contaminado)	No afecta	Abundantes plantaciones de tuna	Buena calidad de ganado caprino, ovino, burros y vacunos				98%
	Yanaoko: R. Llahuakhari (no contaminado)	No afecta	Mejor calidad en producción	Buena calidad de ganado caprino, ovino, burros y vacunos				nd
	Chalama: Quebrada Potrero (no contaminada)	No afecta	Variedad de cultivos hortalizas y arboles frutales	Buena calidad de ganado caprino, ovino, burros y vacunos	Erosion destruyo intensivamente terrenos de cultivo			27%
	Talula: en el cerro pero cultivos a orillas de R.Pilcomayo (contaminado)	Leves agrietamientos	Variedad de cultivos hortalizas y arboles frutales	Buena calidad de ganado caprino, ovino, burros y vacunos				nd

Comunidad	Uso del agua	Efectos en salud humana	Efectos en agricultura	Efectos sobre ganado	Efectos sobre la tierra	Efectos sobre flora silvestre	Efectos sobre fauna silvestre	Migración definitiva
Grupo 4	Km 127: R. Pilcomayo (contaminado)	Si beben ocasiona diarrea	Baja productividad	Si beben ocasiona diarrea	Salinidad, compactacion	Desaparicion paulatina de flora en orillas del rio	Desaparicion fauna acuatica	nd
	Tasa Pampa: R. Cachí Mayu (no contaminado)	No afecta	No afecta	No afecta	No afecta			nd
	San Antonio: R. Pilcomayo (contaminado)	Si beben ocasiona diarrea	Baja productividad:usan 300% mas de semilla para cosechar 70% de lo que cosechaban antes	Si beben ocasiona diarrea	Sedimentacion de minerales, compactacion			nd
	Tuero: R. Pilcomayo (contaminado)	No afecta	Retarda crecimiento plantas, baja productividad	No afecta	Sedimentacion de minerales, compactacion			nd
	Puente Sucre: R. Pilcomayo (contaminado)	No afecta	Baja productividad	No afecta	Sedimentacion de minerales, compactacion			nd
	Villa Pampa: R. Pilcomayo (contaminado)	Si beben ocasiona diarrea	Baja productividad	Si beben ocasiona diarrea	Sedimentacion de minerales, compactacion			nd
Grupo 1: La Puerta, La Palca, El Molino, Aeroifilla, Tambo Pampa								
Grupo 2: Mondragon, Sulcari, Pallka, Juicuni								
Grupo 3: Tacuara, Ancoma, Kholo, Yanaoko, Chalama, Talula								
Grupo 4: Km 127, Tasa Pampa, San Antonio, Tuero, Puente Sucre, Vina Pampa								
Fuente: Elaboracion Propia en base a (Hinojosa, Rosales)								