



*Instituto de Investigaciones Socio Económicas*

Documento de Trabajo No. 02/96  
Mayo 1996

## **Indicadores de Contaminación**

*por*  
*Jaime Peñaranda Subieta*

## **Indicadores de Contaminación**

por:  
Jaime Peñaranda S.

### **Introducción**

La generación de contaminantes debido a la actividad minero-metalúrgica hace necesaria la búsqueda de indicadores que muestren el grado de contaminación. Este esfuerzo encuentra obstáculos en la falta de homogeneidad de los yacimientos mineralógicos. El presente trabajo tiene por objetivo de estudiar la contaminación generada por la explotación de minerales en las diferentes regiones de Bolivia.

Se estudia específicamente el caso de los minerales más explotados en Bolivia y sus efectos contaminantes. Se identifican minerales y lugares geográficos. Por otra parte, se plantea un índice de contaminación basado en estimaciones cuantitativas de la generación de materiales considerados contaminantes por unidad de producto. De esta manera, se clasifica por ordenes de magnitud la contaminación generada por las diferentes producciones en diferentes regiones.

La explotación de minerales tiene como consecuencia obligada la generación de contaminantes que afectan y destruyen el medio ambiente. Esta actividad en el pasado ya generó algunas situaciones de contaminación graves, con destrucción irreversible de algunos ecosistemas. En el presente, existen sectores de la actividad minera que continúan explotando yacimientos con poco cuidado por el medio-ambiente aunque se hayan dictado leyes y reglamentos para cuidar este aspecto. Por último, existen posibles proyectos mineros futuros donde se podría presentar el problema de la contaminación y la destrucción del medio ambiente.

El trabajo se divide en tres secciones. En la primera se explica la formación del índice y su forma de aplicación. En la segunda, se identifica las zonas geográficas bolivianas de explotación y en la tercera parte se aplica el índice a la producción de los diferentes metales y minerales. Por último, se presentan las conclusiones.

## **I. Indicadores de Contaminación**

Encontrar indicadores de contaminación globales por cantidad de producto para una región, una cuenca, un área o un río, e inclusive, para un solo yacimiento es una tarea muy compleja y difícil. Existe una cantidad de factores y variables que intervienen en la generación de contaminantes, los mismos que, además, pueden cambiar con el correr del tiempo.

Los principales factores que deben considerarse para estimar niveles de contaminación son:

- la naturaleza mineralógica del yacimiento
- la naturaleza de la roca encajonante
- la distribución de los minerales del yacimiento
- el tipo de explotación minera que se realiza
- los sistemas metalúrgicos que se emplean en la concentración
- las técnicas de seguridad industrial que se emplean
- los factores climáticos del área del yacimiento
- los sistemas de control medio-ambiental que se han diseñado y puesto en marcha, (si estos existiesen).

Sin embargo, con objeto de tener una idea de la magnitud de estos fenómenos se analiza las principales regiones mineras de bolivianas, para lo cual se considera tanto la geología así como la hidrología. La contaminación hídrica es la más importante y la que más directamente afecta al medio ambiente.

La geología de Bolivia es una de las más variadas y complejas del mundo. Se tienen sedimentos, desde los más antiguos (precámbrico) hasta los más recientes (cuaternario); desde depósitos de naturaleza química, como el salar de Uyuni, hasta lavas volcánicas, que cubren inmensos territorios, como toda la meseta de los Frailes. Los accidentes geográficos sitúan a Bolivia entre los territorios más montañosos del mundo.

Asimismo, existe prácticamente toda la variedad de climas conocidos en el mundo. Esto se genera tanto por la variedad en latitud como por la diferencia de altura entre los diferentes puntos de su territorio y también por la acción de los vientos en esta parte del globo

terráqueo.

Es evidente que la acción contaminante de la explotación minera es distinta en cada ecosistema, micro-clima o cuenca hidrográfica, fuera de las características propias de la explotación misma de cada yacimiento. La contaminación de un pequeño río de agua dulce en pleno territorio desértico de Los López, no es lo mismo que la contaminación de un río en el amazonas, tanto por la proporcionalidad como por los efectos que tiene sobre el ecosistema.

Ante tal panorama, es extremadamente difícil optar por algún tipo mayoritario de explotación; es decir, por un "modelo" de explotación. Sin embargo de ello en el trabajo se especifica un cierto número de supuestos que nos permitirán la cuantificación de los elementos contaminantes, para cada metal extraído en forma de sus minerales mas abundantes. Estos supuestos son:

- Primero, se supone que solo se trata de una explotación minera, donde existe un único mineral trabajado, cuyos acompañantes son los mismos y no varían en proporcionalidad.
- Segundo, el yacimiento es uniforme y las "leyes" de explotación de las vetas son siempre las mismas, tanto en el espacio como en el tiempo.
- Tercero, la concentración del mineral tiene un comportamiento uniforme en su recuperación metalúrgica, así como en la generación de colas, deshechos de agua y residuos químicos.

Por otro lado, se ha constatado que los contaminantes por unidad de producto extraído de la tierra, pueden variar desde uno a 1000, hasta uno a 10.000.; es decir, desde un miligramo hasta decenas de gramos (10.000 mg). Por lo tanto, para ponderar la contaminación, dentro de estos márgenes desarrollarán indicadores expresados en ordenes de magnitud; es decir, que se establecerán unidades, decenas, centenas, miles y decenas de miles de miligramos por unidad (bruta) de producto extraído del yacimiento. De esta manera la escala puede expresarse así:

índice bajo	hasta decenas de miligramos por kg.
índice pequeño	hasta centenas de miligramos por kg.
índice medio	hasta miles de mg. ó gramos por kg.
índice alto	hasta decenas de gramos por kg.

índice elevado hasta centenas de gramo por kg.

Estos indicadores permitirán evaluar tanto la generación de contaminantes como su clasificación en órdenes de magnitud, tal como se muestra en el Cuadro 1.

Cuadro 1

Indicadores de Contaminación

Cantidad (mg. De Contaminante/Kg. De Producto Extraído	Índice Denominativo	Índice
0	Ninguno	0
1 - 10	Bajo	1
11 - 100	Pequeño	2
101 - 1000	Medio	3
1001 - 10-000	Alto	4
10.001 - 100.000	Elevado	5

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la clasificación propuesta se supone que una explotación que muestra índices elevados de contaminación, es cinco veces mayor que una explotación que muestra índices bajos de contaminación. Por otra parte, 0 significa que no existe ningún tipo de contaminación porque no existe todavía explotación minera. A lo largo del trabajo se irá mostrando el papel de los diferentes factores de contaminación y en el anexo 1 se muestra las cantidades específicas de material removido por producto explotado.

## II. Contaminación en Regiones con Yacimientos Mineralógicos

### a. Precámbrico

Los territorios del precámbrico son territorios antiquísimos (más de 500 millones de años), ubicados en el oriente boliviano, comprendiendo casi todas las provincias que hacen frontera con el Brasil. En realidad, desde el punto de vista geológico forman parte de lo que se conoce como el "escudo brasileño". Este inmenso territorio, que abarca alrededor los 300.000 km<sup>2</sup>, contiene recursos minerales que están comenzando a ser prospectados y explorados: en hierro, manganeso y calizas de naturaleza sedimentarias, níquel, cromo, tierras raras, uranio, oro y cobre de naturaleza ígnea. También se tienen piedras preciosas y semi-preciosas. En estos territorios, la actividad minera todavía está en sus etapas iniciales y no se puede decir que se están produciendo índices significativos en el deterioro del medio ambiente debido a la minería.

Cuadro 2

Lugar Geográfico de Explotación

Lugar	Especificación		Índice Denominativo	Índice de Magnitud
	Mineral	Proceso		
a) Precámbrico	Hierro	Concentrado	Bajo	1
b) Cuenca del amazonas	Oro Oro Estaño	Particulares	Medio	3
Pando		Cooperativas	Medio	3
Norte C.A.		Cooperativas	Alto	4
Macizo Andino			Ninguno	0
Beni				
c) Cuenca del Río de La Plata		Agua	Elevado	5
Cerro Rico		Explotación	Bajo	1
Porco		Explotación	Bajo	1
Caballo Blanco		Colas y Desmontes	Bajo	1
Canutillos			Medio	3
Andacaba y Kumurana			Medio	3
Chichas		Cooperativas	Medio	3
Chayanta			Medio	3
d) Endorréica		Sulfuros	Elevado	5
San José				

Huanuni Santa Fe	Estaño	Cooperativas Colas y Desmontes	Elevado Alto	5 4
---------------------	--------	-----------------------------------	-----------------	--------

Fuente: Elaboración propia

Sin embargo, se pueden originar efectos ambientales negativos debido a una futura explotación de oro, si se realizara de una manera irracional y descontrolada, tal como ocurre actualmente en algunas áreas de la Cordillera Andina, donde se explotan yacimientos de oro aluvional.

En esta región se conocen solo pequeñas explotaciones auríferas y de piedras "semi-preciosas" (amatista). La única explotación propiamente minera, de cierta magnitud, es la que se realiza en el yacimiento ferrífero de "El Mutún", donde el sistema empleado es muy sencillo (recoger, clasificar y lavar el mineral) y no genera más contaminación que la del limo arcilloso que queda del lavado de las piedras de mineral de hierro. La acción del agua no produce contaminación química, porque se trata de yacimientos sedimentarios de hierro, formados por óxidos naturales (hematita y magnetita), donde no existen sustancias contaminantes como las que se encuentran en los yacimientos de sulfuros metálicos.

En realidad el área del precámbrico está formado por provincias con escasísima población, cubierta de floresta sub-tropical o tropical, cuyas aguas van tanto a la cuenca del Amazonas como del río de la Plata.

#### b. Cuenca del Amazonas

La inmensa mayoría de los ríos bolivianos echan sus agua en esta gigantesca cuenca. Por su tamaño y diversidad, se puede diferenciar cuatro áreas, de manera de tratarlas cada una separadamente.

- Área del extremo norte (Pando);
- Flanco noreste de la Cordillera de Los Andes;
- Dentro del "macizo andino", cuyos ríos nacen en el flanco sudoeste de la Cordillera de los Andes.
- Áreas cuyos ríos bañan la planicie oriental del país (Beni y parte de Santa Cruz).

De las anteriores áreas, las que sufren de contaminación minera son las tres primeras, las mismas que se estudiará detalladamente y no así la cuarta.

#### *El área del extremo norte (Pando)*

Esta es una de las áreas donde se han desarrollado más trabajos de minería en estas últimas décadas, sobre todo en los yacimientos auríferos de sus ríos y generalmente mediante la explotación de oro en los aluviones auríferos por parte de pequeñas "cooperativas" o aventureros, muchos de ellos venidos del Brasil.

La explotación que se hace es irracional y no se han tomado ni se están tomando medidas de preservación del medio ambiente. Tampoco existe ningún control gubernamental. Es frecuente el uso de mercurio para recuperar el oro fino y la consecuente contaminación de las aguas de los ríos. No se tienen cuantificaciones exactas del tamaño de la explotación y la contaminación generada; sin embargo, se sabe cualitativamente que ya la flora y la fauna sufren de la contaminación del mercurio.

Varias empresas transnacionales se interesan en explorar estas áreas. Es de esperar que las futuras explotaciones empresariales tengan cuidado de no contaminar el medio ambiente de las áreas que decidan trabajar.

#### *Flanco Noreste de la Cordillera de Los Andes*

Se trata de los flancos noroeste de las cordilleras Real y de Tres Cruces, en cuyos valles corren ríos torrentosos que arrastran arenas con contenido aurífero verificable en la mayoría de ellos. Además de estos yacimientos aluviales se encuentran algunos depósitos vetíferos de minerales de estaño, wólfam y sulfuros de zinc y plomo.

Desde el punto de vista geológico se trata de yacimientos asociados a la actividad magmática de la formación de los grandes intrusivos andinos, así como de la actividad orogénica andina de estos mismos intrusivos. Se han formado yacimientos de paragénesis



profunda, con minerales de alta temperatura y mineralización abundante en oro, estaño y wólfam y alguna mineralización posterior de carácter hidrotermal; esto último en la cordillera Tres Cruces.

Desde el punto de vista ecológico, toda esta área se caracteriza por la abundante lluvia, los profundos valles que la conforman y la abundante vegetación existente por debajo de los 3500 m.s.n.m. La abundante lluvia lava y lixivia permanentemente los depósitos minerales, así como los desmontes y las colas que se han formado a consecuencia de la explotación minera.

No se observan yacimientos de gran envergadura, salvo algunos de medianas dimensiones en la Cordillera de Tres Cruces, que contaminan localmente las aguas de los ríos que los sirven. En algunos casos puntuales como en Caracoles o Viloco, los índices de contaminación están muy por encima de los tolerables.

En algunas minas los índices de contaminación son altos (Chojlla y Caracoles), pero el accionar altamente contaminante está limitado a algunas decenas de kilómetros. A medida que se desciende por los ríos la dilución que experimentan los contaminantes, por el aporte de nuevas aguas, neutraliza poco a poco el poder contaminante. Generalmente son yacimientos de estaño y wólfam (Chojlla, Bolsa Negra), con presencia de abundante pirita entre sus minerales.

Es preocupante en esta sub-área la contaminación de las aguas por medio del mercurio, utilizado en las partes bajas de los ríos con arenas auríferas del norte de La Paz. Las más de doscientas cooperativas que se dedican a la explotación de este metal precioso, tienen poco o ningún cuidado al manipularlo. Se han desarrollado técnicas para evitar este tipo de contaminación y se están poniendo en práctica programas de asistencia técnica para su uso masivo. Sin embargo, la explotación aun es incontrolada.

*Dentro del "Macizo Andino", cuyos ríos nacen en el flanco sudoeste de la Cordillera de los Andes*

En realidad se trata de los ríos que conforman la cuenca del Río Grande y las cabeceras del Río de La Paz, el que luego viene a llamarse Alto Beni. Si bien estos ríos nacen en el otro lado de la cordillera, con respecto a los anteriores, sin embargo los ríos dan una vuelta en los contrafuertes cordilleranos y echan sus aguas en la cuenca del Amazonas.

La cuenca del río de La Paz si bien es afectada por un poco de contaminación de

naturaleza minera, su principal contaminante es antropomórfica; es decir, causada por la actividad de la ciudad, tanto por la industria como por la originada en los desechos humanos e industriales que en ella que se generan.

En la cordillera alta y en las cabeceras de los ríos de esta cuenca se encuentran grandes yacimientos mineros que han sido abundantemente explotados como el de Llallagua-Siglo XX-Catavi, Colquiri, Chicote y Quioma. Se trata además de yacimientos generalmente de origen "hidrotermal", con abundancia en minerales sulfurosos de baja temperatura, que son los que generan las aguas ácidas que resultan ser los principales contaminantes originados por la actividad minera.

Lo más preocupante de esta cuenca es la cantidad enorme de "pasivos ambientales" que se han generado durante décadas, y hasta siglos, de intensa explotación minera del gigantesco yacimiento de Llallagua. Estos pasivos ambientales están presentes en cerros, o más bien, serranías de desmontes que están depositados entre Siglo XX y Catavi.

Por otro lado, se verifica abundante agua de mina con "copagira" que sale de los cientos de kilómetros de socavones abandonados en esta mina, que sea dicho de paso, llegó a ser la mina subterránea de estaño más grande del mundo. Además de los desmontes, se tienen las colas provenientes del ingenio de Catavi y que si bien son pasivos ambientales, también pueden convertirse en activos mineros, si se recupera económicamente el contenido de estaño que aún tienen. En realidad, ya han sido objeto de negociación con empresas privadas interesadas en tratarlas (Mineração Taboca del Brasil).

A pesar de que COMIBOL ya ha cerrado sus operaciones en el distrito minero de Catavi-Siglo XX, todavía viven y trabajan miles de Cooperativistas que son ex-trabajadores de este distrito que se han quedado por no tener otra fuente de trabajo.

En resumen, no solo se tienen "pasivos ambientales" de descomunales dimensiones, acumulados en forma de montañas de desechos, si no que aun se genera una fuerte contaminación ambiental por la explotación minera poco cuidadosa y de supervivencia que realizan los cooperativistas.

El anterior fenómeno es agravado por el hecho de que los contaminantes para producir una tonelada de producto están entre los más elevados. El agua de lluvia es el principal elemento que contribuye a la contaminación ambiental mediante el lavado y lixiviado de los

desmontes y las colas. Estas aguas son diluidas y junto con otras aguas limpias son arrastradas a la cuenca mayor del río grande donde se pierden. A pesar de ello es necesario hacer frente a estos pasivos ambientales de enormes proporciones físicas.

La situación se agrava aun más considerando las aguas de mina y las aguas provenientes del trabajo de los cooperativistas. Estas acusan índices elevados de contaminación aunque extraen pequeños volúmenes de minerales.

Las aguas de mina son verdaderamente un "pasivo ambiental" que es necesario resolver técnica y económicamente, mediante trabajos de cierre definitivo y abandono técnico y planificado del yacimiento y cuya ejecución deberá estar a cargo de COMIBOL, o del Estado boliviano.

El resto de los yacimientos son de mediano a pequeño tamaño, con índices medios de contaminación y que con trabajos relativamente poco caros pueden ser controlados hasta obtener índices bajos o insignificantes.

c. Cuenca del Río de La Plata

En esta cuenca se encuentran los más antiguos yacimientos mineros de Bolivia y cuya explotación se la viene realizando desde hace varios siglos atrás. Principalmente se trata de la cuenca del río Pilcomayo, en su parte alta y media. Los otros ríos, que nacen y drenan el subandino o el Chaco, poco tienen que ver con áreas mineras, aunque sí con la explotación de hidrocarburos.

Los yacimientos más importantes son:

- El Cerro de Potosí y sus alrededores
- El área de las provincias chicheñas (el grupo sur de COMIBOL (Tatasi, Tasna, Chorolque, Quechisla)
- Yacimientos de las serranías de Chayanta que drenan sus aguas hacia el Pilcomayo.

*Cerro de Potosí y sus alrededores*

Es el área que más ha sufrido los embates de la contaminación y destrucción de su medio ambiente. Es posible afirmar que la acción prolongada de la contaminación "directa" e "indirecta" de la minería ha cambiado los ecosistemas potosinos, con un deterioro irreversible de los mismos en sub-áreas próximas a los yacimientos más explotados.

En el cerro de Potosí, el agua que sale de la mina tiene gran disolución de elementos pesados y su acidez es fuerte, con índices elevados por producto extraído. Se encuentra entre las más elevadas de toda la minería boliviana. El agua que proviene de los ingenios y la explotación de las cooperativas también tiene las mismas características de contaminación y hasta más graves, en caso puntuales. Se debe añadir a ello la contaminación antropomórfica de la ciudad. O sea, estamos en presencia de los efectos de los contaminantes de una minería sin control ni acción mínima de preservación del medio ambiente, con los índices más elevados de contaminación minera del país.

El agua que baja por el río que drena el cerro de Potosí y la ciudad del mismo nombre ya no es agua propiamente dicho, sino una especie de mazmorra negra que tiene disuelto y arrastra una cantidad enorme de metales pesados y cuyo grado de acidez raya en lo máximo. Decenas de kilómetros más abajo estas características se mantienen. Es muy probable que la contaminación que producen estas "aguas" tenga efectos negativos centenas de kilómetros más abajo, afectando seriamente la flora y la fauna de las cabeceras del río Pilcomayo.

En cuanto a los índices de contaminación se los puede colocar dentro de los elevados; es decir, que las aguas provenientes del cerro de Potosí llevan disueltos centenas de gramos de minerales pesados para cada kilo de mineral producido y cuya acidez es de las más altas, con un PH que está alrededor de 1 y 2.

Es correcto diferenciar la contaminación que se genera por la explotación "irracional" de las cooperativas y la explotación "controlada" de las empresas, tanto las privadas, como la COMIBOL.

En el área fuera del Cerro de Potosí, se encuentran varios importantes yacimientos como Porco, Caballo Blanco, Canutillos, Andacaba y Kumurana.

*Caballo Blanco*

Controla su contaminación y tiene índices bajos de contaminación

#### *Porco*

Es un yacimiento donde se han efectuado esfuerzos serios para controlar la contaminación ambiental y tiene índices bajos con respecto al producto.

#### *Canutillos*

Está parcialmente abandonado, pero con pasivos ambientales

#### *Andacaba y Kumurana*

Están ubicadas en la misma sub-cuenca y generan índices de contaminación de medios a altos, con poco control de los mismos y que fácilmente podrían convertirse en altos, si los volúmenes producidos se incrementaran considerablemente y no se revirtiera la situación actual.

#### *El área de las provincias chicheñas (el grupo sur de COMIBOL: Tatasi, Tasna, Chorolque, Quechisla)*

Esta área, tradicionalmente minera, se caracteriza además por su clima desértico y frío, donde el recurso escaso es justamente el agua. Si bien en esta área los yacimientos explotados están relativamente dispersos, no es menos cierto que se concentran sus actividades contaminantes en algunos centros como Telamayu y Atocha.

En esta área se verifican, con cierto dramatismo, los efectos devastadores de la contaminación ambiental sobre el medio ambiente. A tal extremo que todo el valle que descende desde los ingenios de Telamayu ha sido totalmente arrasado por la acción de las aguas ácidas y los metales pesados disueltos en ella, en distancias del orden de los cientos de kilómetros. Se ha afectado seriamente la producción agrícola de los valles de Cotagaita, cuyas

tierras han sido inutilizados de manera irreversible en miles de hectáreas y ahora son páramos deshabitados y desolados.

Evidentemente, la mayoría de estos yacimientos han sido cerrados por COMIBOL, pero, al igual que en los otros yacimientos de esta empresa, algunos grupos de los ex-mineros siguen trabajando, bajo la forma de "Cooperativas". Aunque los volúmenes trabajados sean reducidos, los efectos contaminantes continúan, con índices de medios a altos. Muchos de estos yacimientos ya han sido licitados por COMIBOL y son objeto de contratos de Riesgo Compartido o de Arrendamiento. En varios casos ya se están ejecutando estos contratos y se están efectuando trabajos preliminares de exploración. Los futuros trabajos mineros deberán tomar en cuenta la contaminación ya producida y la que podrían producir para controlarla totalmente. El Estado o COMIBOL tendrán que hacerse cargo de los pasivos ambientales acumulados.

A nuestro juicio esta es un área altamente sensible a la contaminación ambiental por el clima desértico que tiene y por la cercanía de los valles chicheños, de altísima vocación agropecuaria y densa población humana.

#### *Yacimientos de las serranías de Chayanta que drenan sus aguas hacia el Pilcomayo*

Cuando hablamos de la serranía de Chayanta nos referimos a las montañas que están ubicadas en medio del norte potosino y que antiguamente se la conocía con ese nombre. Incluso comprendía una única provincia Chayanta, nombre dado a todo el norte potosino, durante los primeros años de la República. Esta serranía en su flanco sur drena sus aguas hacia el río Pilcomayo; es decir, a la gran Cuenca del Plata. Se ubican muchos yacimientos importantes, como el de Colquechaca y el de Ocurí; sin embargo, el área no es tan importante como los dos anteriores, porque Colquechaca ha dejado de ser explotado y Ocurí también ha paralizado sus actividades por los bajos precios del estaño. En ninguno de estos yacimientos, ni en los otros de menor magnitud se han tomado los recaudos necesarios para evitar o mitigar la contaminación generada por la actividad minera. No se disponen de datos para ponderar de manera homogénea la contaminación pero los índices están entre los medios.

d. Cuenca Endorréica del Altiplano

Esta es el área más preocupante por el carácter endorréico de la cuenca. Todos los desechos quedan en la misma y existe un proceso de acumulación. Al ser un proceso acumulativo se va produciendo, de cierta manera, un fenómeno con características de irreversibilidad que lo convierte en un área de extrema sensibilidad.

Desgraciadamente, en esta área se encuentran los yacimientos mineralógicos más contaminadores. Su concentración geográfica, en uno de los bordes de la Cuenca del Lago Poopó, es un agravante que hace que este fenómeno de contaminación sea más grave que en otras áreas. Se ubican los depósitos mineros de San José, Huanuni, Bolívar, Tiahuanaku, Santa Fe, Japo y los del "Cañadón Antequera". También pertenecen a este grupo los yacimientos de "La Joya" (cuyo depósito de Koricollo es explotado por la empresa "Inti Raymi").

Junto con el área de Potosí, este es uno de los más estudiados. El Banco Mundial está financiando un proyecto piloto de estudios sobre la contaminación ambiental de la minería en el sub-área de Oruro.

*Mina de San José*

Es la mina que dio origen a la ciudad de Oruro. Es uno de los yacimientos cuya explotación produce los índices de contaminación medio-ambiental más altos del país. Es un récord que comparten con el del Cerro Rico de Potosí.

Existen algunos factores que hacen particular este yacimiento. Por un lado, es un antiquísimo yacimiento de plata explotado desde la colonia. Luego se lo ha explotado como yacimiento de estaño hasta hace muy poco. Ahora se lo mantiene en funcionamiento para futuras explotaciones ya sea de plata, plomo, zinc o estaño. Por otro lado, las características del yacimiento, desde el punto de vista mineralógico, lo hacen altamente contaminante por disponer de abundante pirita diseminada en la roca misma. O sea, cualquier explotación genera sulfuros altamente solubles. Además, el yacimiento está en parte por debajo del nivel del suelo y por lo tanto sometido a la acción de las aguas subterráneas.

La acción conjunta de los factores citados le otorgan a este yacimiento una gran

propensión a generar aguas de mina muy ácidas, las que medidas dan índices de altos a elevados, o sea prácticamente los máximos. Fuera de la mina, se han acumulado desmontes y colas que también generan contaminantes, por percolación de las aguas de lluvia, las que luego por escurrimiento o por infiltración se añaden a las aguas de la cuenca del Lago Poopó. Este es un yacimiento de difícil control medio-ambiental, agravado por el hecho de encontrarse cercado por la Ciudad de Oruro, en medio del altiplano, sin posibilidades de escurrimiento de sus aguas servidas o usadas.

### *Huanuni*

Este es uno de los más ricos yacimientos de estaño de Bolivia. Actualmente está funcionando discontinuamente, a pérdida, por falta de buena gestión empresarial y control eficiente del continuo y masivo juqueo (robo de mineral en los parajes).

Como es típico en todos los grandes yacimientos subterráneos intensamente explotados en esta mina se han generado deshechos y una inmensa red de galerías que son el origen de la lixiviación de los sulfuros y la formación de aguas ácidas, tanto dentro como fuera de la mina. Por otro lado, las actividades de concentración a la que se someten los minerales que se producen generan a su vez deshechos que se vierten voluntaria o involuntariamente hacia ríos que desembocan en río Sora Sora, el que a su vez los arrastra hacia el Lago Poopó. Las mediciones en estos yacimientos de los índices de contaminación dan cifras que los sitúan entre altos a elevados, agravados por el hecho de que los deshechos son vaciados en el río Sora-Sora que es uno de los más contaminados del país junto con los ríos de Potosí y Telamayu.

De forma idéntica a lo que sucede en el sub área de Llallagua, la presencia y el trabajo de los "Cooperativistas" es masiva (las autoridades de la empresa COMIBOL calculan que sobrepasan los 2.500 hombres). Estos cooperativistas, entre otras actividades, explotan las colas y desmontes antiguos en el lecho de los ríos, a lo largo de varias decenas de kilómetros, generando índices elevados de contaminación.



### *Santa Fe, Japo y Morococala*

Son otras minas de la cuenca del río Sora-Sora. Están paradas o abandonadas, pero en sus sub-áreas o zonas de influencia minera se han acumulado desechos tanto en desmontes como en colas y lamas. La presencia de minerales con alto contenido de sulfuros molidos, los hace propicios a su lixiviación, presentando además aguas residuales de mina, las que salen de estos yacimientos de manera permanente y sin ningún control.

La Cuenca del Río Sora-Sora tiene los más altos índices de contaminación generados tanto por la explotación actual como de los pasivos medio-ambientales contaminantes, dejados por anteriores explotaciones. Se considera entre las áreas más contaminadas y contaminantes del territorio boliviano, juntamente con las áreas del Cerro de Potosí y Telamayu (en el sur).

Mientras en Potosí y Telamayu la dilución de las aguas ácidas se efectúa por el aporte de otros ríos y en grandes distancias; en el caso del río Sora-Sora, donde van los desechos de Huanuni, este fenómeno de dilución no se registra porque casi de inmediato estas aguas llegan al Lago Poopó, destino final de las aguas drenadas por este río.

Fuera de la cuenca del río Sora-Sora, están las cuencas del río Poopó y la del cañadón Antequera. En ambos casos se trata de cuencas relativamente pequeñas y muy pegadas al Lago Poopó. Son cuencas con índices de contaminación menores que el del río Sora-Sora, pero también descargan sus aguas al Lago Poopó, destino final y acumulativo de toda la contaminación generado durante siglos de explotación. La intensa explotación de la era del estaño, concentrada en estas zonas, ha generado y sigue generando una fuerte contaminación de las aguas y suelos de este lago, con características de irreversibilidad.

Cabe señalar también que la cuenca del Lago Poopó se encuentran dos yacimientos que están esforzándose por controlar y limitar al máximo sus efectos contaminantes. Se trata de mina Bolívar y de Inti Raymi. Los esfuerzos de Inti Raymi son quizá los más eficientes, aunque el sistema de autodegradación de los cianuros, por acción del sol y el aire puede no ser tan efectivo en horas de excesivo calor, por generar aire peligrosamente letal para las aves que se aproximan a sus estanques.

Mina Bolívar, por ser un yacimiento antiguo que estaba a cargo de COMIBOL, hasta

hace poco, no tiene las mismas características de meticulosidad de Inti Raymi. Además, aún perduran pasivos medio-ambientales de la explotación de épocas anteriores.

### **III. Contaminación en la Producción de Minerales**

En esta parte se estimará la cantidad de contaminantes medio-ambientales que se producen en la explotación de cada uno de los productos mineros de manera global y bajo los supuestos señalados en la primera parte de este trabajo. Estos datos sólo sirven para estimar los efectos económicos de la minería y no así como indicadores de naturaleza técnica para su utilización en mediciones específicas.

#### *Estaño y Wólfram*

Hablar del estaño en Bolivia, en cualquiera de sus tópicos, es hablar de la historia misma del país durante los últimos cien años. Lo que se diga para el estaño es aplicable al wólfram por ser este un pariente muy cercano. Donde hay estaño hay wólfram y tienen un comportamiento parecido. Lo que puede variar es su distribución geográfica y su volumen de explotación.

El estaño se presenta en casi todo el territorio montañoso de la geografía boliviana, bajo la forma de diversos minerales, donde la casiterita (óxido de estaño) resulta ser la más común de sus variedades. Por su parte, la casiterita adquiere formas variadas: desde bellos cristales,

casi transparentes; pasando por una cristalización menuda, de colores oscuros; hasta casiterita de tipo coloidal, de color madera. Se presenta dentro de vetas mineralizadas, bajo forma de material aluvional, diseminado en la masa de una roca. Nunca está sola, siempre le acompañan una gran cantidad de minerales o es, a su vez, acompañante de otros.

Teóricamente, en la casiterita pura se encuentra 78,6% de estaño y el resto es oxígeno. Cuando nos referimos a la ley de un mineral, nos referimos al porcentaje de estaño dentro de ese mineral. Desde el punto de vista práctico, no existe un mineral de estaño que tenga una ley del 78,6%, como mena de estaño, es decir, como mineral explotable.

Cuadro 3

Mineral de Explotación

Metal	Mineral	Especificación		Índice Denominativo	Índice Numérico
		Proceso	Lugar		
Estaño Wólfam	Casiterita	Extracción	Ganga Agua	Bajo	1
	Casiterita	Lixiviación		Alto	4
	Casiterita	Concentración		Medio	3
	Casiterita	Desmontes		Alto	4
	Wolframio	Cooperativas		Alto	4
	Wolframio	Empresas		Bajo	1
	Wolframio	Cooperativas		Medio	3
	Wolframio	Cooperativas		Medio	3
Antimonio	Estibamina	Concentración	Ganga Agua	Medio	3
Zinc	Esfalerita	Concentración		Bajo	1
Plomo	Galena	Concentración		Bajo	1
Plomo	Galena	Concentración		Bajo	1
Oro	Veta	Concentración		Bajo	1
	Veta	Refinación controlada		Ninguno	0
	Aluvional	Cooperativistas		Alto	4

Fuente: Elaboración propia

La inmensa mayoría de los minerales de estaño, bajo forma de casiterita y que se

explotan en la actualidad, fluctúan en sus leyes del 0.5% al 2.5%. Las entregas que se hacen para su comercialización o fundición fluctúan del 35% al 45% para minerales de alta ley y del 10% al 20% para minerales de baja ley.<sup>1</sup> Por motivos de cálculo vamos a suponer un promedio en leyes de cabeza del mineral; es decir, que nuestra ley será del 1,5%; obteniéndose en el proceso de concentración una ley promedio del 40%, para minerales de alta ley y del 15% para los de baja ley.

El proceso de contaminación se inicia con la voladura de la roca que contiene la veta mineralizada. En este momento se separa la veta mineralizada de la ganga. Esta separación no es perfecta, ni mucho menos; es decir que parte de la mineralización se va con la ganga (dilución) que puede llegar hasta el 20%. Esta ganga se lleva a los desmontes de la mina o simplemente a la "cancha mina". Este tipo de desmontes antiguos sirven en algunos casos de mineral de cabeza para la concentración de los mismos (por ejemplo, en el Cerro de Potosí). Las grandes acumulaciones de ganga son materiales contaminantes por lixiviación de los minerales que contienen. Estas gangas producen índices bajos de contaminación, sin embargo por el volumen pueden ser muy contaminantes; es decir, que para producir una tonelada métrica (TM) de mineral del 1.5% de ley se producen 200 kilos de minerales potencialmente contaminantes. Si en una mina como Huanuni se van a tratar 1000 ton/día, se van a producir 200 TM. de minerales potencialmente contaminantes en la ganga, por día.

La contaminación de la ganga es a largo plazo, por el proceso lento de lixiviación de los sulfuros, con índices bajos. Pero, por su acumulación en el tiempo, en un lugar pre-determinado, genera índices medios de contaminación, que pueden pasar a alto si no se controlara su volumen.<sup>2</sup>

La segunda contaminación se produce en el proceso de concentración de la casiterita. Para concentrar la casiterita de ley del 1,5%, se la somete a un proceso molienda, gravimetría y flotación, de tal manera que se la separa de los otros minerales y la ganga hasta obtenerse un producto con una ley del 40%. En el proceso se pierde una parte del mineral hasta un 35%, que

---

1 La baja o alta ley de un mineral, depende solo del proceso de concentración al que ha sido sometido. Un buen proceso de concentración proporciona minerales de alta ley. Generalmente los minerales de baja ley son los que no han concluido su proceso de concentración.

2 Desde el punto de vista físico-químico, la generación de agua ácida por lixiviación de la pirita, se acelera exponencialmente en un medio confinado o sin tratamiento.

se va con los otros minerales y las colas del ingenio. En el proceso se emplea agua y productos químicos (flotación) que contaminan el agua. Los minerales que no se logran separar se acumula en depósitos de colas y lamas o se van a los ríos cercanos a la mina. El agua del ingenio que no se recicla sale con índices medios de contaminación y las colas, lamas y los desmontes, son potenciales contaminantes con índices bajos. Pueden pasar fácilmente a índices altos de contaminación al mezclarse con otros elementos químicos. Las cooperativas productoras de estaño, que explotan los antiguos desmontes o veneros, producen índices altos de contaminación, por el ningún tratamiento que hacen a sus residuos y por la imperfección de sus métodos de concentración.

Por otra parte, en una cuenca se pueden acumular la contaminación de los desmontes (con índices bajos), de las aguas de los ingenios (con índices medios) y de la explotación artesanal de estos residuos minerales (con índices altos) y convertirse, por acumulación, en índices elevados. Este es el caso del río Sora-Sora, del río Atocha y del río que baja de Potosí.

Para fines de cuantificación se supondrá que la producción de estaño de las cooperativas produce índices altos de contaminación. A la producción de estaño de otros sectores solo se aplicará índices medios.

Para el wólfam no todos los anteriores índices son aplicables. En realidad, no ha habido acumulación de colas y desmontes tan pronunciada como en el estaño. Por tanto, se considera que producen sólo índices medios de contaminación para las cooperativas e índices bajos para el resto de la minería.

## **Antimonio**

Otro metal muy peculiar en la historia de la minería boliviana es el antimonio, donde Bolivia siempre ha ocupado un lugar de privilegio, entre los productores mundiales de este metal.

El antimonio está sumamente difundido en toda la cordillera oriental de nuestro país, desde la frontera peruana hasta la Argentina.

Según F. Ahlfeld,<sup>3</sup> "los depósitos antimoníferos bolivianos se presentan casi

---

<sup>3</sup> Geólogo alemán que dedicó su vida a estudiar esta ciencia dedicada a la naturaleza de nuestro suelo, subsuelo y nuestras

exclusivamente en forma de vetas, alojadas en sedimentos ordovísicos, y devónicos oscuros y bastante blandos. Ocasionalmente aparecen también rellenando pequeñas vetillas de areniscas. Casi todos los yacimientos importantes se ubican a lo largo de zonas de dislocación, paralelas al rumbo y buzamiento de la estratificación y siguen los ejes anticlinales sobre largas distancias". Siguiendo este mismo autor, la estructura de la mayoría de la vetas antimoníferas se caracteriza por un desarrollo muy irregular, formando bolsones dispuestos en forma de rosario, generalmente de tamaño reducido, que no sobrepasan los 200 metros de extensión. Muchos de estos bolsones empobrecen en profundidad es de 60 a 100 metros. Empero en casos excepcionales profundizan hasta los 200 metros (minas Caracota, Churquini y Rosa de Oro). Los bolsones a veces contienen minerales muy ricos con 60 a 65% de ley, los que no necesitan procesos de concentración. Algunas minas célebres han producido hasta 12.000 toneladas métricas bajo esta modalidad: Churquini, Rosa de oro, Caracota y Chilcobija. Sea dicho de paso, la estibina o antimonita (principal mena de antimonio  $Sb_2S_3$ ), contiene teóricamente 71% de este metal, en estado puro. El resto es el azufre que lo compone. El contenido de oro suele ser muy importante. Muchas minas de antimonio por el alto contenido de oro pueden convertirse en minas de oro.

Para poder estimar los índices de contaminación vamos a efectuar los mismos supuestos que para el estaño. Es decir, se supone que solo se trata de una explotación minera, donde el único mineral trabajado es el antimonio, bajo forma de "estibina", cuyos acompañantes son los mismos y no varían. A diferencia del estaño, en los minerales de antimonio se requieren de leyes de cabeza mucho más altas. Las barrillas de exportación deben ser de alta ley para evitar los fuertes castigos por impurezas. Las principales impurezas son el arsénico y el plomo. Por otro lado, la producción histórica de antimonio ha estado concentrada en pocas empresas de la minería mediana (EMUSA, Churquini, San Juan y Bernal Hns.) y en la minería chica del sur. Pocas empresas han desarrollado sistemas eficientes de concentración y más bien se han avocado a ubicar bolsones ricos, que no requieren de estos sistemas.

Las leyes de las vetas están entre 15 a 25%, donde la dilución por explotación de mina son algo más elevadas que en el estaño y pueden alcanzar hasta el 30%. Por otro lado, la recuperación del mineral por concentración puede llegar al 70%. Las barrillas para su entrega

están entre el 45 y 55%, con castigos en materia de impurezas, salvo el oro que se paga a su valor.

La principal contaminación de la explotación de la estibina está en la generación de desmontes con altos contenidos de minerales solubles, es decir sulfurosos, como la pirita y la misma estibina que además puede contener sales de arsénico, elemento altamente contaminante cuando se presenta en determinados tipos de sales. Para extraer una tonelada de mineral de antimonio de una ley del 20% se generan 300 kilos de minerales potencialmente contaminantes, con índices de contaminación medios.

En el proceso de concentración también se generan aguas ácidas con índices medios de contaminación; colas y lamas con cantidades importantes potenciales de minerales contaminantes (pirita, estibina y otros sulfuros). Los índices de estos residuos se los puede calificar de medios.

Fuera de la contaminación "directa", por explotación minera, existe la contaminación indirecta por fundición de estos minerales y generación de anhídrido sulfuroso en las chimeneas. Este puede convertirse en ácido sulfúrico si no se lo trata. Hasta la fecha se ha liberado, sin tratamiento, este anhídrido sulfuroso en las pequeñas fundiciones que lo generan. Se pueden aplicar a este fenómeno índices bajos de contaminación del aire, por el pequeño volumen que tratan. Si se fundiera todo el antimonio que se produce en Bolivia, en la planta de Vinto de Oruro, se tendrían que aplicar índices de medios a altos de contaminación del aire.

### *Zinc, Plomo y Plata*

El zinc, el plomo y la plata generalmente están asociados. Es así que las transnacionales del zinc, son también del plomo y de la plata.

Desde el punto de vista mineralógico, donde hay minerales de zinc hay necesariamente minerales de plomo. La plata viene en cantidades menores dentro los minerales de zinc. En Bolivia, durante la colonia se explotaron solo los minerales de plata de los depósitos plumbo-zinquíferos. En muchos casos, las escorias que se acumularon, como consecuencia de la separación del plomo de la plata, se vendieron, en los primeros años de este siglo, como concentrados de plomo, de una gran cantidad de estos depósitos múltiples (Quioma, Oruro y

Huanchaca).

El principal mineral de plomo es la galena (sulfuro de plomo), que tiene un contenido teórico del 86,6%, en estado totalmente puro. Se presenta en vetas, a veces bien cristalizadas, en fisuras abiertas y geodas, generalmente en forma maciza y disseminada en la ganga. La galena es el principal portador de la plata, la que puede contenerla en leyes que van desde indicios hasta un 2%. Los depósitos plumbíferos de reemplazamiento en rocas calcáreo-dolomíticas (muy comunes y difundidas en otros países mineros), escasean en Bolivia, debido a la ausencia de carbonatos en las zonas mineralizadas.

El principal mineral comercial del zinc es la esfalerita, que contiene teóricamente 63% de zinc. Rara vez se presenta puro sino mezclado con sulfuros de hierro, en mezcla isomorfa. Estas esfaleritas con alto contenido de hierro se las llama "marmatitas". La mayor parte de los minerales de zinc de nuestro país tienen alto contenido de hierro y no sobrepasan del 55% de ley en zinc. Las blendas o esfaleritas, formadas a bajas temperaturas, contiene sulfuro de cadmio en forma isomorfa.

Los minerales de plata que acompañan a los de zinc y plomo son de una gran variedad. La tetraedrita, un sulfuro complejo de Cobre, Arsénico, Antimonio y Plata; la "tenantita", otro sulfuro complejo sin antimonio; la "pirargirita" ( $\text{Ag}_3\text{SbS}_3$ ), conocido como el "rocicler" en la colonia; la "argentita" ( $\text{Ag}_2\text{S}$ ); Andorita, polibasita y miargirita). Por oxidación de los anteriores sulfuros se ha formado la "querargirita" ( $\text{AgCl}$ ) o negrillo, muy explotado en Potosí durante la colonia.

El hecho de que el plomo y el zinc estén asociados, no quiere decir que vayan juntos. En el sur del país se han explotado cientos de pequeñas minas, con alto contenido de plomo, sin necesidad de concentración. También se han ubicado minas que han producido únicamente zinc. La inmensa mayoría de los yacimientos por sus características polimetálicas (Potosí, Chorolque, Oruro, Huanuni, Porco y San Vicente) tienen áreas de zinc y áreas de plomo.

Precisamente, la separación del zinc de otros minerales en los yacimientos polimetálicos complejos ha sido un problema metalúrgico que ha tardado en ser resuelto. Muchas empresas han fracasado en su intento (Caballo Blanco); pero, últimamente, gracias a modernos procedimientos, afinados y computarizados, se han logrado explotar grandes yacimientos como Huari-Huari y Porco, originando el "boom" de exportación de minerales de



zinc de la última década.

Para poder estimar los índices de contaminación vamos a efectuar los mismos supuestos realizados previamente, es decir, se supone que solo se trata de una explotación minera, donde el único mineral trabajado es la esfalerita para el zinc y la galena para el plomo. En este último el contenido de plata es muy importante. Muchas minas de plomo y zinc por el alto contenido de plata pueden convertirse en minas de plata y no simplemente de plomo o zinc (Cerro Rico de Potosí).

La leyes de los minerales de zinc y de plomo, en veta, van desde 2.5% hasta un 7.5% de contenido metálico. Los concentrados que se obtienen pueden llegar hasta un 45%, tanto para el zinc como para el plomo. Solo se explotaba plomo en los yacimientos de baja temperatura del sur, en razón a que la mayoría de ellos son bastante ricos y generalmente no requieren concentración y tienen leyes superiores al 55%. Desgraciadamente, son pocos los yacimientos que aún se trabajan con estas buenas características (10% de la producción actual). El porcentaje de recuperación por los modernos procesos de concentración ha subido considerablemente. Se pueden lograr resultados por encima el 80% (para fines de cálculo se puede tomar esta última cifra).

La contaminación, como en toda la minería sobre vetas, se inicia con la voladura del tope del socavón, por la dilución de la explotación en socavones, la que llega al 20% de las vetas. En esta fase se generan los desmontes "ligeramente mineralizados", pero que son potenciales contaminantes. Para el zinc, el plomo y la plata se aplicaran los mismos índices que para los otros minerales de veta; es decir, para producir una tonelada de mineral de veta se generan 200 kilos de desmontes potencialmente contaminantes, o sea con índices de contaminación bajos.

La principal contaminación para la producción de concentrados de plomo, zinc y plata, es la producida por la concentración de los minerales. Modernamente, se han desarrollado técnicas de concentración altamente eficientes y que se controlan bastante bien, pero que todavía generan **índices de contaminación bajos**. Mediante la construcción de dique de colas y el tratamiento del agua de los ingenios se pueden reducir la contaminación a índices bajos, o de cierta manera aceptables.

Lo que no se puede reducir es la cantidad de pasivos ambientales que se han generado en el pasado y que a veces pueden ser enormes como en Potosí y San Vicente.

### *Oro de Veta y el Oro Aluvional*

El oro es uno de los pocos metales que se encuentra en la naturaleza en forma nativa. Sólo existen algunos teluros de este metal; pero, no se los ha encontrado en territorio boliviano. Este metal precioso está repartido prácticamente en todo Bolivia, tanto en el oriente precámbrico, como en las montañas de Los Lípez. Se lo encuentra con mayor facilidad en el flanco nor oriental de las altas cordilleras del norte, donde está ubicado en los aluviones de casi todos los ríos. También se lo encuentra en los filones alojados en las partes altas de esta misma cordillera. Por otro lado, acompaña a otros minerales, diseminado en las piritas de los yacimientos subvolcánicos y en la mayoría de los minerales de antimonio. Evidentemente, el contenido de todos estos yacimientos es muy bajo, comparado con el de los minerales. Se habla generalmente de gramos por tonelada, hasta de decenas de gramos por tonelada métrica.

Una buena parte del oro se explota mediante el "lavado" de las arenas auríferas; otra, mediante su extracción de vetas y finalmente mediante la separación del metal precioso de las piritas y otros minerales, ya sea en fundición o por procesos hidrometalúrgicos, como en el yacimiento de Koricollu de la empresa Inti Raymi.

La extracción de oro de las arenas auríferas genera la destrucción de los suelos donde se encuentran estas arenas y la contaminación del suelo y el agua por efecto del mercurio, utilizado en la extracción de los finos de estas arenas y que no fue posible extraerlos por gravimetría. Si bien el mercurio utilizado en la amalgamación del oro es recuperable, se pierde una parte de él; por el poco cuidado que tienen los cooperativistas al manipularlo. Se estima que se pierde en el proceso del 1 al 3% del mercurio utilizado en cada operación. En cambio en los procesos hidrometalúrgicos empleados modernamente, se llega a controlar totalmente el proceso y se recuperan prácticamente todos los productos químicos.

Se puede estimar que en toda Bolivia las decenas de miles de cooperativistas llegan a producir entre 12 y 14 toneladas de oro al año; o sea de un 30% al 60% más que la producción de la empresa Inti Raymi. De esta producción por lo menos el 10% es producida por

amalgamación; o sea, 1,3 ton. en promedio anual. Ahora, para amalgamar un gramo de oro se requiere otro gramo de mercurio. Si tomamos un promedio del 2% en las pérdidas de mercurio por manipuleo, tendremos que se generan 26 kilogramos de mercurio, de los cuales por lo menos la mitad va a parar a los ríos, contaminándolos. Este es el principal medio contaminante originado por la explotación aurífera descuidada y poco técnica.

En los yacimientos filonianos las operaciones son extremadamente cuidadosas por el alto valor del oro y lo caro que resulta el mercurio, si se lo emplea para amalgamar el oro producido. Generalmente se trata de operaciones mecanizadas y técnicamente bien manejadas, por el hecho de que se tiene que recuperar todo el oro posible. Por otro lado, generalmente el oro está alojado en vetas de cuarzo, donde no hay muchos otros minerales. La contaminación por dilución de la explotación minera es prácticamente insignificante.

La aplicación de altas tecnologías hidrometalúrgicas en la explotación de piritas auríferas, como en el caso de Inti Raymi, permite el control total del proceso y por lo tanto se puede decir que no generan contaminación del medio ambiente. Sin embargo, existe lo que se ha llamado la contaminación potencial, por los desechos de producción que se generan, tanto en ganga como en colas. Tienen un alto contenido de piritas solubles y lixiviables por el agua de lluvia. Si se los deposita en los diques de colas se controla la contaminación, pero no se la elimina y queda como una fuente potencial de contaminación ambiental.

## **Conclusiones**

Luego de examinar la experiencia minera boliviana se concluye que toda explotación minera conlleva la generación de contaminación que destruye el medio ecológico en el área donde está ubicado el yacimiento que se explota. Sin embargo, la contaminación puede controlarse y disminuir sus efectos negativos sobre el medio ambiente, aunque en ningún caso desaparecen o se hacen totalmente nulos.

En el presente trabajo se diseña un índice basado en medidas cuantitativas de la emisión de materiales contaminantes por unidad de producto que permite hablar en términos generales sobre la contaminación producida por la minería. Existen varios conceptos que pueden desarrollarse alrededor de estos índices pero la más importante es la generalización de términos

para permitir comparaciones.

Por otra parte, se han identificado las regiones geográficas donde se encuentran los yacimientos de importancia económica más relevantes. Estas son: el Precámbrico, la Cuenca del Amazonas, la Cuenca del Río de La Plata y la Cuenca Endorréica del Altiplano. Se evalúa su actual estado de explotación y contaminación. El objetivo de esta parte es identificar, con los actuales conocimientos técnicos, los lugares donde podrían asentarse nuevas explotaciones mineras y los problemas que se tendrían que afrontar desde el punto de vista medio-ambiental. Las distintas regiones, sub-regiones, cuencas y áreas bolivianas tienen distintos grados de contaminación debido a la actividad minera. En algunos casos la contaminación ha sido tremendamente destructora; en el otro extremo se tienen áreas que aun no han sido tocadas por el hombre e incluso son totalmente vírgenes.

Por último, se ha identificado los minerales y metales que se han producido hasta el momento y los que podrían producirse en el futuro y cuyas características de contaminación ambiental interesarían conocer los inversionistas mineros. Estos son: el estaño, el zinc, el oro, la plata y el plomo. Una conclusión que se obtiene es que el universo de minerales explotables no ha cambiado mucho a lo largo del tiempo y tampoco existen, por el momento, adelantos tecnológicos y capitales de riesgo suficientes que permitan la explotación de otros minerales que se encuentran en territorio boliviano; esto por lo menos en el futuro próximo. Se conocen, desde hace siglos, regiones cuya principal actividad ha sido la minería de cierto tipo de mineral específico y por lo tanto han sufrido y también en algunos casos siguen sufriendo los efectos negativos de esta actividad sobre su medio ambiente. Un ejemplo es la región del Potosí y la plata.

En términos generales en Bolivia, los efectos negativos de la explotación minera no han sido objeto de cuidados para por lo menos mitigarlos. Salvo algunas acciones precautorias en contados yacimientos explotados por la minería mediana y correspondientes a los últimos diez años, casi no se ha hecho nada.

Por otro lado, se están expandiendo las áreas de explotación minera hacia nuevas regiones, donde en algunos casos comienza a sentirse los efectos negativos de una explotación irracional o poco cuidadosa con respecto al medio ambiente. Se tienen previstas otras áreas para su explotación futura, donde tendrían que preverse medidas para evitar los daños que toda

actividad minera causa y que si no se toman las medidas precautorias suelen ser desastrosas, hasta irreversibles.

## **Bibliografía**

ABECIA BALDIVIESO, Valentin (1988). Mitayos de Potosí. Técnicos Editoriales Asociados: Madrid-España.

AHLFELD, Federico y SCHENEIDER-SERVINA, Alejandro (1964). Los yacimientos minerales y de hidrocarburos de Bolivia: Boletín No. 5. Ministerio de Minas y Petróleo: La Paz-Bolivia.

BAPTISTA GUMUCIO, Mariano (1988). Potosí, Patrimonio Cultural de la Humanidad. Compañía Minera del Sur (COMSUR): La Paz-Bolivia.

BOHAN, Mervin L. (1942). "Report of the U.S. Mission to Bolivia". La Paz - Bolivia. Mimeo.

CAPRILES VILLAZON, Orlando (1977). Historia de la Minería Boliviana. Biblioteca BAMIN: La Paz -Bolivia.

CALLOT, Francois (1970). Les Richeses Mineires Mondiales. Ed. SEUIL: París-Francia.

CRESPO, ALFONSO (1981). Los Aramayo de Chichas. Editorial BLUME: Barcelona- España.

CONTRERAS, Manuel y PACHECO, Mario (1989). Medio siglo de Minería Mediana en Bolivia: 1939-1989. Biblioteca Minera Boliviana de la Asociación de Mineros Medianos: La Paz-Bolivia.

PEÑALOSA CORDERO, Luis (1981). La Nueva Historia económica de Bolivia. Ed. Los Amigos del Libro: La Paz-Bolivia.

PEÑARANDA SUBIETA, Jaime (1993). El fabuloso cerro Rico de Potosí. Ministerio de Minería y Metalurgia: La Paz- Bolivia.

QUEREJASU CALVO, Roberto (1978). Llallagua, Historia de una montaña. Ed. Los Amigos del Libro: La Paz.

VAN RENSBURG, W.C.J. y BAMBRICK, S.(1978). The economics of the World's minerals industries. Ed. McGraw-Hill Book Company: Johanesburg-South Africa.

## **A N E X O**

### **INDICADORES DE CONTAMINACION PARA EL ESTAÑO**

(en tons.)

#### **Para Comibol, Minería Mediana y Mineros Chicos**

- Volumen de metal fino: 1.000,000 tons
- Volumen de concentrados (40% de ley): 2.500,000 tons
- Volumen de mineral extraído de mina: 66.000,000 tons
- Volumen de minerales ganga (dilución): 13.333,000 tons
- Volumen de colas (con 0.5% de ley): 5.000,000 tons
- Volumen contaminación al agua, ingenio: 0,333 tons
- Volumen contaminación desmontes: 0,666 tons
- Agua de mina ácida (Ph = 4), contenido de metales pesados contaminantes medio (entre 1 y 9 gr por litro; Prom. 5 gr/L)
- Agua de ingenio ligeramente ácida (Ph 5), contenido de metales pesados contaminantes bajo ( 0.05 gr/l).

#### **Para las cooperativas**

- Volumen de metal en fino: 1.000,000 tons
- volumen de concentrados (20% de ley): 5.000,000 tons
- Volumen contaminación agua de ingenio: 0,666 tons
- Volumen de colas (echadas al río): 5.000,000 tons
- Agua liberada ácida (Ph = 3), contenido de metales pesados contaminantes: alto (entre 10 y 90 gr/l; Prom. 50 gr/l)

### **INDICADORES DE CONTAMINACION PARA EL WÓLFRAM**

(en tons.)

#### **Para todos los productores (menos las cooperativas)**

- Volumen de metal fino: 1.000,000 tons
- Volumen de concentrados (40% de ley): 2.500,000 tons
- Volumen de mineral extraído de mina: 66.000,000 tons
- Volumen de minerales ganga (dilución): 13.333,000 tons
- Volumen de colas (con 0.5% de ley): 5.000,000 tons
- Volumen contaminación al agua, ingenio: 0,033 tons
- Volumen contaminación desmontes: 0,066 tons
- Agua de mina ligeramente ácida (Ph = 5), contenido de metales pesados contaminantes medio (entre 1 y 9 gr por litro; Prom. 5 gr/L)
- Agua de ingenio ligeramente ácida (Ph 5), contenido de metales pesados contaminantes bajo ( 0.05 gr/l).

#### **Para las cooperativas (los mismos valores anteriores, excepto...)**

- Volumen contaminación agua de ingenio: 0,333 tons
- Agua liberada ácida (Ph = 5), contenido de metales pesados contaminantes alto (entre 1 y 9 gr/l; Prom. 5 gr/l)

### INDICADORES DE CONTAMINACION PARA EL ANTIMONIO

(en tons.)

-	Volumen de metal fino:	1.000,000 tons
-	Volumen de concentrados (50% de ley):	2.000,000 tons
-	Volumen de mineral extraído de mina:	5.000,000 tons
-	Volumen de minerales ganga (dilución):	1.500,000 tons
-	Volumen de colas (con 2.5% de ley):	3.000,000 tons
-	Volumen contaminación al agua, ingenio:	0,033 tons
-	Volumen contaminación desmontes:	0,333 tons
-	Agua de mina ácida (Ph = 4), contenido de metales pesados contaminantes medio (entre 1 y 9 gr por litro; Prom. 5 gr/L)	
-	Agua de ingenio ligeramente ácida (Ph 5), contenido de metales pesados contaminantes bajo ( 0.05 gr/l).	

### INDICADORES DE CONTAMINACION PARA ZINC, PLOMO Y PLATA

(en tons.)

-	Volumen de metal fino:	1.000,000 tons
-	Volumen de concentrados (42,5% de ley):	2.353,000 tons
-	Volumen de mineral extraído de mina:	10.630,000 tons
-	Volumen de minerales ganga (dilución):	1.063,000 tons
-	Volumen de colas (con 0.75% de ley):	5.951,000 tons
-	Volumen contaminación al agua, ingenio:	0,033 tons
-	Volumen contaminación desmontes:	0,500 tons
-	Agua de mina ácida (Ph = 4), contenido de metales pesados contaminantes medio (entre 1 y 9 gr por litro; Prom. 5 gr/L)	
-	Agua de ingenio ligeramente ácida (Ph 5), contenido de metales pesados contaminantes bajo ( 0.05 gr/l).	

### INDICADORES DE CONTAMINACION PARA EL ORO

#### Para las cooperativas auríferas

-	Volumen metal fino:	1.000,00 kilos
-	Volumen mineral extraído (2,5 gr/t.):	400.000,00 tons
-	Agua de concentración mercuriada:	20,00 kilos

#### Para la explotación "masiva"

-	Volumen metal fino:	1.000,00 kilos
-	Volumen mineral extraído (2,5 gr/t.):	400.000,00 tons
-	Volumen ganga <b>potencialmente</b> contaminante:	399.999,00 tons.