



Red DESIR

**MÁSTER INTERNACIONAL
APROVECHAMIENTO SOSTENIBLE DE LOS
RECURSOS MINERALES**

TESIS DE MAESTRÍA

**CARACTERIZACION DEL IMPACTO AMBIENTAL EN LAS SUBCUENCA
DEL RIO HUAYNAMAYU - LA RIBERA – AGUA DULCE (POTOSI)**

Nombre del autor : Juan Carlos Erquicia Landeau

Febrero
2006



CURSO 2005-2006

**MÁSTER INTERNACIONAL
APROVECHAMIENTO SOSTENIBLE DE LOS RECURSOS
MINERALES**

Como director del Trabajo,

**Autorizo la presentación de la Tesis de Maestría
“Caracterización del Impacto Ambiental causado por las Actividades
Mineras en las Subcuencas del del Río Huaynamayu – La Ribera – Agua
Dulce (Potosí)”**

Realizado por
Juan Carlos Erquicia Landeau

Bajo mi dirección



Firmado: **Prof. Antonio M. A. Fiúza**
Fecha: 23.03.2006

**Facultad de Geología
U.A.T.F
Centro de Investigación**

Red DESIR

(*) la fecha
que figura en
la portada es
errónea, el año
es 2007

Constituido el tribunal nombrado por el Coordinador Internacional
del Programa de Máster Aprovechamiento Sostenible de los Recursos
Minerales, el día 27 de Marzo de 20067

Presidente: Elizabeth Araux Sánchez
Vocal: Nestor Chacón Abad.
:
Secretario: José Antonio Espi Rodríguez

Realizado el acto de defensa y lectura de la Tesis de Maestría el día el día 27 de
Marzo de 2006

Elizabeth Araux Sánchez
EL PRESIDENTE

José Antonio Espi Rodríguez
LOS VOCALES

José Antonio Espi Rodríguez
EL SECRETARIO

Título:
**CARACTERIZACION DEL IMPACTO AMBIENTAL EN LAS SUBCUENCA
DEL RIO HUAYNAMAYU - LA RIBERA – AGUA DULCE (POTOSI)**

INDÍCE GENERAL

RESUMEN EN INGLES	
RESUMEN EN ESPAÑOL	
INTRODUCCION	4
Problema de Investigación	4
El objeto de investigación	5
El campo de acción	5
Objetivo general	5
Objetivos específicos.....	5
Hipótesis:.....	6
Variable Independiente.....	6
Variable Dependiente	6
Métodos de Investigación.....	6
Teóricos	7
Histórico – Lógico	7
Análisis – Síntesis.....	7
Deductivo – Inductivo	7
Hipotético – Deductivo	7
Nivel empírico.....	8
Medición.....	8
Instrumentos y técnicas.....	9
Percepción de los actores sociales.	9
Identificación de impactos.....	9
Técnicas de mitigación	10
Limitantes y alcances de la investigación.-	10
Novedad científica.....	10
Significación Práctica.....	11
CAPITULO I	12
MARCO CONTEXTUAL	12
2.1 MARCO CONCEPTUAL.....	16
Conceptos Intervenientes.....	16
2.3 ANTECEDENTES GENERALES DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	17
Periodo Colonial (1545 – 1825).....	18
Periodo Republicano (1825 – 1952)	19
Periodo Republicano Reciente (1952 – 2002)	21
2.3.1 Aspectos socio demográficos.	23
2.3.2 Actividad económica.....	26
2.3.3 Aspectos físicos.....	27
2.3.3.1 Clima	27
2. 3. 4 Geología Local	32

2.3.5 Geomorfología.....	33
2.3.6 Mineralogía.....	34
3. IDENTIFICACION DE IMPACTOS – FUENTES DE CONTAMINACIÓN AMBIENTAL GENERADAS POR LA ACTIVIDAD MINERA.....	46
3.1 Descargas Líquidas de Plantas de Concentración	46
3.2 Flujos de Águas Ácidas de Bocaminas	48
3.3 Residuos Sólidos de Operaciones Mineras.....	51
3.3.1 Desmontes oxidados y desmontes Sulfurosos.....	51
3.3.2 Colas Sulfurosas y Oxidadas.....	53
3.3.3 Operaciones Mineras Actuales.....	55
3.3.4 Otras Fuentes de Contaminación Ambiental.....	55
3.4 Principales Mecanismos de Transporte y Transferencia de Contaminantes	58
3.4.1 En solución mediante corrientes hídricas.....	58
3.4.2 Por corrientes de aire.....	60
3.4.3 Por medio de la actividad minera cotidiana	60
3.4.4 Por Arrastre Gravitacional	60
3.5 Matriz de valoración de impactos Leopold en actividades mineras	61
3.6 Efectos de los contaminantes a la Salud en los trabajadores.....	62
3.7 Efectos ambientales en la cuenca menor del Río Tarapaya	64
Sub cuenca del Rio Huaynamayu _ La Ribera – Agua Dulce	64
3.7.1 Técnicas de Muestreo en aguas superficiales.....	65
3.7.2 Muestreo de suelos	65
3.7.3 Interpretación Hidroquímica.	65
3.8 ESTUDIO DE CASO: COMUNIDAD LA PALCA	67
3.9 Revisión de Tecnologías de Mitigación del Impacto Ambiental	70
3.9.1 Clasificación de tecnologías de mitigación.....	70
Control y Manejo del Dique de Colas Laguna Pampa I – II	79
3.9.2 Percepción de los Actores	86
3.9.3 Mecanismos voluntarios.	87
CONCLUSIONES.	88
RECOMENDACIONES.	90
Bibliografía.-	92

ANEXOS.

Anexo I	Balance Hídrico
Anexo II	Propuesta Sistema de Información Geográfica SIG
Anexo III	Tablas
Anexo IV	Mapas Temáticos
Anexo V	Figuras
Anexo VI	Fotografías
Anexo VII	Gráficos

INTRODUCCION

En el departamento de Potosí la contaminación del recurso hídrico, está siendo producida por las actividades mineras y además por otros factores que alteran las características naturales del agua, debido a la descarga de: aguas de colas clarificadas, aguas crudas residuales de alcantarilla y la descarga de aguas residuales industriales como son: Mataderos, talleres, lavaderos, clínicas, hospitales y de la pequeña industria; cuyos residuos al ser vertidos al cauce, aumentan el grado de contaminación de las aguas .

Actualmente, más de 1000 Ton diarias de colas se descargan de ingenios que trabajan en Potosí directamente a la presa de colas de laguna pampa, luego sus aguas clarificadas son vertidas al río de la Ribera que es el río que atraviesa la ciudad hasta desembocar en el río Tarapaya que tiene un caudal de 440.6 l/s en épocas de estiaje y 1200.6 l/s épocas de lluvias.

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 en la zona.

A partir de los enunciados anteriores que analizan la problemática ambiental se plantea el siguiente problema de investigación.

Problema de Investigación

¿La generación de descargas líquidas y sólidas mineras traen como consecuencia un impacto potencial al medio ambiente en la subcuenca del río Huaynamayo – La Ribera afectando al medio biótico y abiótico de su entorno ?

El objeto de investigación se enmarca en Sub cuenca del río Huaynamayo_ La Ribera- Agua Dulce (cuenca menor del Río Tarapaya-Mondragón)

El campo de acción en la investigación se enmarca esta dentro del tópico de las ciencias ambientales

Objetivo general

- Evaluar - Caracterizar los impactos ambientales producidos por el vertido de residuos sólidos y líquidos, a través de modelos de dispersión en la subcuenca del río Huaynamayu - La ribera-Agua Dulce con el fin de evaluar la condición actual del recurso agua.

Objetivos específicos

- Identificación de fuentes contaminantes, mecanismos de transmisión y flujos contaminantes.
- Caracterizar espacialmente y temporalmente la calidad de las aguas superficiales y los factores que pudieran incidir negativamente en dicha calidad habida tanto de la vulnerabilidad del medio como de la presencia actual de focos potenciales de contaminación.
- Determinar las propiedades físico-químicas de las aguas superficiales.
- Realizar un análisis del efecto tóxico y nocivo en función a su persistencia del contaminante.
- Clasificar los cuerpos de agua en base a la reglamentación de la Ley 1333 del Medio Ambiente.
- Realizar un sistema de información ambiental SIG con mapas temáticos de dispersión y de contaminación de las aguas en el tramo de la subcuenca del río Huaynamayu_ La ribera.

- Evaluar a partir de una matriz de integración causa efecto el impacto posible en las diferentes subcuencas.
- Establecer condiciones ambientales en el área de la subcuenca.

Hipótesis:

Al detectar el problema de la investigación se pretende lanzar una solución anticipada al problema detectado en la subcuenca es :

A través de una caracterización ambiental de los mecanismos transmisión y flujo de contaminantes por medio de un SIG ambiental en la subcuenca del río Huaynamayu _ La ribera – Agua dulce se podrá conocer y zonificar los impactos ambientales en la zona ayudando a proponer medidas de mitigación.

Variable Independiente

Modelación de dispersión a través de un SIG – ambiental

Variable Dependiente

Caracterización ambiental de los mecanismos transmisión y flujo de contaminantes

Métodos de Investigación

Metodológicamente se abordó la investigación analizando tanto el medio físico como el medio social, a los que se considera fundamentalmente en su interrelación. Por ello es que por una parte, se toma en cuenta la revisión de los antecedentes históricos, basados en Capoché¹, la normatividad estatal y los impactos sobre el hombre y la percepción de los actores, por otra se describe y analiza técnicamente a los minerales, la actividad minera y sus efectos sobre el medio físico.

En otras palabras, en la investigación se ha considerado que los impactos ambientales, tanto en sus causas como en sus efectos, son reflejo del carácter y evolución de la relación sociedad-naturaleza, particularizada como histórica y especializada..

Teóricos

✓ **Histórico – Lógico**

El análisis histórico – lógico, permitirá estudiar el desarrollo de la evolución, composición comportamiento hidroquímico de las aguas, donde se caracterizará mediante los parámetros físico-químicos indicativos de dicha composición en las aguas del río Huaynamayu _ La Ribera, que estarán establecidas en el tiempo y espacio, mediante principios y leyes.

✓ **Análisis – Síntesis**

El análisis de los diferentes elementos químicos concentrados en las aguas del río Huaynamayu_ La Ribera, permitirá sistematizar los aniones, cationes y por medio de la síntesis se integrara los resultados de la concentración de elementos en (mg/L) y su análisis correspondiente de dispersión ambiental en función a sus límites permisibles

✓ **Deductivo – Inductivo**

El método deductivo – inductivo nos permitirá extraer y evaluar muestras de agua sedimentos y suelos en la subcuenca del río para analizar en laboratorio y a través de los resultados de concentración de elementos mayoritarios y minoritarios, permita establecer un análisis de su impacto para plantear medidas de solución.

✓ **Hipotético – Deductivo**

El método Hipotético, se aplica para verificar la hipótesis planteada para afirmar los

resultados de los análisis de la concentración de elementos y posteriormente con el deductivo, se obtendrá mediante las observaciones, generalizaciones de los conocimientos de los recursos hídricos y los factores contaminantes que son generados por diferentes actividades, para llegar a nuevas conclusiones y predicciones empíricas siguiendo las reglas lógicas de la deducción.

Nivel empírico

➤ Observación

La observación permitirá estudiar los parámetros físico-químicos del agua y clasificar en base a cationes y aniones, para la cual se tiene los siguientes componentes:

- **Objeto de observación:** Aguas en los tramo del río Huaynamayu –La ribera-Agua Dulce - Tarapaya
- **Sujeto de observación:** Subcuenca de Tarapaya - Potosí
- **Condición de observación:** La observación se realizará Insitu y en laboratorio
- **Medio de observación:** Observación visual

Medición

La sistemática del muestreo, básicamente estuvo orientada a un seguimiento del curso de aguas de los ríos de la Ribera, Ala Mayu, Huaya May u, parte de! Tarapaya y comunidad de Mondragón, dado el carácter del trabajo se planifico un muestreo cada cierta distancia en función de las variaciones del pH, color del agua y otros aspectos netamente de campo; en toda e! área de estudio aproximadamente se tomaron 10 muestras de agua (cantidad aproximada de 1 litro), las cuales fueron analizadas por Cd, Cu, Mn, Pb, Zn, Sb, As, Hg, la concentración fue medida en mg/l; los valores fueron comparados por los parámetros que tiene el MDSMA.

Una vez escogido el punto adecuado en terrenos de uso agrícola (Comunidad de La palca), se procedió a la recolección de muestras de diferentes horizontes (A1-A2), las calicatas fueron de 1 a 1.5 m de profundidad; con muestras conjuntas, en una cantidad de 2

Kg, estas fueron analizadas por Cd, Cu, Pb, Zn, Hg, Sb, y As, la concentración fue medida en mg/l, los valores fueron comparados por los límites permisibles propuestos por Klocke, ya que la norma boliviana no presenta parámetros para suelos.

La medición permitió obtener las interpretaciones detalladas de la composición química en las aguas del río Huaynamayu_ La Ribera con el fin de disponer los parámetros físico-químicos como ser: la temperatura, conductividad, pH, residuo seco, dureza y otros parámetros en un análisis completo también pueden especificarse características: color, turbidez, olor, sabor y materia en suspensión.

✓ **Instrumentos y técnicas.**

Para el presente trabajo, las técnicas e instrumentos utilizados fueron realizados en las siguientes etapas:

✓ **Percepción de los actores sociales.**

Para cumplir con esta tarea, se hicieron entrevistas a los responsables de la Prefectura Departamental (Potosí), jefatura departamental de desarrollo sostenible y medio ambiente, Miembros de la Cámara Departamental de minería (minería chica y mediana), Federación de Cooperativas mineras y responsable de las Plantes de tratamiento de minerales. A quienes se les consulto sobre los factores que influyen .para que no se pueda cumplir la Ley 1333 referida al Medio Ambiente.

En interior mina y la comunidad de Mondragón se hicieron entrevistas semiestructuradas a los trabajadores, para que nos expliquen, la forma de trabajo y los problemas por los que atraviesan.

✓ **Identificación de impactos.**

La identificación de impactos estuvo dirigida a las actividades mineras que se desarrollan en el Cerro Rico de Potosí, tanto en interior mina como exterior mina, determinando en cada una de ellas las actividades que se desarrollan y factores al que afectan como al aire, agua, suelos, ecológicos, ruido y socio económicos, se elaboraron matriz de impactos, identificando tipo de impacto (reversible, temporal,

irreversible, permanente, recuperables e irrecuperables).

📌 **Técnicas de mitigación**

Recurriendo a bibliografía especializada y experiencia, se propone una serie de medidas de mitigación, aplicando tecnología de punta y métodos menos costosos, los cuales fácilmente pueden ser implementados por el sector minero.

📌 **Limitantes y alcances de la investigación.-**

El contexto del trabajo analizará la identificación del impacto ambiental, producto de la explotación minera que se vienen realizando en el Cerro Rico de Potosí.

Se realiza una identificación de los impactos y efectos que produce la explotación minera, en interior y exterior mina, por falta de equipos e instrumental necesario no se pudo medir la cantidad de polvo que produce la perforación, explosión, carguío, trituración y molienda, pero se tiene información sobre el impacto de la silicosis en los trabajadores; para el nivel de ruido que despiden las perforadoras, molinos, trituradoras etc, se hacen comparaciones con tablas existentes. el muestro de aguas se realizo en los ríos, de la Ribera, Huayna Mayu, Alja Mayu y Tarapaya, corresponde a la cuenca menor del Río Tarapaya, abarcó los siguientes punios de muestreo, Río Huayna Mayu (sector Pailaviri), Río de la Ribera (sector Tuntoco, Cantuinarca), Río Alja Mayu (sector San Antonio), Rio Alja Mayu (sector La Palca), Río Tarapaya, Río Tarapaya (sector Mondragón) y Río Tarapaya antes de la confluencia con el Río Pilcomayo,

Al tratarse de un problema complejo, es posible que algunos aspectos sociológicos y económicos, no se han profundizado (producción agrícola de Mondragón durante las últimas décadas), debido a que existe falta de información.

Novedad científica

Con el presente estudio se pretende dar a conocer el impacto ambiental producido por la incidencia en la actividad minera , a portando con el conociendo a través de la

generacion de modelos de dispersión ambiental generados a partir de un analisis visual por medio de un sistema de información geografica ambiental con el cual podremos evaluar, modelar el comportamiento de dispersión de contaminantes nocivos que alteran al recurso hidrico en la sub cuenca a lo largo del rio Tarapaya

Significación Práctica

A partir de los resultados obtenidos, se logrará conocer el estado actual y el impacto ambiental por el vertido de residuos sólidos y líquidos a la parte hídrica, suelo y sedimento, es por esta razón que el presente trabajo se enmarca en un modelo de procedimiento de una auditoria de línea base ambiental ALBA, en la subcuenca del rió Huaynamayu , de la Ribera que confluyen a la cuenca menor del rió tarapaya. que puede servir para la aplicación e identificación en otras subcuencas del Departamento de Potosí

CAPITULO I

MARCO CONTEXTUAL

Hasta hace algunas décadas el problema del agua ha tomado gran importancia, debido en gran manera a la escasez severa del vital líquido. Si bien durante mucho tiempo se realizaban prácticas con una contaminación relativa del agua y de los cuerpos receptores a los que se descargaban las aguas de desecho y de los drenajes. En los últimos años se han establecido normas y leyes en todos los países en materia de prevención y contaminación del agua, en donde se han fijado los límites máximos permisibles para descargas particulares que, en caso de no cumplirse, requerirán de un tratamiento previo a su descarga, procurando con ello no romper el equilibrio ecológico de la naturaleza.

Bolivia, se ha considerado siempre un País mono productor de materia prima mineral. Esta actividad ha tenido un efecto directo, entre otras cosas, sobre las cuencas próximas a los centros mineros, en especial durante el siglo XX, ya que la producción se ha incrementado en forma permanente. Para paliar de alguna manera la contaminación de las cuencas hidrográficas se han aprobado algunas leyes, que no han llegado a cumplirse por diferentes razones.

Ya la Constitución Política del Estado, en los derechos fundamentales del ciudadano reconocido en el Art. 7mo., en los incisos a) y d) reconocen la vida, la salud y la seguridad. En este entendido si se reconoce la actividad industrial, cualesquiera que fuesen, también limita el mismo cuando este perjudica el bien colectivo. El medio ambiente ésta considerada como un bien colectivo, que todos debemos proteger cuidar y conservar, para el disfrute de las futuras generaciones.

El Código Penal, en su Art. 216, incisos 2) y 7), afirma que comete delito cuando una persona:

a) Envenena, contamina o adultera aguas destinadas a consumo público, al uso industrial, agropecuario o piscícola, por encima de los límites permisibles a

establecerse en la reglamentación respectiva.

b) Quebrante las normas de sanidad pecuaria o propague epizootias y plagas vegetales.

De la misma manera, el que vierta o arroje aguas residuales no tratadas, líquidos químicos o bioquímicos, objetos o desechos de cualquier naturaleza, en los cauces de aguas, lagos río, lagunas , estanque de aguas, capaces de contaminar o degradar las aguas o que exceden los límites a establecerse en la reglamentación, será sancionada con la pena de privación de libertad de uno a cuatro años y con multa del cien por ciento del daño causado.

Ante la necesidad de realizar una acción mas directa en lo referente a la protección de nuestro entorno físico, que día a día se halla sustancialmente afectada por diversas acciones, el Gobierno Central ha promulgado la Ley del Medio Ambiente el año de 1992, con el número 1333. Esta Ley tiene por objeto proteger y conservar el medio ambiente y los recursos naturales, regulando las acciones del hombre con relación a la naturaleza y promoviendo el desarrollo sostenible de la misma, con la finalidad de mejorar la calidad de vida de la población.

Entendiéndose por desarrollo sostenible el proceso que permite satisfacer las necesidades de la actual generación, sin poner en riesgo las generaciones futuras.

La concepción de desarrollo sostenible implica una tarea global de carácter permanente , por lo que la responsabilidad de protección al medio ambiente y de los recursos naturales es una tarea global y de todos , pues su coexistencia de los ecosistemas , constituye el Patrimonio Nacional , que se rige por una ley específica y por tanto de orden público, cuyo acatamiento y observación resultan obligatorios.

Los criterios ecológicos de la Ley están dirigidos a la prevención y al control de la contaminación del agua y de los ecosistemas acuáticos y son:

1. La prevención y control de la contaminación del agua es fundamental para evitar que se reduzca su disponibilidad y para proteger los ecosistemas del País.
2. Corresponde al Estado y a la sociedad prevenir la contaminación de ríos, cuencas y

demás depósitos de agua, incluyendo las aguas subterráneas.

El Capítulo II de la Ley del Medio Ambiente se refiere íntegramente al Recurso Agua. El Art. 36 indica: “Las aguas en todos sus estados son de dominio originario del Estado y constituyen un recurso natural básico para todos los procesos vitales. Su utilización tiene relación e impacto en todos los sectores vinculados al desarrollo, por lo que su protección y conservación es tarea fundamental.”

El Art. 39, indica que: “El Estado normará y controlará el vertido de cualquier sustancia o residuo líquido, sólido o gaseoso que cause o pueda causar la contaminación de las aguas o la degradación de su entorno”.

Asimismo, la Ley del Medio Ambiente abarca en su capítulo V los Delitos Ambientales. El Art. 103 dice: “Todo el que realice acciones que lesiones, deterioren, degraden, destruyan el medio ambiente o realice los actos descritos en el artículo 20, según la gravedad del hecho comete una contravención o falta, que merece la sanción que fija la Ley”.

Años después, en diciembre de 1995, mediante Decreto Supremo N° 24176 se aprobó y se puso en vigencia la Reglamentación de la Ley del Medio Ambiente. En esta Reglamentación existe un Capítulo especial dedicado a la “Materia de Contaminación Hídrica”, que tiene 6 títulos y 74 artículos, además de dos anexos, donde se encuentran los valores límites permisibles de los parámetros en cuerpos receptores de agua.

El Reglamento se aplica a toda persona natural o colectiva, pública o privada, cuyas actividades industriales, comerciales, agropecuarias, domésticas, recreativas y otras puedan causar contaminación de cualquier recurso hídrico, es decir que se aplica a un ámbito general y particular de actividades cotidianas, industriales y otras.

El Ministerio de Desarrollo Sostenible y planificación, las Prefecturas y los Gobiernos Municipales vigilarán y verificarán, en el ámbito de su competencia, el cumplimiento del presente Reglamento por parte de las fuentes emisoras, realizando para el efecto inspecciones coordinadas con los organismos sectoriales competentes,

con sujeción a las disposiciones del Título XI de la Ley, el Reglamento General de Gestión Ambiental y el Reglamento de Prevención y Control Ambiental.

La autoridad ambiental competente realizará los actos de inspección y vigilancia que consideren necesarios en los establecimientos, obras y proyectos, a fin de verificar el cumplimiento de la Ley, del presente Reglamento y demás instrumentos normativos de la gestión ambiental.

En caso de que un cuerpo de agua o sección de un cauce receptor tenga uno o más parámetros con valores mayores a los establecidos por el Reglamento según su clase, se considerará al cuerpo de agua contaminado, y la instancia ambiental dependiente del Prefecto, deberá investigar y determinar los factores que originan esta desequilibrio para la adopción de acciones que mejor convengan.

Es imprescindible tomar en cuenta la prohibición total de descargas de aguas residuales que se originan en los procesos metalúrgicos de cianuración de minerales de oro y plata, lixiviación de minerales de oro y plata y de otros metales a cuerpos superficiales de agua y a cuerpos subterráneos

Posteriormente se ha promulgado otras normas legales, que en la mayoría de los casos han sido contradictorios al espíritu de la Ley del Medio Ambiente.

El Código de Minas, asimismo, indica, que todas las actividades mineras deben estar sujetas conforme al principio de desarrollo sostenible, en marcados a la Ley del Medio Ambiente, sus Reglamentos y otras normas afines. Por consiguiente, todos los operadores mineros están obligados a controlar todos los flujos contaminantes que se originen dentro del perímetro de sus actividades mineras. Estas disposiciones legales en vigencia consideran que el Estado debe controlar y en su caso sancionar con el resarcimiento de daños ambientales y perjuicios ocasionados por la actividad minera que originen los elementos químicos contaminantes y descarguen en el entorno físico.

También, la Ley de Municipalidades otorga competencia al Gobierno Municipal para preservar, conservar y contribuir a la protección del medio ambiente y los

RECURSOS NATURALES, fauna silvestre y animales domésticos, ejercer y mantener el equilibrio ecológico y el control de la contaminación en concordancia con las leyes que rigen la materia. Cumplir y hacer cumplir las normas especiales nacionales y municipales de uso del suelo, sub suelo, sobre suelo, agua y recursos naturales.

2.1 MARCO CONCEPTUAL

Conceptos Intervinientes.

- **Medio ambiente.** Es todo aquello que rodea al ser humano y que comprende: elementos naturales como físicos y biológico: elementos artificiales representados por las tecnoestructuras: elementos sociales y las interacciones de todos estos elementos.
- **Impacto ambiental:** Son los efectos que se manifiestan por la modificación o alteración de la calidad del medio ambiente y que pueden ser de carácter positivo o negativo.
- **Impacto directo.** Son aquellos efectos causados por la acción y que ocurre generalmente al mismo tiempo y en el mismo lugar de la acción. Por lo general se asocian con la construcción, operación y mantenimiento.
- **Impacto indirecto** Los impactos secundarios son los efectos indirectos y ocurren más adelante o en un lugar diferente.
- **Impactos permanentes.** Corresponden a los efectos que por sus características serán permanentes, aunque con un análisis cuidadoso pueden determinarse medidas para evitarlos o mitigarlos.
- **Impactos temporales.** Son aquellos que están presentes en ciertas etapas del proyecto, Durante un cierto tiempo y luego cesan, pueden también ser mitigados.
- **Impacto reversibles.** Cuando las condiciones originales se restablecen de forma natural, luego de un cierto tiempo.
- **Impacto irreversible.** Si la sola participación de los procesos naturales es incapaz de recuperar las condiciones originales.

- **Cuerpo receptor.** Medio donde se descargan aguas residuales crudas o tratadas.
- **Límite permisible.** Está referido a la concentración máxima o mínima permitida, según corresponda, de un determinado compuesto en el agua.
- **Contaminación de aguas y suelos** Alteración de las propiedades físico-químicas y/o biológicas del agua por sustancias ajenas, por encima o debajo de los límites máximos o mínimos permisibles, según corresponda, de modo que produzcan daños a la salud del hombre deteriorando su bienestar o su medio ambiente.

La contaminación de los suelos esta dada por la modificación de sus propiedades por la acción de contaminantes,

- **Contaminación atmosférica.** Presencia en la atmósfera de uno o más contaminantes, de tal forma que se generen o puedan generar efectos nocivos para la vida humana, la flora o la fauna. Los límites permisibles de la calidad del aire, corresponden a las concentraciones de contaminantes atmosféricos durante un período de exposición establecido, por debajo de las cuales no se presentarán efectos negativos en la salud de las personas según los conocimientos y/o criterios científicos prevalecientes.
- **Contaminación por ruido.** Sonido indeseable percibido por el receptor, se puede considerar como ruido cualquier sonido que interfiere en alguna actividad humana.

2.3 ANTECEDENTES GENERALES DE LA ZONA DE ESTUDIO

En el presente capítulo se tratará de conocer las características de la zona de estudio, partiendo de aspectos físicos, geológicos, estratigráficos, mineralógicos etc. Se pretende mostrar la evolución histórica que hubo en el Cerro Rico de Potosí, en la explotación y tratamiento de minerales.

📖 **Periodo Colonial (1545 – 1825)**

Las primeras referencias históricas sobre la explotación minera en el Cerro de Potosí datan de septiembre de 1544, cuando Diego Huallpa y su socio Huanca explotaban plata en do vetas en forma muy reservada. La explotación por parte de los españoles se inició en abril de 1545 y continuó hasta 1825.

Entre 1545 y 1556 el método de explotación fue a tajo abierto. Las vetas eran explotadas desde la superficie. Los tajos abiertos tenían varias centenas de metros de largo y profundidades que llegaban hasta los 100 metros. A partir de 1556 este método fue prohibido por el peligro que representaban las paredes espinadas de los rajos. A partir de ese año comenzó la construcción de labores inclinadas y horizontales (galerías y socavones), dando inicio a la explotación subterránea, que caracterizó a todo el periodo colonial.

Las labores inclinadas sobre vetas se desarrollaron rápidamente debido al interés de incrementar la producción. Con el transcurso del tiempo, estas labores, que generalmente eran estrechas, alcanzaron profundidades hasta 300 metros. A esa profundidad la extracción de minerales fue más difícil y la explotación se complicó con la presencia de agua. Esas dificultades fueron solucionadas con la construcción de socavones y galerías horizontales destinadas a mejorar la extracción de mineral, el desagüe de las labores anegadas y la ventilación.

Los hechos tecnológicos notables durante el periodo colonial fueron: a).- La utilización de la fusión en la recuperación de la plata a partir de minerales con alta ley (hasta 26 % Ag), en hornos rústicos llamados huairachinas; b).- Cuando la ley de los minerales bajo hasta el 2 % de Ag el Virrey Toledo en (1572) introdujo el azogue para mejorar la recuperación de la plata y c).- La utilización de la pólvora en (1703), que revolucionó el sistema de arranque de roca y el avance de las labores subterráneas.

Por el agotamiento natural de las vetas ricas y el descubrimiento de otras vetas con menor ley de plata, se aplicaron nuevas tecnologías para el tratamiento e minerales; estas tecnologías consistieron en la aplicación de molienda y concentración por gravimetría, en pequeñas plantas de procesamiento llamadas ingenios. Estos ingenios llegaron a 132 unidades durante la segunda mitad del siglo XVI y a 150 unidades en el año 1767; todos ellos ubicados a orillas del río La Ribera, desde las faldas del Cerro Kari – Kari hasta Cantumarca. Para esta

cantidad de ingenios el consumo de agua fue muy grande, por lo que fue necesaria la construcción de 18 lagunas de acopio de agua sobre los drenajes de la Cordillera Kari – Kari. Estas lagunas, que hoy existen, suministraron el líquido elemento para el consumo doméstico y el tratamiento metalúrgico. Las Lagunas más importantes son Kari – Kari, San Ildefonso, San Sebastián, San José, San Buenaventura, Chalviri, Illimani, Lobato, Lacka Chaca y Ulistia.

La explotación minera en su mejor época (1582), según el escritor Capoche (recopilación Mariano Baptista Gumucio), fue realizada a través de 1570 minas aproximadamente, que operaban sobre 94 vetas conocidas, correspondientes a 466 concesionarios y 268 compañías; empleando aproximadamente 11000 mitayos. Este sistema ha generado residuos sólidos, conocidos como “desmontes”, inicialmente los óxidos y posteriormente de sulfuros, acumulados a las salidas de las bocaminas. Los operadores mitayos y mingas recibieron nombres a base de las funciones que realizaban, como ser: “barreteros” a los perforistas manuales que usaban barreta de 30 Lb; “apiris” a los cargadores del mineral desde los frentes de trabajo hasta superficie o cancha mina, “palliris” a las mujeres y niños encargados de la selección manual en la “cancha mina”, de donde posteriormente se transportaba el mineral escogido a los ingenios utilizando llamas.

En resumen, las actividades mineras de explotación de plata practicadas durante el periodo colonial, que perduró por casi 3 siglos, aportaron substancialmente a la generación de las condiciones ambientales actuales del área; porque generaron la mayor dispersión de los residuos sólidos (desmontes) con contenidos de minerales oxidados y en parte sulfurosos; de los cuales son materiales con alto potencial de generación de aguas ácidas y por consiguiente pueden dispersar elementos tóxicos en solución por efecto de su lixiviación por agua de lluvia .

Los trabajos del periodo Colonial aportaron también en contaminación con cloruro de sodio usado en los patios de cloruración. Contaminaron con residuos de mercurio por el uso de amalgamación y contaminaron con otros componentes, como nitratos, boratos, etc. Usados como fundentes. Así mismo, durante el periodo colonial se deparó la vegetación de la región por su uso como combustible y se iniciaron las descargas del flujo de aguas domésticas y efluentes mineros como contaminantes hidrográficas del área.

📁 **Periodo Republicano (1825 – 1952)**

En el periodo republicano se mantuvo la explotación subterránea desarrollada en la Colonia; la dinamita y el nitrato de amonio (anfo) reemplazaron a la pólvora, este hecho sumando a la introducción de perforadoras de roca y la utilización de aire comprimido y

energía eléctrica, mejoro en mucho el desarrollo minero subterráneo. Al final del periodo Republicano se introdujeron los métodos de explotación de Rajo en suspensión corte – relleno.

Respecto de los métodos e recuperación metalúrgica, a principios del periodo republicano se continuó utilizando la amalgamación, la que fue innovada por el proceso washoe (amalgamación en tiña) y otros.

A principios del siglo XX, la minería de plata en Bolivia cedió su predominio a la producción minera de estaño, desarrollándose en las minas de Llallagua, Uncía, Santa Fe, Moroco cala, Huanuni, Caracoles, Colquiri y entre ellas el cerro de Potosí. El auge de la producción de estaño, a través de los industriales Simón I. Patiño, Mauricio Hirsch y Carlos Víctor Aramayo, conocidos como los “Barones del Estaño“, perduro hasta el año 1952, fecha en la cual se promulgo la nacionalización de las minas.

La producción estannífera boliviana durante el año 1900 presento el 50 % de la producción mundial entre los años 1936 y 1940, la explotación de minerales del país representaba el 94% e la explotación total; solo el estaño tenia un valor entre el 73 y 80% del total de las exportaciones bolivianas. La economía del país, en un 70%, dependía de los resultados económicos de las tres compañías mineras pertenecientes a los “Barones del Estaño“.

La influencia política y el poder económico que ejercían estas compañías; sumadas a las condiciones precarias de trabajo, mal servicio de salud, inseguridad industrial y bajos salarios, fueron el argumento para el descontento general de la población y la proliferación de ideas revolucionarias que llevaron al levantamiento armado en 1952 y a la consiguiente nacionalización de las minas de los “Barones del Estaño” por el Estado Boliviano.

La explotación de los minerales durante la época republicana (1825 – 1925), en el cerro de Potosí, si bien ha experimentado una revolución tecnológica, con la mecanización de las operaciones y particularmente por la introducción de nuevos procesos e concentración y beneficio, también ha significado el aumento considerable del impacto ambiental negativo, dejando como productos de desechos sólidos de grandes volúmenes (desmontes y colas oxidadas y sulfurosas), de los cuales los desechos sulfurosos resultaron ser los más contaminantes, por su afectación ambiental al curso hidrológico principal de la zona. Los desechos producidos durante este

periodo, en muchos casos, fueron depositados en los lechos de los ríos y quebradas, y luego por efecto de lluvias, fueron transportados aguas abajo con la consiguiente contaminación de varias centenas de kilómetros a partir del Cerro Rico.

✓ **Periodo Republicano Reciente (1952 – 2002)**

Desde la nacionalización de las Minas, promulgada el 31 de Octubre de 1952, todas las operaciones mineras e instalaciones que pertenecieron a las compañías de los “barones del estaño”, incluyendo algunas otras minas privadas, fueron controladas y operadas por la Corporación Minera de Bolivia (COMIBOL), una empresa estatal formada para tales propósitos.

En Potosí, la nacionalización afectó a las grandes concesiones privadas del Cerro Rico, por lo que las concesiones y bocaminas de la Compañía Unificada de Hotschild, que operaba la mina Pailaviri y el ingenio Velarde, pasaron a control de la COMIBOL. Las concesiones y bocaminas del Cerro Rico, que eran administradas por el Banco Minero de Bolivia, pasaron a también a la COMIBOL. Lo mismo ocurrió con los pallacos.

Durante este periodo se continuó aplicando la explotación con los métodos de Rajo en Suspensión y Corte – Relleno, con la utilización de perforadoras de roca y vagones metaleros jalados por locomotoras eclécticas. En los próximos 35 años de este periodo, los principales depósitos fueron explotados por la Corporación Minera de Bolivia (COMIBOL), mientras que los depósitos de menor importancia fueron arrendados a las Cooperativas Mineras. Este procedimiento de arrendamiento a Cooperativas con el tiempo se generalizó y COMIBOL dejó de ser la empresa dedicada a la explotación.

En la década de los setentas, las cooperativas mineras explotaron pallacos para la recuperación de concentrados de estaño, utilizando un método denominado “suqueo”. Este método consistía en desmoronar los sedimentos naturales mineralizados y luego lavarlos en canales con agua, donde quedaba entrampado el concentrado el estaño.

En 1985, a causa de la caída del precio del estaño, la explotación minera cambió nuevamente y esta vez para recuperar minerales complejos de Zn – Ag y Pb – Ag. Como consecuencia de este cambio, se instalaron 43 plantas o ingenios de gravimetría y flotación sobre los márgenes del río La Ribera y quebradas de la ciudad. A la fecha, casi la totalidad de estas plantas continúan en operación y vierten sus colas sulfurosas al drenaje del río de La Ribera.

En 1987, la Compañía Minera Concepción (COMCO) inició un estudio para una operación de lixiviación en pilas de desmontes, que en los años posteriores fue implementada para procesar 1000 tpd de desmontes oxidados de la parte del Cerro de Potosí. En la actualidad esta planta procesa materiales oxidados de otra procedencia, al haberse agotado sus reservas.

En 1991 COMIBOL construyó la planta metálica del resto de los desmontes oxidados del Cerro de Potosí.

Estas operaciones cambiaron el uso y destino final de una parte de los residuos sólidos generados durante el periodo colonial.

En este periodo la actividad minera contribuyó a la definición total de las condiciones ambientales que hoy presenta el área del proyecto y su área de influencia. Se incrementaron los residuos sólidos sulfurados (desmontes y colas) por la apertura de nuevos socavones de explotación y se generaron nuevas descargas de aguas ácidas en la parte inferior del Cerro de Potosí. Todos los impactos fueron producidos por las operaciones de COMIBOL hasta 1985 y por las Cooperativas Mineras y pequeños mineros de Potosí que continúan con operaciones en curso. Adicionalmente, aumentaron las descargas de colas sulfuradas con reactivos de flotación (xantatos, cianuro, cal y otros reactivos y colectores) por el incremento de plantas de concentración, que hoy llegan a 43 ingenios, las cuales operan en la ciudad de Potosí, drenando sus residuos al río La Ribera y Aljamayu. Finalmente, en el área existe un aumento del flujo de aguas servidas debido al incremento de la población de la ciudad de Potosí.

La acumulación en el área de Potosí de cuantiosos pasivos ambientales generados por la minería histórica es, en gran medida, el resultado de la ausencia total de normas ambientales para dichas actividades a lo largo de la historia y la minería boliviana. Recién, el 27 de abril de 1992, mediante ley de la república Nro 1333, se aprobó la Ley del Medio Ambiente que fue reglamentada en 1995. El 17 de marzo de 1997 mediante Ley nro 1777 se aprueba el código de Minería que incluye por primera vez el título específico sobre el Medio Ambiente (título VII), el cual se complementa con un reglamento Ambiental para Actividades Mineras aprobado a fines de julio en ese mismo año.

Es a partir de esa normativa que comienza a desarrollarse en Bolivia y en el área de influencia del proyecto algunas iniciativas para establecer cambios en la forma de hacer minería que sean más favorables al medio ambiente tales como la fundación MEDNIN. Así, se cuenta ahora con una minería sujeta a medidas de prevención, control y mitigación ambiental y, paulatinamente, se está produciendo un cambio de comportamiento en la industria conducente a

una menor degradación ambiental por unidad de mineral o metales producidos.

En la actualidad, en torno al cerro de Potosí, existen 27 Cooperativas Mineras con cerca de 7000 trabajadores, con operaciones mineras subterráneas en curso, extrayendo material sulfuroso que les permite la producción de concentraos complejos de Zn, Pb y Ag. Adicionalmente existen operaciones mineras pequeñas desarrolladas por privados pertenecientes a la Cámara de Minería de Potosí, operaciones de explotación de arcillas para la producción de cerámica roja, operaciones de explotación de turba y operaciones para la elaboración de adobes.

En conjunto, las operaciones mineras, las operaciones de concentración de las aguas servidas, conforman en el área un gran centro contaminado y contaminante que, por transporte y difusión, afecta a las subcuencas hidrográficas fuera del área de influencia del Proyecto, con una prolongación ó impacto ambiental negativo que se estima abarca más de 200 Kilómetros de extensión y llega hasta el curso del río Pilcomayo.

A lo largo del río Tarapaya se encontraban hermosas áreas de cultivo, sus afluentes principales hace unas décadas atrás, presentaban aguas claras, permitiendo la vida acuática (peces, algas, microorganismos etc.)

La mayor parte de los estudios que se realizaron en el Yacimiento, estuvieron dirigidos a investigar las características geológicas y mineralógicas del yacimiento, con la finalidad de encontrar mayores recursos minerales.

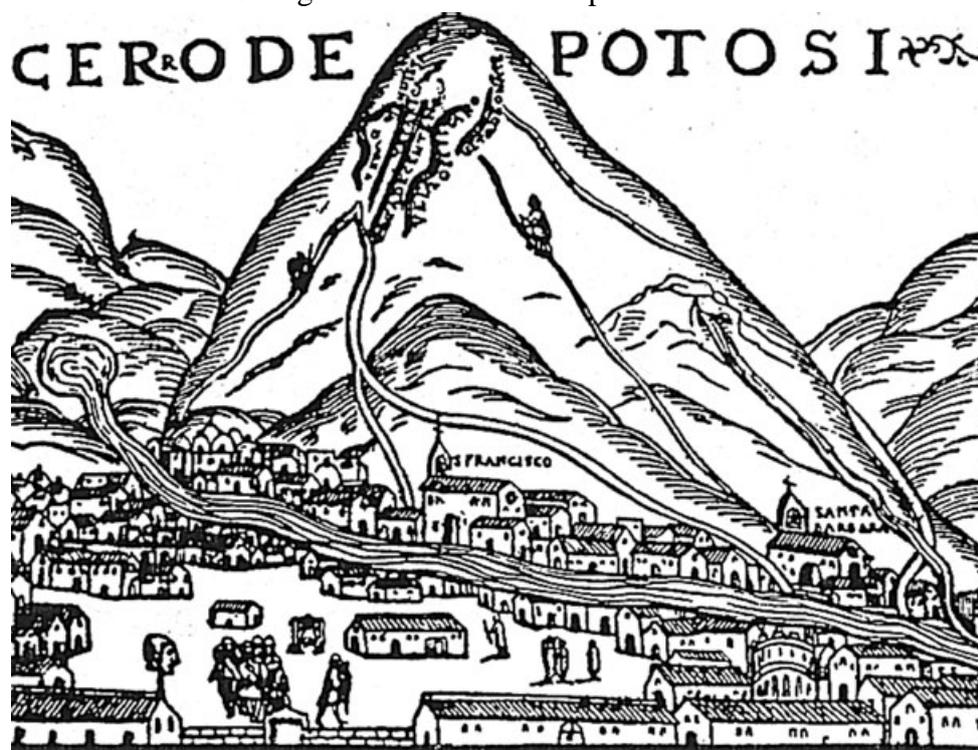
Con el transcurrir del tiempo la actividad minera se sigue profundizando, debido al descubrimiento de otras vetas, lo que ocasionó el crecimiento de la ciudad, donde se realizan diferentes actividades de tipo económico, siendo la principal la actividad minera. El yacimiento del Cerro Rico de Potosí, se halla ubicado a 2 Km. al Sur de la ciudad de Potosí en la provincia Tomas Frías. (Mapa N° 1); la cumbre del Cerro Rico, tiene una elevación de 4792, m.snm., con las siguientes coordenadas UTM sistema de proyección Datum WGS84 Coordenada Este 210800 , Norte 7828400

2.3.1 Aspectos socio demográficos.

La actividad minera convierte a Potosí, en una de las ciudades más grandes y llenas de vida y movimiento de toda la América Latina. En 1560 la población alcanzó a 160.000 habitantes; en 1573 era de 120.000 habitantes, mientras que la de Madrid era sólo de 4.500.(Salinas,E., Quiroga,M., 1996: 25), durante 1779 la población de Potosí

llegaba a 22.622 habitantes, entre blancos, negros, mestizos, y mulatos (Buechler, R., 1989: 317).

Este decremento poblacional se debió, a la crisis minera de mitades del siglo XVII, producida por una disminución en la producción de mercurio de Huancavelica, y por la complejidad que presentaban los minerales de plata para ser tratados; la pérdida de poder económico de Potosí origino la reducción de la población urbana.



Fuente Casa de Moneda: Cuadro representando a la ciudad de Potosí Cerro rico –

La exportación de la plata caracterizó la economía boliviana hasta fines del siglo XIX, sin perder su carácter agrario que había conservado desde los tiempos precolombinos y que se acentuó con la crisis minera .

En el yacimiento del Cerro Rico de Potosí, donde se había explotado minerales argentíferos³, prescindiendo del estaño, que quedaba en algunas vetas (Bolívar, Utne, etc) y desmontes, tuvo que adoptar un procedimiento inverso, dejando la plata y dedicarse íntegramente a la explotación del estaño; el año de 1900 marca el punto de partida de la industria estañífera⁴.

La nueva política económica imperante en nuestro país a partir de 1985, donde se produjo la llamada "relocalización"; se retiró de COMIBOL 23.063 trabajadores, cifra que incluyendo al personal de la minería privada alcanzó a 28.000 personas (Salinas,M; Quiroga,M. 1996:31) , la fluctuación de los precios de los minerales de plata, estaño, zinc y plomo, ha originado crisis económica en nuestro país, lo que afectó directamente a las zonas productoras de minerales, (tal es el caso de Potosí); lo que condujo a que muchos de sus trabajadores migren a otras ciudades, en busca de fuentes de trabajo.

La ciudad de Potosí se encuentra en la provincia Tomás Frías del Departamento del mismo nombre, con las siguientes características poblacionales (cuadro N° 1)

Cuadro N° 1 Características Poblacional	
Á R E A	PROVINCIA Tomás Frías
URBANA	: 112078
RURAL	35033
TOTAL	147111
<i>Fuente: INE, 1992</i>	

A las faldas de este yacimiento, se encuentra la ciudad de Potosí, que desde muchos siglos atrás, tiene hasta la fecha, una actividad casi exclusivamente minera.



Fuente Casa de Moneda : Vista panorámica del Cerro Rico y parte de la ciudad de

En el río Tarapaya, se encuentran pequeñas comunidades con las siguientes características: Cuadro N° 2.

Cuadro N° 2 Comunidades Asentadas en el Río Tarapaya

Características:

Comunidad	Número de Familias	Número de Habitantes
La Puerta	20	85
La Palca	90	400
El Molino	100	450
Aroifilla	33	150
Mondragón	55	250

La determinación del número de personas que trabajan en el cerro Rico, tiene variaciones, debido a que los empleos son temporales.

Los trabajadores mineros que explotan en el Cerro Rico de Potosí, son aproximadamente 10,000 mineros (Callapa, A., 1996: 3), el 95% de la actividad minera en el Cerro Rico esta en manos de los cooperativistas, el restante esta a cargo de la Empresa Chica o Arrendatarios particulares.

Los campesinos en la región de estudio se hallan ubicados río abajo, en las localidades de Mondragón, Tarapaya y otros, están caracterizadas por ser población migrante, muchos de estos pobladores, realizan actividad minera, el número de habitantes es de aproximadamente 1335 campesinos.

2.3.2 Actividad económica.

La ciudad de Potosí, según el Censo de 2001 cuenta con aproximadamente 112.078 habitantes, ha tenido desde la colonia y tiene hasta la fecha una actividad predominantemente minera, siendo la base de la economía del departamento, según datos de contabilidad del INE, sector minero 1988-1996, la producción de Potosí fue de 158000 Tm de plata; las industrias con que se cuentan son de pequeña escala, entre las que citamos: "Cervecería Nacional de Potosí", "Procesamiento de Harina" y "Embotelladora de Refrescos"; se tiene un comercio informal acentuado.

La actividad agropecuaria esta circunscrita principalmente en las localidades de La Puerta, Miraflores, Tambo y Mondragón y otras, en estas tierras se cultivan, haba, papa, maíz y algunos arboles frutales, en esta zona predomina la crianza del ganado caprino y ovino, en menor proporción se encuentran el ganado vacuno -los cuales son criados mas con fines de tracción animal-, se tienen la presencia de algunas aves de corral. Su producción sirve para autoconsumo, el producto excedente es vendido en las ferias semanales, pero se ha podido notar que sus rendimientos son muy bajos (Vasquez, D; 1996), esta baja en la productividad, ocasiona, que durante ciertos meses del año, abril a julio se dediquen a la actividad minera, y otros comienzan a migrar a los departamentos de Cochabamba, Santa Cruz y países vecinos, como la Argentina.

2.3.3 Aspectos físicos.

2.3.3.1 Clima

La región esta caracterizada por poseer un clima frígido, típico de las zonas Altiplánicas, las precipitaciones pluviales y la acumulación de nieve son poco frecuentes; la humedad en general es baja (Montes de Oca; 1982).

Con periodos de observación térmica y pluviométrica de 1958 a 1991, se llego a determinar un Bioclima, Tropical Pluviestacional, con un Piso bioclimático, Supratropical Inferior Subhumedo Superior. (Navarro, G., 1997)

Las temperaturas varían según la época del año, en los meses de mayo, junio y julio se tienen temperaturas entre -8°C a -10°C , y en los meses de septiembre y octubre con 10° a 15°C Los vientos tienen una dirección predominante Norte- Sur la velocidad promedio esta entre 10 y 40 km/h

2.3.3.2 Hidrología

El comportamiento hidrológico en la subcuenca es variable a efecto de alteraciones en el ciclo hidrológico como efecto del fenómeno del niño, para un estudio ambiental es importante considerar dentro del ciclo hidrológico el aporte de entrada y salida en un subcuenca para lo cual se ha realizado un balance estimativo en dicha cuenca , toda la metodología expuesta se encuentra en el Anexo N° I.

Cuadro N° 3 Resumen de la Información Climatológica y Meteorológica			
Climatológicos	Parámetros	Período	
		1958 – 1995	1996 – 2005
Precipitación pluvial ⁽¹⁾		405.3 mm	458 mm
Promedio anual de precipitación pluvial		84 días	104 días
Humedad Relativa		38.4 %	43.5 %
Temperatura promedio anual medio		8.9 °C	9 °C
Temperatura máxima media mensual		16.5 °C	19 °C
Temperatura máxima extrema media		20.2 °C	23 °C
Temperatura mínima media mensual		1.3 °C	-0.15 °C
Temperatura mínima extrema media		2°C	-4°C
Días con helada media mensual ⁽³⁾		12 días	14 días
Evaporación media mensual ⁽⁴⁾		3.7 mm	3.8 mm
Insolación media mensual ⁽⁵⁾		7.9 h	8h
Radiación media mensual		365 Cal/cm ²	388 Cal/cm ²
Dirección predominante del viento ⁽⁶⁾		SW	E
Velocidad promedio del viento ⁽⁷⁾		3 nudos	5.65 nudos
Nubosidad		3.2 octavos	3.6 octavos
(1)	Los meses de Enero, Febrero y Marzo son los más lluviosos del año, Abril, Agosto, Septiembre, Noviembre y Diciembre de escasa a menor intensidad y meses secos Mayo, Junio y Julio. Correspondiendo el sector de acuerdo a la clasificación de zonas pluviométricas a una "Zona seca en primavera, invierno y otoño":		
	El mes de Enero es el de mayor precipitación pluvial, con un promedio de 104 mm, 23 días de promedio mensual de precipitación pluvial y un promedio mensual de 2 días con granizo.		
(2)	Se registra la mayor temperatura durante el verano en el mes Enero 11 °C y menor temperatura durante el invierno en los meses de Junio y Julio.		
(3)	Predominan los días con helada esencialmente en los meses de Mayo, Junio, Julio, Agosto y Septiembre, con menor intensidad los meses de Marzo, Abril, Octubre y Noviembre, y esporádicamente los meses de Diciembre, Enero y Febrero.		
(4)	Los meses de Agosto, Septiembre, Octubre, Noviembre y Diciembre son los de mayor índice de evaporación.		
(5)	Los mayores períodos de insolación son durante la época seca del año de menor precipitación pluvial.		
(6)	Los datos meteorológicos de los últimos 5 años y medio (enero de 1996 a junio-2001), muestran que el viento sopla de NE durante la mayor parte del año (mediados de la primavera, verano, hasta parte del otoño). Varía gradualmente del NO y E solo en el resto del otoño. Durante el invierno la dirección del viento varía hacia y desde NW y SW. Según ésta información, la dirección predominante de los vientos en el área es variable en períodos anuales.		
(7)	La velocidad del viento en las estaciones de primavera, verano y otoño varía de 5 a 6 nudos, aumentando principalmente en la estación de invierno a un promedio de velocidad de 6 a 8 nudos.		

El drenaje desarrollado por los ríos, arroyos y quebradas del área, es parte de la Subcuenca Hidrográfica del Río Molino - Tarapaya que vierte sus aguas al Río Pilcomayo; el cual a su vez pertenece a la Cuenca Hidrográfica del Río de La Plata

Los cursos de agua superficial que drenan y conforman tres subcuencas de dirección SE-NO, cuyas cabeceras se encuentran en la ladera oeste de la Serranía Kari-Kari y ladera oeste del Cerro de Potosí. Los ríos dominantes de las subcuencas son los ríos Huaynamayu - La Ribera, Huacajchimayu - Jayajmayu y Vilacollomayu - Agua Dulce, respectivamente. Estos ríos se forman por acumulación de flujos de aguas de precipitación pluvial, rebalses de lagunas, pequeñas vertientes y por aguas que drenan de bocaminas, descargas de plantas de procesamiento y aguas servidas procedentes de la ciudad de Potosí.

Las tres subcuencas se unen hacia el noroeste del área del Proyecto conformando el río Aljamayu, el cual posteriormente se convierte en río El Molino, afluente del río Pilcomayo, que a la vez es parte de la cuenca Hidrográfica del Río de la Plata.

La Subcuenca Huaynamayu - La Ribera, que cubre el sector norte y noreste del área del Proyecto, en su cabecera presenta un curso de agua temporal, abastecido por agua de lluvia y por desagües de minas. En su trayecto medio hacia abajo el curso es permanente variando su caudal de 0.5 a 150 l/s, dependiendo del período estacional. Básicamente está formada por el aporte de aguas que drenan de boca minas, aguas servidas de la ciudad, desechos líquidos de las plantas de procesamiento y aporte proveniente de rebalse de lagunas.

La Subcuenca Huacajchimayu – Jayajmayu nace en la ladera Oeste del Cerro Rico y ladera norte del Cerro Huacajchi con dos afluentes principales, la quebrada Huacajchimayu y la quebrada San Antonio. El curso de la quebrada Huacajchimayu es de tipo permanente de poco caudal (< 0.1 a 3.0 l/s), en época de lluvias su caudal supera los 30.0 l/s (diciembre a marzo). El curso de la quebrada San Antonio es intermitente conformado por el flujo de agua proveniente del desagüe de minas, con caudales extremos de 1 a 2.5 l/s, dependiendo del período estacional y de los bombeos de agua a partir de las operaciones mineras. En el extremo noroeste, donde el curso principal recibe la denominación de Jayajmayu, fuera del área del proyecto, se junta con las aguas de la subcuenca Huaynamayu - La Ribera, altamente contaminada, incrementado substancialmente el caudal.

Cuadro N° 4 Características de los Ríos Principales					
NOMBRESUBCUENCA	CURSO	CAUDAL ESTIMADO	APROVECHAMIENTO	OBSERVACIONES	
Huaynamayu Ribera	-La	Permanente	Variable de 0.5 a 150 l/s	Uso Industrial por las Plantas de concentración.	Caudal proveniente aguas servidas, aguas de mina, efluentes de plantas de procesamiento y
Huacajchimayu Jayajmayu Qda. Huacajchimayu Ada. San Antonio	-	Permanente	0.1 a 3.0 l/s 1 a 2.5 l/s	Parcial actividad agrícola, solo en parte baja, fuera del área	Caudal proveniente de pequeñas vertientes y drenajes de mina.

Fuente : Aapos

2.3.3.3 Flora

El área pertenece a la zona climática fría de alta montaña "y microtérmino seco, árido a semiárido con vegetación de desierto, estepa y matorral. Dada las bajas temperaturas y sequedad dan lugar a lo pastizales del alto andino, como la "thola", césped bajo (gramíneas), Paja brava (stipa ichu), Chühlihua (festuca Dolichophylla) presencia de matorrales y pajonales y ocasionalmente Kewiña (Polyl.epis sp), Vareta (azorella compacta), plantas higrófitas (disticha Muscoides), llamados "bofedales", pastos húmedos denominados "chijis" (Poa Meyeni), Cactáceas, arbustos espinosos (acaseas), como especies introducidas al ecosistema tenemos al eucalipto, sauces y olmos. Los afloramientos rocosos sostienen vegetación de gramíneas duras de bajo porte (FONAMA-IGM, 1996).

2.3.3.4 Fauna terrestre

La fauna en el área de estudio esta representada por una variedad de aves, entre los que sobresalen los fringílicos como el gorrión "Phichi tanka" (Zomo Trichia Pileata), la "chaina" u oropéndula andina, colibríes etc. Destacan también la "Chuseka", el gallinazo o "Sehuekara" y otros buitres. De la familia de los falcónidos, se tiene el halcón (falco Sparverius).

Entre otras aves, se tienen palomas "Cullcu o cuculí", tortolitas, perdices y una variedad de especies que habitan en esta zona; habitan también pequeños reptiles como el "aziru" o culebra, lagartijas.

Entre los mamíferos están principalmente los auquénidos como la "Llama" (lama Glama). Por otra parte se tienen zorros, felinos como el " gato montes"; hay diversidad de roedores como la "viscacha" (lagidium Viscacia), conejos silvestres o "Kkita conejos" (Cavia Parcellus).

La ganadería de esta zona esta representada por el ganado menor como ovino y caprino, la crianza de auquénidos "llamas", algunos bueyes y asnos.

2.3.3.5 Fauna acuática

En el Río de la Ribera, Huayna Mayu y Tarapaya, no se pudo observar la existencia de fauna acuática.

2.3.3.6 Suelos

En la zona de estudio se puede observar suelos correspondientes a climas fríos de alta montaña, estos se presentan en zonas superiores a los 3500 m.snm, con escasa o nula cobertura vegetal, observándose bastantes afloramientos rocosos, estos originan suelos superficiales que sostienen vegetación de gramíneas y presencia de suelos poco desarrollados, limitados en sectores a terrazas bajas.

De acuerdo al perfil realizado, el suelo de la comunidad de Mondragón presenta las siguientes características:

Suelos de coloración parda rojiza, en terrazas presenta tres horizontes:

A1, textura mediana franco limosa, espesor de 9 cm, estructura granular, presenta abundantes raíces, fragmentos rocosos y minerales, manchas de coloración gris-verdosa.

A2, textura mediana franco limosa, estructura granular, espesor de 20 cm, presenta fragmentos rocosos y minerales.

A3, textura moderadamente gruesa franco arenosa con espesor aproximado de 60 cm, estructura granular, (ver fotografía N° 19-20).

2. 3. 4 Geología Local

El yacimiento del Cerro de Potosí se encuentra en la parte meridional del complejo volcánico de los Andes, ⁵ abarca las montañas andinas del Sur del Perú, norte de Chile. Oeste de Bolivia y Noroeste de Argentina, presenta concentraciones de Estaño (Sn), Plata (Ag), Zinc (Zn), Plomo (Pb), Antimonio (Sb) y Bismuto (Bi) más importantes del mundo, asociadas a las lavas andesíticas y dacíticas. Mayormente los complejos volcánicos se encuentran alterados, como producto de las soluciones hidrotermales.

El evento ígneo más joven relacionado con la evolución de la caldera parece haber sido la intrusión del conocido stock del Cerro Rico. La parte superior es un pórfido riolítico silicificado, en las partes inferiores se ven las relaciones de intrusivo respecto a las rocas encajonantes (ver mapa N° 5).

2.3.4.1 Estratigrafía

📁 Era paleozoica

- Sistema ordovícico

Corresponde al basamento del stock del Cerro Rico, presenta facies sedimentarias limo-arenosas de origen marino, formadas por lutitas, areniscas, pizarras e interestratificación de pizarras y cuarcitas, las cuales tienen un rumbo al NW y buza suavemente al SW (Suarez, R; 1996).

📁 Era mesozoica-

Los sedimentos pertenecientes a esta formación, están constituidos principalmente por una base arenosa, constituidas por las formaciones La Puerta (areniscas), Tarapaya (limolitas, areniscas), en el área de estudio no se observa este tipo de afloramiento (Suarez, R;1996).

➤ **Era cenozoica**

Se encuentra representada con formaciones ígneas y facies piroclásticas del terciario

➤ **Sistema terciario**

Este sistema esta constituido principalmente por la Brecha Pailaviri, Brecha Venus, Toba Caracoles y el stock Riodacítico, que corresponde a la serie del Cerro Rico.

➤ **Stock Cerro Rico**

El stock del Cerro Rico representaría una raíz erosionada de un domo riodacítico que fue extraído a lo largo de fracturas anulares de la caldera.

El stock forma un óvalo de dirección N-S que mide 1600 m de largo y 1200 de ancho, la dimensión de la intrusión disminuye rápidamente en profundidad, convirtiéndose en un dique (Suarez, R; 1996: 36), (Mapa N° 5 - fotografía N° 30).

2.3.5 Geomorfología

Los rasgos geomorfológicos están relacionados principalmente a los procesos de actividad volcánica, en el modelaje actual han podido intervenir agentes exógenos, tales como la meteorización mecánica y la erosión. La actividad antrópica también ha intervenido en la modificación del paisaje.

El Cerro Rico presenta un área positiva sobresaliente, constituida por el stock el cual esta intruido en una estructura anticlinal. Un proceso erosivo muy grande determinó la formación de una topografía abrupta de manera que, la denudación del cerro fue enmarcada por una importante sobreposición.

Los agentes que actúan sobre el stock del Cerro Rico, son principalmente exógenos, como ser la meteorización, remoción en masa y erosión, los cuales inciden desfavorablemente en su relieve original. La actividad antropica incide negativamente en el relieve del Cerro Rico (fotografía N° 1-2)

Al norte se tiene un desarrollo típico de pie de monte producto de la actividad glacial, aquí está emplazada la parte sur de la ciudad; en el sector este se observan acumulaciones morrénicas; al oeste esta el cerro Alcalá Kasa y al Sud el cerro Huakajchi Grande y Chico

Como producto de la erosión hídrica, se observan dos corrientes el río Kusimayu que toma una dirección hacia el norte y el río de La Ribera al SW. Las faldas son afectadas por el lavaje de pendiente y el carcavamiento.

2.3.6 Mineralogía

Se encuentran una variedad de minerales; en los primeros años de explotación se tenía la presencia de plata nativa (Ag) y sulfuras ricos en plata (pirargirita Ag_3SbS_3 , argentita Ag_2S , proustita Ag_3AsS_3 etc.), al transcurrir el tiempo los minerales fueron empobreciendo en plata y se trataba mas bien de minerales complejos como son las sulfosales de plomo, plata y antimonio; los óxidos estaban representados por la casiterita y cuarzo. En el cuadro N° 5, se pueden observar alguna de las características de los principales minerales en el Cerro Rico de Potosí.

Cuadro N° 5 Los Metales y sus Características

MINERAL	F. QUIMICA	MINERAL	F. QUIMICA
Casiterita	$Sn O_2$	Tetraedrita	$(Cu,Fe)_{12}Sb_4S_{13}$
Wolframita	$(Fe, Mn)WO_4$	Buornonita	$PbCuSbS_3$
Estannina	Cu_2SnFeS_4	Calcosina	Cu_2S
Pirita	FeS_2	Marcasita	FeS_2
Arsenopirita	$AsFeS$	Fosfofilita	$Zn_2(Fe, Mn)(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$
Galena	PbS	Hematita	Fe_2O_3
Esfalerita	ZnS	Siderita	$FeCO_3$
Calcopirita	$CuFeS_2$	GANGA	
Jamesonita	$Pb_4FeSb_6S_{14}$	Cuarzo	SiO_2
Pirargirita	Ag_3SbS_3	Turmalina	Silicato de boro
Bismutina	Bi_2S_3	Alunita	$KAl_3(SO_4)_2(OH)_6$
Pirrotina	FeS	Caolinita	$(OH)_8Si_4Al_4O_{10}$

Fuente: Elaboración propia

2.3.6.1 Vetas principales en el yacimiento

Al inicio de las actividades mineras en el cerro, y si nos remontamos al año 1545, la veta descubierta por el indio Diego Huallpa, era un filón de plata nativa; las estructuras minerales en explotación fueron reducidas; con el transcurrir del tiempo y con los desarrollos que se realizaban en interior mina, fueron descubriendo otras vetas; estas presentaban diferente pureza y potencia. "Así en este cerro están las vetas de metal entre la tierra y peña, cuyos linderos llaman cajas, y lo que va en medio es el metal" (Capoche 1959:78); las vetas varían frecuentemente en su potencia, en sectores se encuentran vetas de mas de un metro, para luego reducirse a unos centímetros.

Las principales vetas que se trabajaban durante la colonia fueron: *Veta de Diego Centeno* Aproximadamente 24 mineros explotaban está veta, como ser Sancho de Contreras, Juan de Pendones, Torres Palomino, Francisco Escudero etc. tenía minerales ricos en plata.

➤ **Veta Rica.-**

La estructura mineralizada era rica en plata, se tenían una serie minas de las cuales se extraía el mineral, entre los que trabajaron en esa época tenemos a Cristóbal de Medina, María Veliz, Pedro Sande y otros.

➤ **Veta de Flamencos.-**

Veta que se encontraba en las partes superiores del yacimiento, los contenidos en plata eran interesantes , trabajaban 17 minas, cuyos dueños eran: Pedro Márquez, Juan Juárez, Juana de Alcoba etc.

➤ **Veta de Estaño.-**

Tomó este nombre, por las características que presentaba el mineral, su brillo metálico y su potencia llamo la atención , se dice "que sobre la faz de la tierra tocaba el metal en cobre, y después se topó tan rico que ninguna veta ha habido en el cerro que más haya perseverado en dar metales ricos" (Capoche; 1959: 112).

La estructura mineral estaba acompañada de pedernal⁶, que era muy dura de trabajar de barretar y moler.

➤ **Veta Mendieta.**

Con 26 minas, entre los que trabajaban citamos a Antonio Quijada, Martín de Carrillo y García Toledo, Don Gabriel Paniagua de Loaysa, Gonzalo Santos , Juan Ortiz Picón.etc.

En una sola veta trabajaban, aproximadamente tres personas; la estructura mineral va en sentido vertical y como tal se presenta a diferentes altitudes, es el caso de la veta Mendieta, donde habían quienes explotaban en niveles superiores o cerca de la cúspide y de quienes tenía actividad minera en niveles inferiores.

En su época de mayor producción, el Cerro Rico tenía alrededor de 5000 socavones, cuya explotación intensiva y sin ningún control técnico provocaba derrumbes y hundimientos.

2.3.6.2 Métodos de explotación

Si durante la Colonia, los procesos de explotación fueron rústicos, en el presente capítulo trataremos de dar una visión de los métodos de explotación que se usan en el Cerro Rico, tanto por la Comibol y Cooperativas Mineras, mostrando cuales son las formas de trabajo en interior mina y exterior mina, se tratará de identificar las diferentes plantas de tratamiento de minerales que se encuentran a lo largo del río de la Ribera, y forma de procesamiento de minerales. Ver Fotografía N° 4

Con la nacionalización de las minas en 1952, los tres grandes grupos mineros (Grupo Patino,; Hochschild; y Aramayo) que controlaban el 70% de la producción del estaño boliviano y otros minerales, pasan a depender de la Corporación Minera de Solivia (COMIBOL); el país dispuso en ese tiempo de una importante inversión para el sector minero en cuanto se refiere a la utilización de tecnología nueva, comienza a implementarse sistemas de explotación novedosos por parte de Comibol, los cuales estaban bajo la dirección de técnicos extranjeros y bolivianos; los socavones y las galerías son mas amplias de acuerdo a normas establecidas, se implementa la línea carril, carros metaleros, perforadoras neumáticas y lámparas eléctricas.

Si bien hay un avance tecnológico por parte de la minería estatal, las cooperativas mineras siguen explotando en ;su mayoría con métodos rudimentarios; su presencia en operaciones mineras en el Cerro Rico de Potosí es de aproximadamente un 95%, en su mayoría, siguen utilizando tecnología rústica, (siguen ejecutando perforación manual con combo y punta), las galerías son estrechas (fotografía N° 6), el manejo para la carga de explosivos carece de toda seguridad. Los obreros reciben dinamita, guías y fulminantes, por separado y preparan personalmente, sin ningún conocimiento técnico las cargas para disparar, utilizando los dientes para hjar el fulminante y la guía, muchos de ellos ignoran la extensión de guía necesaria para poderse alejar a una distancia que descarte el peligro. Los ingenios mineros utilizan en su mayoría procesos de flotación de menas minerales de Plata (Ag), Zinc (Zn), y Plomo (Pb)

El método de explotación en el yacimiento del Cerro Rico, es una combinación de arranque y transporte destinado a extraer el mineral. Para poder realizar esta extracción sin embargo es necesario antes localizar las zonas o cuerpos mineralizados y tener acceso a ellos. De modo que la explotación propiamente va precedida por el reconocimiento y desarrollo del yacimiento.

Esta fase de reconocimiento incluye en forma amplia una etapa de prospección (levantamiento geológico, geofísico, geoquímicos etc.) y labores o cáteos de exploración

El desarrollo de la infraestructura de la mina incluye todos los accesos a las zonas mineralizadas y la división del yacimiento en unidades de explotación o bloques y niveles. Esto significa el avance de labores horizontales (galerías), verticales (piques o chimeneas).

Las labores de preparación de la mina se pueden dividir en dos tipos, el primero comienza con el desarrollo de las vetas y el segundo con el proceso de preparación de los rajos y concluir con la explotación.

El arranque se realiza de diferentes maneras dependiendo del método de explotación.

Normalmente usan explosivos distribuidos en la roca siguiendo cierto diagrama de disparos (perforación) cuyo trazado es fundamental para obtener buenos resultados

El carguío se realiza con sistema gravitacional, mecanizado o mixto. La fortificación de las labores una vez cargado el mineral, corresponde a la colocación de relleno y enmaderado.

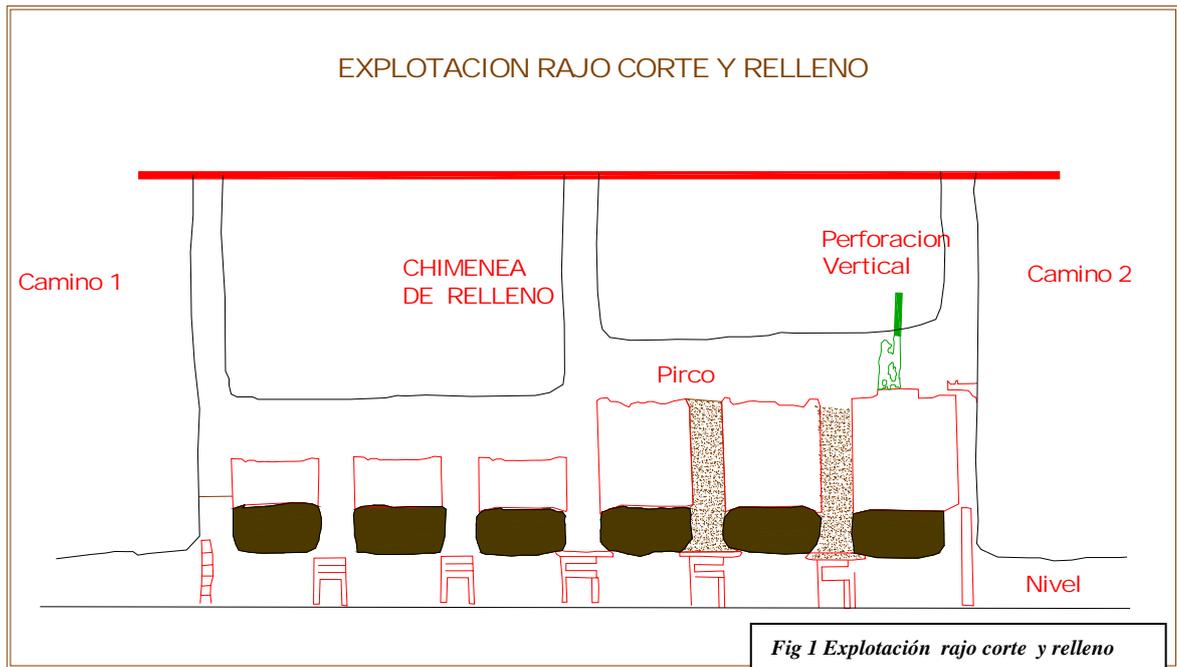
Para cumplir con la explotación, las minas de la COMIBOL y Empresa mediana cuentan con una serie de servicios para el traslado de mineral, como ser energía eléctrica, red de aire comprimido, circuito de ventilación, desagüe etc, la realidad de las cooperativas es diferente, en su mayoría no cuentan con estos servicios, salvo algunas, que tienen compresoras, los métodos de explotación son rústicos.

Los métodos de explotación que se tienen en el yacimiento son:

➤ **Corte y relleno.**

En este sistema el mineral se arranca por franjas o tajadas horizontales, empezando por la parte inferior de un rajo¹⁴ y avanzando hacia arriba. El mineral de zinc, plata y otros, es arrancado se carga y extrae en su totalidad fuera del rajo. Cuando se ha arrancado una franja de mineral (patacha) se rellena con estéril el volumen correspondiente. Este material sirve a la vez de sostenimiento de los astiales¹⁵ como plataforma para el laboreo de la franja siguiente. El material de relleno consiste de roca, la cual lleva diminutos minerales de sulfures de hierro, como la pirita (FeS_2), calcopirita (CuFeS_2), marcasita (FeS_2), esfalerita (ZnS), y galena (PbS), procedente de las labores preparatorias (recortes), que se distribuyen mecánicamente sobre la superficie del rajo (Ver Anexo figura N° 1).

Para este método de explotación se requiere, de una galería base a lo largo del bloque para transporte y acceso, creación de una cara libre horizontal algunos metros sobre la galería base (intermedio), chimeneas entre la galería base y la cara libre, destinadas al traspaso de mineral y al acceso, una o mas chimeneas hasta el nivel superior para ventilación y abastecimiento de estéril o relleno.



El mineral es perforado con taladros horizontales o dirigidos hacia arriba; concluida la perforación, se realiza el carguío, que consta del detonante, ANFO , guía corriente y fulminante N°6 más dinamita como iniciador; posteriormente se realiza el encendido de las mechas para luego producirse la explosión.

➤ **Método de suspensión (Shinkage).**

En la operación, el mineral se arranca en franjas horizontales, empezando desde la parte inferior del rajo y avanzando hacia arriba. Parte del mineral volado se aleja en el rajo donde sirve tanto como plataforma de trabajo para la perforación como de sostenimiento de las paredes del rajo.

La roca volada aumenta en volumen cerca de un 70% por lo que durante el arranque debe extraerse continuamente un 40% del mineral para que la distancia entre el techo y la superficie del mineral volado sea conveniente.

El proceso para la explotación mediante este método requiere de, una galería a lo largo del bloque y sobre la misma estructura, para el carguío y transporte, con galerías laterales; una galería superior (intermedio) sobre la galería base para iniciar la explotación;

chimeneas estrechas, desde la galería base al intermedio, o desde las transversales hasta el corte superior- intermedio y por último chimeneas desde el corte inferior (intermedio) hasta el nivel superior, para ventilación y paso de personal.

Con este método quedan espacios vacíos, no da lugar, a dejar puentes, lo que a posteriori provoca colapsamientos, como en el caso de la mina Lola y Encinas.

➤ **Método pirquín**

Las cooperativas mineras tienen un sistema de trabajo el cual es carente de una mecanización moderna, los socavones son angostos, variando de 0.70x1 m. El método de explotación es de tipo pirquín¹⁸, las galerías son angostas, y solamente se extrae el mineral de alta ley, no se dejan puentes de seguridad, en la mayoría de ellas se sigue utilizando el combo y el martillo para la perforación de las rocas, la utilización de la dinamita y su preparado es indiscriminado, las condiciones de trabajo son precarias, los trabajadores carecen de medidas de seguridad, se ha visto que muchos de los trabajadores no utilizan cascos, plumbosan, protectores de oídos, ni botas para cumplir con sus tarea, el mineral es extraído en pequeños carros metaleros (1.Tn), carretillas y en la espalda (aprox. 50 Kg).

Se estima que en el Cerro Rico hay 29 cooperativas mineras, como ser la cooperativa minera Unificada Ltda, Villa Imperial, Encarnación Ltda, Compotosi etc. (Callapa, A; 1996:3).

Las vetas de plata (Ag) y Zinc (Zn), tienen de 0.5 a 1.5m de ancho, actualmente se van desarrollando y explotando las estructuras principales, como son la vetas Exaltación, Don Mauricio, Bolívar, Tajo Polo y Veta Potosí, son vetas enriquecidas en minerales de plata, (cuadro N°.4); ver Anexo V figura N° 2 de Mensura subterránea donde se observan desarrollos horizontales en diferentes vetas; nivel O Pailaviri.

Cuadro N°. 6 Principales Vetas en el Cerro Rico de Potosí

Vetas	Rumbo	Largo (m)	Profundidad (m)	Ancho (m)
Don Mauricio	N20°-30°E	650	500	0.5
Tajo Polo	N-S	500	370	0.8
Bolívar	N35°E	500	420	0.25
Potosí	N30°E	300	400	0.80
Rica	N25°E	450	290	0.5
Mendieta	N60°E	460	400	0.9
Exaltación	N40°E	600	450	0.9

Fuente: Elaboración propia.

Para el avance de estas actividades cada día se procede a la perforación del frente, con aproximadamente 12 taladros perforados de 1.20 m de profundidad, en cada uno de ellos se carga la dinamita mas el ANFO; una vez acabada con está tarea se enciende las mechas; inmediatamente el trabajador minero busca un lugar para protegerse, el cual frecuentemente esta cercano a la operación, pasados unos 5 a 10 minutos se produce la voladura del tope, arrancando consigo la roca y la mena mineral.

Los métodos expuestos (cf. supra) requieren de cuatro actividades como son: el desarrollo, perforación, extracción de la mena, y el transporte. En cada una de estas tareas el principal ejecutor es el trabajador minero, quien realiza la perforación, la voladura y la limpieza etc; las condiciones de trabajo son duras e insalubres, las operaciones mineras, están ubicadas en diferentes niveles; por debajo del nivel Caracoles 4400 m.snm, las temperaturas reinantes son elevadas (alcanzando 35° a 45°C).

2.3.6.3 Operaciones Exterior Mina

Se observan dos actividad , la primera esta dada por la explotación de los desmontes en la zona de oxidación que viene realizando la Empresa Minera Concepción "COMCO", proceden al traslado de material, con la frecuente circulación

de volquetas y tractores (un volquete hace aproximadamente 30 viajes por día), los tractores cumplen la función de remover los desmontes).

Para la extracción de desmontes, también se está utilizando explosivos en roca dura, lo que provoca una serie de fracturamiento de la roca, lo que a la postre origina debilidad de la estructura rocosa.

El mineral extraído de interior mina, en su mayoría es tratado en los ingenios que se encuentran a orillas del Río de la Ribera, estas plantas en su mayoría sirven para el tratamiento de minerales de zinc-plomo-plata por "flotación selectiva". (cuadro N° 7)

La segunda actividad está dada, por el funcionamiento de las plantas de tratamiento ' de minerales, que se encuentran a lo largo del río de la Ribera, en su mayoría sirven para la recuperación de minerales de zinc, plomo y plata, por flotación selectiva, en una primera etapa proceden al acopio de material, trituración-molienda, clasificación y flotación de los minerales, y la utilización de diferentes reactivos químicos para su recuperación. Ver anexos VI foto 10 – 11-12 – Mapa N° 7

Cuadro N° 5 PLANTAS DE TRATAMIENTO DE MINERALES

NOMBRE DE LAS PLANTAS	CAPACIDAD REAL	PROCESO	PRODUCCIÓN	OBSERVACIÓN
Mineral	130	Flotación	Zn-Pb-Ag	Operación
Procesimo				
Ingenio	100	Flotación	Zn-Pb-Ag	Operación
La Chaca	ISO	Flotación	Zn-Pl>Ag	Operación
Thuru	60	Flotación	Zn-Pb-Ag	Operación
San Jorge	35	Flotación	Zn-Pb-Ag	Operación
Fortaleza	50	Flotación	Zn-Pb-Ag	Operación
Santa Lucia	70	Flotación	Zn-Ag	Operación
Lambol	120	Flotación	Zn-Ag	Operación
Ñañav	30	Flotación	Zn-Ag	Operación
Petra Minera Is	50	Flotación	Zn-Pb-Ag	Operación
San Miguel	45	Flotación	Zn-Pb-Ag	Operación
Exportadora	~	Flotación	Sb	En construcción
San Juan	40	Flotación	Zn-Pb-Ag	Operación
Vera Cruz I	60	Flotación	Zn-Pb-Ag	Operado»
Vera Cruz II	--	Flotación	Pb-Ag	Paralizada
Denver	42	Flotación	Zn-Ag	Operación
Molino	5	Flotación	Zn-Pb-Ag	Operación
Santa Catalina	50	Flotación	Zn-Pb-Ag	Operación
Ingenio nuevo	-	Flotación	Zn-Pb-Ag	En construcción
Don Quijote	12	Gravimétrico	Zn-Ag	Operación
San Francisco	5	Flotación	Zn-Ag	Operación
Zabaleta	35	Flotación	- Zn-Ag	Operación
Viconiio	20	Flotación	Zn-Ag	Operación
San Luis	35	Flotación	Zn-Pb-Ag	Operación

Palüris	20	Flotación	Zn-Ag	Oneración
Dolores	20	Flotación	Pb-Ag	Operación
Cruz del Sur	13	Flotación	Zn-Pb-Ag	Operación
Asunción	15	Gravimetría)	SB	Operación
Velante	—	Flotación	Zn-Pb-Ag	Paralizado
AJave	12	Flotación	Zn-Ag	Oneración
Martínez-	6	Flotación	Zn-Pb-Ag	Operación
Com.Mcl.Polosí	40	Flotación	Zn-Pb-Ag	Operación
San losé de	40	Flotación	Zn-Pb-Ag	Operación
Minera)	30	Flotación	Zn-Pb-Ag	Operación
Occidental				

Así pues, en estas plantas el mineral tratado llega a 1370 Tn/día aproximadamente, lo que representa un 60% de la capacidad instalada, el tonelaje tratado puede variar, ya que depende de la carga con que cuentan estos ingenios. Las plantas de flotación para tratar 1338 Tn/día, requiere 4469 m³/día de agua, ya que para 1 Tn utiliza 3.34 m³.

El pH utilizado en el proceso varía de 9-12 para minerales de Zinc y de 7-8 para minerales de plomo, el tamaño ese grano molido en estas plantas es del orden de 0.147-0.295 mm. (100-48 mallas Tyter). Los reactivos que se utilizan son, muy nocivos para la salud, (cuadro N°6)

Cuadro N° 6 REACTIVOS UTILIZADOS EN EL PROCESO DE TRATAMIENTO DE MINERALES

<i>Fuente: Bol 87</i>			
REACTIVOS	FLOTACION Pb- Ag (gr/tn)	FLOTACION Zn- Ag (gr/tn)	ACTIVIDAD
-Xantatos Z-II y 2-6 (sales de ácido. xantogénico CnHn).	20-30	60-100	Colectores
Sulfato de Zinc (ZnS04).	200-400	400-600	Depresores de Zn flot. de Pb. Activador para Zn.
-Sulfato de cobre (CuS04)			
—Cianuro de sodio (NaCN).	40-80		Depresor de pirita.
-Aceite de pino	10-20	10-20	Espumante energético
Compuesto orgánico CnHnO) -MIBC (Metil-Isobutil	15-20	40-45	Espumante selectivo débil.
Carbonil C-H-0) -AF 242 y RF 1242 (ácidos ditiofosfatos)	40-60		Colector espumante para Ag.
-DF 1012 (compuesto orgánico	10-15	20-30	Espumante energético
-Cal Ca(OH)2	1000	2000	Depresor de pirita y regulador de pH.

Significa la utilización de 80 Kg/día de cianuro de sodio (NaCN), con un total de 1980 Kg/día de estos reactivos utilizados para la flotación plomo-plata y 3562 Kg/día para zinc-plata; todas estas plantas concentradoras de minerales descargan sus desechos, aproximadamente en 52 L/seg ó 4527 m³/día, al cauce de los ríos de la Ribera, Huayna Mayu, los cuales forman la cuenca menor del Río Tarapaya.

Los ingenios mineros, para el tratamiento de minerales utilizan una serie de equipos tal como se observa en el (cuadro N°7).

Cuadro N° 7 Principales Equipos utilizados en los Ingenios mineros

<i>EQUIPO</i>	<i>CAPACIDAD</i>	<i>DIMENSIONES</i>	<i>MATERIAL</i>	<i>USOS</i>
<i>Trituradora Cónica</i>	30 tm/día	70 cm*40cm	Acero	Disminución tamaño mineral
<i>Molino de Bolas</i>	50 tm/día	4'*5'	Acero	Disminución tamaño mineral
<i>Celdas de flotación</i>		70cm*80cm	Madera	Concentración mineral
<i>Clasificador Helicoidal</i>	40 tm/día		Acero	Clasificación Tamaño partícula

Durante el proceso metalúrgico, estos equipos cumplen la función de disminuir el tamaño de grano de los minerales, para cuyo efecto se produce la molienda de los mismos, ocasionando en estas tareas gran cantidad de polvo y ruido.

El medio, donde desenvuelven sus actividades los trabajadores de los ingenios, presentan las siguientes características: la distribución en las plantas es estrecha y el espacio para mantenimiento no se considera; el mineral bruto es almacenado al aire libre, el concentrado es almacenado por sedimentación mediante gravedad y secado en el sol, este concentrado se derrama por la lluvia. Ver Anexo V Fotos N° 10-11-12

Como síntesis de este capítulo, podemos mencionar que las operaciones en interior mina están dirigidas principalmente a la explotación de la mina, donde utilizan perforadoras, ANFO y dinamita; realizan sistemas de explotación como el de corte y relleno, que consiste en la extracción del mineral de los rajos, los espacios abiertos son rellenos con material de ganga, el cual contiene minerales de hierro, como la pirita,

calcopirita etc. al final de su explotación se dejan puentes, el método de suspensión produce la extracción del mineral, no se rellena los espacios abiertos, estos sistemas han sido implementados por la COMÍBOL y Minería Mediana; el método tipo "pirquín", es utilizado por las cooperativas mineras; es carente de toda dirección técnica, se extrae solo el metal rico no se dejan puentes de seguridad, los socavones son angostos y tienen falta ventilación.

En exterior mina, las actividades más visibles son las que realiza la Empresa COMCO con la explotación de los desmontes del cerro, esta operación está modificando la estructura del cerro.

Los ingenios mineros tratan minerales de plata-zinc-plomo por flotación selectiva, se ha contabilizado la existencia de 43 ingenios, el mineral tratado llega a 1200 Tn/día, el pH utilizado durante el proceso varía de 9 a 12 para minerales de zinc y de 7 a 8 para minerales de plomo, el tamaño de grano molido es del orden de 0.147 a 0.295 mm, los reactivos utilizados son mayormente orgánicos como los xantatos, cianuro de sodio sulfatos etc, los cuales son muy nocivos para la salud. Todas estas plantas descargan sus desechos a los cauces del río de la Ribera y Huayna Mayu, los cuales forman la cuenca menor del Río Tara paya.

CAPITULO III

3. IDENTIFICACION DE IMPACTOS – FUENTES DE CONTAMINACIÓN AMBIENTAL GENERADAS POR LA ACTIVIDAD MINERA

Una vez conocidas las actividades de operación minera, tanto en interior como exterior mina, y las condiciones de trabajo de los mineros; en el presente capítulo procederemos a identificar y caracterizar cada uno de los impactos; razón por la cual se elaboraran matrices, donde se tiene la actividad y factor al que afecta, si los impactos son reversibles irreversibles, temporales, permanentes recuperable o irrecuperables; y los efectos que provoca en los trabajadores y el medio ambiente, para concluir con el estudio de caso de la comunidad de La palca.

Se entiende como fuentes de contaminación ambiental generadas por la actividad minera a las fuentes resultantes de la actividad de exploración, explotación y concentración de minerales. En el área, estas fuentes de contaminación en orden de importancia son:

3.1 Descargas Líquidas de Plantas de Concentración

La fuente de contaminación más impactante en el área de influencia del Proyecto es la producida por las descargas de colas (líquido-sólido) de las plantas de concentración de minerales instaladas a lo largo del Río La Ribera, en la ciudad de Potosí. En total existen 43 plantas instaladas, de las cuales 29 están en funcionamiento, con capacidades entre 500 – 1200 toneladas por día, utilizando métodos de flotación y gravimetría. El total de estas plantas vierten sus colas al curso del río La Ribera, contaminando su lecho y generando una dispersión de componentes en solución y suspensión que se extiende por más de 200 km. de distancia, y que es observable hasta el Puente Méndez sobre el lecho del Río Pilcomayo, en la carretera Potosí – Sucre.

La mayor parte del mineral procesado en estas plantas proviene de Cerro de Potosí, sin embargo algunas de ellas tratan cargas provenientes de otros yacimientos. Estas plantas operan en cadena, es decir las descargas de una son utilizadas por la siguiente; hasta llegar la última planta instalada en la parte más baja, en el sector de Cantumarca.

Los desechos o colas producidos no solo contienen altas concentraciones de metales pesados sino que conllevan también reactivos químicos tales como **xantatos, espumantes, cianuro y otros de uso rutinario en los procesos de flotación.**

El pH de estas descargas varía en el rango de **4 a 10**, dependiendo del uso de cal en el proceso. El cianuro es adicionado como agente depresante de Sulfuro de hierro y de zinc en el proceso de flotación. La magnitud de las descargas no ha sido cuantificado debido a que la misma es muy variable, sin embargo Lundberg (1996), estima que los flujos varían entre 100 y 120 litros por segundo. Mitsui (1999), a base de muestreos de 6 colas o descargas de estas plantas, determina que ellas contienen un alto grado de sólidos en suspensión, alta alcalinidad y alto contenido de metales como arsénico Ar, antimonio, cadmio, cromo, plomo, zinc y estaño.

El contenido de sólidos de las pulpas (colas) vertidas hacia el río (descargas), varían entre 22 y 70% en peso, con un valor promedio de 46%. Después de la última planta de procesamiento corriente abajo, la densidad de las pulpas se reducen a 5 % y a los 7 km. de distancia de las plantas, la densidad de las colas se reduce 1.5%, llegando a ser recién un líquido con solo sólidos en suspensión. Golder describe también que la mayoría de las pulpas tienen color gris, con pH variable entre 10 y 11, con alto contenido de reactivos de flotación, espumantes y colectores químicos.

Observaciones realizadas por la investigación efectuadas en terreno entre 2005 y 2007 corroboran la información obtenida por los estudios anteriores y se estima que dichas descargas fluctúan entre **1200 y 3500 toneladas por día** dependiendo de la cotización de los minerales (a precios altos mayor cantidad de colas hoy en día generadas), los cuales fluyen en suspensión y se extienden por los ríos La Ribera y Aljamayu, en la parte norte del área del proyecto, llegando al río Molino – Tarapaya y continúan hasta el Río Pilcomayo. Determinando que el impacto ambiental negativo se extiende mas allá de los 20 Km. de distancia desde la ubicación de las plantas.

3.2 Flujos de Águas Ácidas de Bocaminas

La segunda fuente mas importante de contaminación que afecta a la ciudad de Potosí es la relacionada a los flujos de agua ácidas de bocamina. Para la determinación de la calidad y abundancia de los flujos de agua de bocamina, en Centro de Investigaciones. ha efectuado un mapeo de todas las bocaminas existentes en el área del Proyecto y el área de influencia, llegando a la conclusión de que en agosto de 2004 existían 508 bocaminas entre antiguas y recientes

Del total de las bocaminas identificadas, en **43 se han encontrado flujos de agua en periodo seco**, con características físicas variables entre cristalina y barrosa, con coloraciones entre café amarillenta y grisácea; con caudales oscilantes entre 0.1 a 2 litros por segundo en época de estiaje. La información respecto a la identificación de estas bocaminas, el pH de sus aguas, caudal, cuerpo receptor y operador de bocamina, se resumen en la tabla

Todos los flujos de agua de bocamina, sin excepción, tienen pH ácidos que tienen 1 a 5, que pueden ser clasificados entre flujos fuertemente ácidos (pH 1-3) y flujos moderadamente ácidos (pH 3-5). Las aguas fuertemente ácidas mayormente ocurren en las laderas noroeste, noreste, oeste y en parte en la ladera sureste del Cerro de Potosí, relacionadas a bocaminas con intensa explotación de sulfuros en curso. Las aguas medianamente ácidas ocurren en las laderas noreste y sureste del cerro de Potosí, están relacionadas, en la mayoría de los casos, a labores mineras poco profundas, que aún no alcanzaron áreas con abundantes sulfuros. A medida que estas labores logren llegar a zonas intensamente sulfurosas, se espera que las aguas drenen con mayor acidez.

Cuadro N° 8
Características de la Descarga de Agua Ácida de Bocaminas

No.	Bocamina	pH	Caudal Estimado (l/s)	Cuerpo Receptor	Operador (Coop/Empresa)	Características del agua
1	Real Socavón	2.0	1	Río Huaynamayu	COMIBOL	Color pardo Amarillo
2	Real Socavón	3.0	0.5	Río Huaynamayu	COMIBOL	Color pardo Amarillo
3	Real Socavón Nuevo	2.5	-	Río Huaynamayu	COMIBOL	Pardo estancado
4	La Monjita 2	3.0	0.5	Río Huaynamayu	KORY MAYU	Agua grisácea turbia
5	Socavón “La Negra”	3.0	0.5	Río Huaynamayu	27 DE MARZO	Agua plumiza turbia
6	Socavón Kory Mayu	3.0	0.5	Río Huaynamayu	KORY MAYU	Agua grisácea turbia
7	Socavón “Pailaviri”	2.5	2	Río Huaynamayu	EMPSA-COMIBOL	Color pardo amarillo
8	Socavón Santa Rosita	3.0	-	Río Huaynamayu	ROSARIO	Lodoza
9	Socavón “Morena B”	4.0	0.5	Río Huaynamayu	VILLA IMPERIAL	Plomizo - barroso
10	Socavón “Morena”	5.0	-	Río Huaynamayu	VILLA IMPERIAL	Lodoza estancada
11	Socavón “Santa Rita”	4.0	-	Río Huaynamayu	UNIFICADA	Lodoza estancada
12	Socavón “Pilar”	2.0	-	Río Huaynamayu	UNIFICADA	Lodoza estancada
13	Socavón Encarnación	3.0	-	Río Huaynamayu	ENCARNACIÓN	Lodoza estancada
14	Socavón Candelaria	3.5	-	Río Huaynamayu	UNIFICADA	Lodoza estancada
15	Socavón Rosario bajo	-	-	Río Huaynamayu	UNIFICADA	Lodoza estancada
16	Socavón “Salvadora”	3.0	0.5	Río Huaynamayu	KUNTI	Color pardo amarillo
17	Socavón “Purísima”	5.0	1.5	Río Huaynamayu	RESERVA FISCAL	Color pardo
18	Socavón “Purísima 1”	-	-	Río Huaynamayu	9 DE ABRIL	Lodoza semi estancad
19	Socavón “Encinas”	4.0	0.5	Río Huaynamayu	COMPOTOSÍ	Color Pardo
20	Socavón “Santiago”	5.0	-	Río Huaynamayu	VILLA IMPERIAL	Lodoza estancada
21	Socavón Acogedora	5.0	0.2	Río Huaynamayu	10 DE NOVIEMBRE	Cristalina Amarillenta
22	Socavón Juan del Oro	5.0	0.1	Río Huaynamayu	LAMBOL	Cristalina Parduzca a
23	Socavón Sta. Catalina	5.0	0.2	Qda. Chimborazo	CHIMBORAZO	Cristalina Amarillenta
24	Socavón Relámpago	2.5	0.1	Río San Antonio	VILLA IMPERIAL	Pardo Amarillenta
25	Socavón “Roberto”	2.0	0.5	Río San Antonio	COMPOTOSÍ	Turbia amarillenta
26	Socavón S. Hambres	3.0	0.2	Río San Antonio	VILLA IMPERIAL	Turbia amarillenta
27	Socavón “Porvenir”	2.0	0.5	Río Diablo-La Rivera	UNIFICADA	Turbia Pardusca
28	Socavón “Forzados”	2.5	-	Río Diablo-La Rivera	UNIFICADA	Lodo plomizo estanca
29	Socavón “Forzada II”	1.0	-	Río Diablo-La Rivera	UNIFICADA	Lodo plomizo estanca
30	Socavón “Uzin”	2.0	0.3	Río Diablo-La Rivera	VILLA IMPERIAL	Turbia color pardo
31	Socavón San Nicolás	3.0	0.2	Río Diablo-La Rivera	RESERVA FISCAL	Turbia color pardo
32	Claudia	2.3	0.2	Río Huaynamayu	NN	Amarillenta
33	B. M. Soledad	3.2	0.3	Río Huaynamayu	KUNTI	Amarillenta
34	Andrea	2.9	0.3	Río Huaynamayu	Augusto Ramirez	Pardo Turbia

35	B.M. María Antonieta	2.8	0.4	Río Huaynamayu	23 DE MARZO	Amarillenta
36	1° de Mayo	3.0	0.3	Río Huaynamayu	KORY MAYU COMPOTOSÍ COMPOTOSÍ COMPOTOSÍ	Pardo Turbia
37	Patrocinio	3.2	0.4	Río Jayajmayu		Pardo Turbia
38	Requerida	2.7	0.5	Río Jayajmayu		Pardo Turbia
39	Salvadora Potosí	3.2	0.3	Río Jayajmayu		Cristalina
40	Santa Catalina	4.1	0.2	Río Canta Canta	CERRO RICO	Amarillenta
41	Bonanza	3.3	0.2	Río Canta Canta	VILLA IMPERIAL	Cristalina
42	San Lucas	3.5	0.1	Río Canta Canta	SAN CRISTOBAL	Amarillenta
43	B. M. Don René	2.3	0.2	Río Canta Canta	SAN CRISTOBAL	Agua Amarillenta

Fuente : Proyecto Fonama U.A.T.F

La bocamina con flujo mas sobresaliente se denomina “Real Socavón” y esta localizada cerca del puente Pailaviri a 4.144 m de altura. Su flujo es continuo, estimado entre 0.2 y 0.6 litros por segundo en epoca seca; el cual fluye directamente sobre el curso del río Huaynamayu-La Ribera. Lundberg en 1996, indica que el agua de esta bocamina es muy ácida, con promedio de pH de varias mediciones de 2.5, indica además que contiene altas concentraciones de metales pesados tales como cadmio entre 3 y 104 mg/l y arsénico entre 5 y 146 mg/l. Ver anexo IV foto N° 7 -8.

Las investigaciones hechas por el centro de investigaciones Facultad de Geología, en aguas del “Real Socavón” corroboran la información de Lundberg. Las mediciones efectuadas entre agosto 2006 y Enero del 2007, en siete eventos de monitoreo arrojaron valores de pH variable entre 1.75 y 2.98. Los análisis químicos de estas mismas aguas, muestran elevados contenidos de As, Pb, Cd, Fe, Zn, Sb, Al, Cu, Mn, Ni, Ag, sulfatos y sólidos disueltos, tal como se indica en la tabla

PARAMETRO	AGOSTO 2006	OCTUBRE 2006	NOVIEMBRE 2006	DICIEMBRE 2006	ENERO 2007	FEBRERO 2007	MARZO 2007
Flujo (l/s)		0.315	0.334	0.219	0.258	0.564	0.414
pH	2.73	2.54	2.71	2.98	2.74	1.75	1.75
As (ppb)	37.600	24.900	21.100	19.600	327.000	28.200	2.0511
Pb (ppb)	50.11	37.88	23.29	5.11	66.62	75.03	0.01
Cd (ppb)	40.500	28.700	27.800	27.900	141.000	49.600	2.9800
Fe (ppb)	999999	2.130,000	1.880,000	1.980,000	11.200,000	2.650,000	3.870,0000
Zn (ppb)	999999	3.590,000	3.200,000	3.270,000	999999	8.120,000	7.980,3500
Sb (ppb)	160.000	145.207	81.314	51.821	993.443	187.154	0.007
Al (ppb)	479000.00	427.000,00	416000.00	311000.00	999999	629000.00	41.20
Cu (ppb)	129.000	134.000	131.000	126.000	525.000	57.800	4.4600
Mn (ppb)	32.900	29.900	26.200	26.100	113.000	25.700	1.6300
Ni (ppb)	3.330	3.170	2.610	2.240	4.540	5.350	0.2291
Ag (ppb)	3	3	3	2	9	6	-30721.33
Sulfatos (mg/l)	-	11270	10270.3	10270.3	2444	23650	30721.33
Solidos disueltos	33140.6	-	26399	26399	46076.4	46761.7	44209.00

Es importante remarcar que los drenajes ácidos, debido a su carácter físico-químico, son medios activos de transporte de contaminantes, principalmente de metales pesados tóxicos, tal como se evidencia en los contenidos de **As, Pb, Cd, Fe, Zn, Sb, Al, Cu, Mn, Ni y sulfatos**, en las aguas del “Real Socavón”, verificando además, que la generación de drenajes ácidos de mina (DAM) es en parte un efecto de contaminación ambiental natural, ya que la misma se produce por lixiviación de rocas mineralizadas y alteradas, por la acción de agua de lluvia, agravada por los efectos de las actividades mineras.

Los drenajes ácidos de mina (DAM), junto con los drenajes ácidos de roca (DAR), tienen una distribución de mas de **10 km²** en torno al Cerro de Potosí, afectando directamente a los cursos de las **subcuencas Huaynamayu-La Ribera y Huacajchimayu-Jayajmayu principalmente a la subcuenca Vilacollumayu-Agua Dulce (Quebrada Canta Canta)** en menor proporción (ver Anexo VI Mapas N° 9 I).

3.3 Residuos Sólidos de Operaciones Mineras

Otras fuentes de contaminación en el área de estudio , son los residuos de operaciones mineras antiguas y en curso . Estos residuos, por la acción del agua de lluvia, originan flujos ácidos y generan dispersión severa d elementos tóxicos. Estos residuos fueron clasificados en:

- Desmontes Oxidados
- Desmontes Sulfurosos,
- Colas Sulfurosas y Oxidadas (Sink and Float, San Miguel y San Antonio),
- Colas de Explotación Hidráulica Artesanal y Pilas de Lixiviación.

3.3.1 Desmontes oxidados y desmontes Sulfurosos

La mayoría de los residuos sólidos minero-metalúrgicos (desmontes), extendidos en aproximadamente 8 km² en torno al cerro de Potosí, Son producto de operaciones mineras de mas de 450 años. Tanto los desechos oxidados como los sulfurosos, en diferente grado, son agentes permanentes y activos que dan origen a soluciones ácidas,

generando la dispersión de elementos tóxicos, tales como plomo, arsénico, antimonio y otros, que son componentes comunes de estos materiales., los mismos representan una fuente significativa para el desarrollo del drenaje ácido de rocas, (DAR), Adiciona que la actividad minera actual produce residuos sólidos crecientes en las laderas de Cerro Rico y que los mismos se están extendiendo hacia el lado Este de Cerro Huacajchi Chico, próximo a la quebrada Canta-Canta, donde los impactos son por el momento menos severos.

Los desmontes oxidados están cubriendo mas de cuatrocientos mil metros cuadrados de extensión a lo largo de las laderas del Cerro de Potosí, sobre la roca 4400 metros, Cubren aproximadamente el 50% del área total sobre la cota 4500 metros; los espesores varían de 1 a 10 metros, estimando que aun quedaban cerca de 1.9 millones de toneladas de desmontes oxidados. Los resultados de pruebas de laboratorios, hechos por UATF, indican que la mayoría de estos desmontes oxidados contienen altos niveles de azufre, baja capacidad de neutralización y cantidades significativas de metales lixiviables. Los contenidos de azufre varían entre 0.25% y 12.4%.

La Universidad Autónoma Tomas Frías Facultad de Geología con el propósito de investigar estos residuos, realizo u mapeo de todos los desmontes oxidados y desmontes sulfurosos, llegando a la conclusión de que en la actualidad existen 218 desmontes de oxidos que suman aproximadamente 1.5 millones de toneladas y mas de 335 desmontes sulfurosos que totalizan aproximadamente un millón de toneladas; todos ellos distribuidos sobre la cota 4200 metros. A base de información de COMIBOL, se determino que originalmente existían cerca de 5.0 millones de toneladas de desmontes oxidados, de los cuales un poco mas de 3.5 millones de toneladas fueron procesadas por lixiviación en pilas en la planta de la Empresa Minera Concepción S.A. (COMCO) y otras 220 mil toneladas fueron procesadas en la planta Hidrometalurgica de Potosí (PLAHIPO).

La mayoría de los desmontes sulfurosos son producto de operaciones de explotación de minerales complejos de plata, zinc y plomo, los cuales se generaron por trabajos realizados por antiguas empresas, la COMIBOL, y las Cooperativas Mineras de Potosí, Así mismo, ha constatado que los desmontes sulfurosos aumentan diariamente, en tonelaje y número, por la actividad en curso de 29 Cooperativas Mineras y algunos grupos particulares que operan en el cerro de Potosí.

3.3.2 Colas Sulfurosas y Oxidadas

Sin duda, las colas sulfurosas y oxidadas las cuales se acumulan en el extremo norte del cerro, como resultado del funcionamiento de las plantas Pailaviri, Sink and Float y Velarde durante el siglo XX, constituyen enormes fuentes de contaminación que afecta substancialmente a las condiciones ambientales originales del área. Una descripción detallada de estas colas se describe a continuación .

➤ **Colas Sink and Float:**

Las colas “Sink and Float” mezcla de colas de flotación (20%) y colas gravimétricas de medios pesados (80%), que fueron producidas por una pequeña planta de flotación denominada Pailaviri que al parecer funcionó a comienzos de los años 1900 y una planta de preconcentración denominada “Sink and Float” que operó entre los años 1940 y 1960. El tonelaje total fue estimado por COMIBOL en el orden de 670.000 toneladas, abarcando una extensión de 56,000 m². En la actualidad, dichas colas no tienen ningún sistema de protección y están expuestas a la erosión permanente por el viento, por las aguas de lluvia y por el río Huaynamayu durante sus crecidas. En época de lluvias la erosión es fuerte llegando al extremo de que varias toneladas de este material son arrastradas hacia el curso del río Huaynamayu.

Se puede mencionar que particularmente el contenido elevado de As, mayor a 0.0559 %, debería ser de considerable preocupación. Cita, que de hecho uno o dos decilitros de este líquido representa una dosis fatal para los humanos y que el consumo de 3 mg de arsénico inorgánico por cada día, en un par de semanas, puede dar un severo envenenamiento en niños y síntomas de toxicidad en adultos.

Se indica que los metales de estos materiales se lixivian fácilmente enfatizando que parte de estas colas fueron usadas como material de ripio para caminos, lo cual ha extendido la posibilidad de generación de drenaje ácido (DAR) y la emisión de partículas de polvo altamente nocivas en el medio ambiente. El polvo de las colas, conteniendo elevadas concentraciones de metal por lo que es un riesgo significativo para la salud humana.

Al caracterizar estas colas, se puede mencionar e indicar que contienen 12% de S, el cual estaría básicamente en forma de sulfuros, la investigación a base de los resultados de los análisis de la calidad de las aguas derivadas de estas colas, determina que de estos materiales fluyen aguas fuertemente ácidas (pH 2), confirmando también las elevadas concentraciones de arsénico, cadmio, cobre, estaño y zinc, cuyos valores fueron de 241, 49, 3614, 730 y 1919 mg/l respectivamente, como componentes altamente nocivos. Ver Fotos 2-3 7-8 Mapas 9 IV

➤ **Colas San Miguel:**

Las colas sulfurosas y oxidadas de San Miguel, localizadas en el extremo noreste del cerro rico Ver anexo Fotos N° 13-14-15 , por su extensión, gran volumen y falta de protección a su erosión, sin duda, conforman otra fuente de contaminación ambiental, estas colas tienen un tonelaje total estimado de 5.1 millones, de las cuales 4.60 millones son totalmente sulfurosas y el resto 0.50 millones de toneladas son oxidadas, aun que con un fuerte componente de sulfuros. Estas colas fueron producidas por la antigua planta Velarde.

En general, estas colas están afectadas por la erosión pluvial que es mas intensa durante la época de lluvias, produciendo el escurrimiento de sus componentes hacia el cauce del río La Ribera. Lundberg (1996) al referirse a estas colas manifiesta que “la mayoría de la precipitación pluvial es retenida dentro de la plataforma-techo de las colas, generando lagunas que posteriormente, en época seca, son evaporadas, pero las salidas laterales de rebalse erosionan las paredes de las colas y el agua ácida generada sigue su curso sobre la base hasta el cauce del río La Ribera.

➤ **Colas de Explotación Hidráulica Artesanal (Sucus)**

En el área del Proyecto existen numerosas acumulaciones de colas o residuos sólidos de trabajos artesanales denominados localmente “Sucus” ver anexo Mapas IV N° 4, que resultaron de la explotación de los sedimentos mineralizados (Pallacos) para la recuperación de minerales de estaño. Estos trabajos se iniciaron en la década de los

años 60 y se incrementaron en las décadas de los años 70 y 80. Los trabajos consistieron en desmoronamiento del material compacto (Pallacos) y su posterior lavado en canaletas con rifles para concentrar los minerales de estaño. En este proceso se utilizaron tanques de agua abastecidos por camiones cisterna ubicados en las partes altas de las operaciones. Por efecto de la presión y caudal de agua, el material lavado fue arrastrado y depositado en cauces naturales hasta distancias de 2 kilómetros de su origen, dejando áreas cubiertas con material removido o “Sucus”, como son conocidos localmente.

Estos materiales o colas, de acuerdo a las investigaciones realizadas, son generadoras de aguas ácidas y de materiales tóxicos, contribuyendo a la contaminación de las Subcuencas Huaynamayu-La Ribera y Huacajchimayu.Jayajmayu. Los “Sucus” Diablo Norte, Santa Rita y Huacajchi, que totalizan aproximadamente 15 millones de toneladas, son parte de las reservas del proyecto San Bartolomé, .

3.3.3 Operaciones Mineras Actuales

Adicionalmente a las fuentes de contaminación ambiental descritas, existen muchas otras fuentes de contaminación provenientes de las operaciones de las

- COOPERATIVAS MINERAS DE POTOSÍ, COMPAÑÍA MINERA CONCEPCIÓN S.A. (COMCO),
- EMPRESA MINERO METALURGICA POTOSÍ S.A. (EMMPSA),
- PLANTAS PRIVADAS DE CONCENTRACIÓN
- LABORES PRIVADAS DE EXPLOTACIÓN MINERA.

3.3.4 Otras Fuentes de Contaminación Ambiental

En el área, además de las fuentes descritas, existen otras fuentes de contaminación ambiental que están relacionadas a la actividad de la ciudad de Potosí. Un resumen de estas fuentes es como sigue:

3.3.4.1 Descargas de Aguas Servidas y Descargas de Basura de la Ciudad de Potosí.

Otras fuentes de contaminación, que afectan adversamente a la calidad ambiental del área, son la descarga de aguas servidas y descargas de basuras generadas por la ciudad de Potosí, las cuales son también vertidas en los cursos de los ríos y quebradas del sector norte del área del Proyecto.

La Ciudad de Potosí actualmente no tiene un sistema de tratamiento de aguas residuales. Todas las descargas de aguas servidas que proceden de viviendas, hospitales, hoteles y otros son liberadas directamente sobre el curso de la quebrada Diablo y el Río Huaynamayu – La Ribera. En el curso de los ríos estas descargas se mezclan con las descargas líquidas de plantas de concentración generando una contaminación extrema.

Las basuras y desechos generados por la población de Potosí, también son depositados sobre los cursos de la quebrada Sucumayu y Río Huaynamayu – La Ribera, contribuyendo a incrementar la contaminación del medio ambiente del área.

3.3.4.2 Generación de Polvo por Tráfico Vehicular

El polvo y gases generados por la circulación de vehículos livianos y pesados, ligados a las actividades comerciales del área, tales como vehículos de transporte público privado, vehículos destinados al turismo, vehículos privados para el transporte de personal y otro tipo de vehículos que circulan diariamente en el área, son otra fuente de contaminación ambiental. Durante el periodo seco, la magnitud de la generación de polvo es sustancialmente elevada, al extremo de generar nubes de gran volumen, con material en suspensión, las zonas Pailaviri – Velarde, Pampa Ingenio – Villa Colón /San Gerardo, Cantumarca y Central; próximas al Cerro Rico y plantas de concentración, son las más afectadas por la contaminación fuerte de polvo con contenidos elevados de plomo, zinc, cadmio y cobre.

Adicionalmente a lo antes mencionado, cabe destacar que las emisiones de contaminantes gaseosos provenientes de la actividad cotidiana de la ciudad de Potosí no son perceptibles en el área del Proyecto. Sin embargo no se pueden destacar que muchos de los gases emitidos por la actividad cotidiana de la ciudad estén fluyendo en el aire del área del Proyecto por efecto de la dirección cambiante de las corrientes de aire propias del área.

3.3.4.3 Utilización de Residuos Sólidos como Ripio para Caminos

En el pasado muy cercano, el Servicio Nacional de Caminos a utilizado varios miles de toneladas de colas sulfurosas, del depósito “Sink and Float” para ripiar el camino carretero de la ciudad de Potosí hacia el sur, hasta el km 10 aproximadamente. Sin duda este hecho ha generado una dispersión de componentes sulfurosos y de componentes tóxicos que afectan a las tres subcuencas, la extensión de estos materiales como ripios para caminos extiende las posibilidades de generación de drenajes ácidos (DAR).

3.3.4.4 Generación de Ruido

Las dos categorías principales de fuentes de ruido en la actividad minera esta dada, por las plantas de tratamiento y los equipos móviles, estos últimos son propios de las operaciones básicas, perforación, voladura, carga transporte y servicios

Las plantas fijas, la constituyen los ingenios, los cuales incluyen las trituradoras, cribas, cintas, tolvas, celdas de flotación etc.

Los ruidos que despide durante las operaciones de mina, son altos y fuera de las normas establecidas por la legislación ambiental, que manifiesta que el límite máximo permisible de emisión de ruido de fuente fija es de 68 dB (A), (Anexo 6 del Reglamento en Materia de Contaminación Atmosférica, Ley 1333: 179), en el cuadro N° 10 se indica el rango de niveles de ruido correspondiente a diversos equipos de instalaciones fijas y móviles, utilizados en la actividad minera del Cerro Rico de Potosí, se toma como parámetros para nuestro análisis ya que no se midió el ruido dentro las operaciones antes indicadas por falta de equipos.

Cuadro N° 10
Niveles de ruido según al anexo de contaminación atmosférica Ley 1333

<i>EQUIPO</i>	<i>NIVEL DE RUIDO</i>	<i>PUNTO DE MEDIDA</i>
<i>Trituradora de Mandíbulas</i>	90 – 100	Posición del Operador
<i>Cono triturador</i>	92- 98	Posición del Operador
<i>Molino de Bolas</i>	Hasta 100	Posición del Operador
<i>Cintas Transportadoras</i>	82- 113	Posición del Operador
<i>Bombas</i>	89- 100	Posición del Operador
<i>Perforadora de roca</i>	110-120	Posición del Operador
<i>Camión pesado</i>	90-95	Posición del Operador
<i>Celdas de Flotación</i>	63-91	Posición del Operador
<i>Ventiladores Eléctricos</i>	Hasta 100	A 5 m
<i>Martillos de aire comprimidos</i>	104 – 112	Posición del Operador
<i>Sala de Compresoras (85 m³/ min</i>	52	A 300 m
<i>Concentrador (7000 tn/día).</i>	70	A 100 m

3.4 Principales Mecanismos de Transporte y Transferencia de Contaminantes

A través de las investigaciones realizadas como parte de la presente auditoria, se han determinado que los principales mecanismos de transporte y transferencia de contaminantes que existen en el área son los siguientes:

3.4.1 En solución mediante corrientes hídricas

El transporte y transferencia de contaminantes en solución se realizan mediante flujos de agua ácida. Las características físico – químicas de las aguas ácidas permiten disolver y transportar metales pesados provenientes de rocas, sedimentos mineralizados y residuos sólidos. Tal como se indicó en el capítulo referente a las fuentes de contaminación, esta agua trasladan y distribuyen contaminantes abarcando una extensión superior a 16 km² en torno al Cerro de Potosí.

El transporte de los elementos tóxicos por medio del agua ácida tiene en su máxima manifestación durante la época de lluvia y su mínima durante la época seca. En ambos casos, el agua ácida que mayormente está cargada de elementos metálicos tóxicos tales como: As, Sb, Pb, Cd y otros, drenan hacia las quebradas, arroyos y ríos de las tres subcuencas hidrográficas del área.

De las tres subcuencas, la subcuenca Huaynamayu- La Ribera es la que recibe mayor cantidad de agua ácida y por lo tanto mayor cantidad de elementos tóxicos. La subcuenca Huacajchimayu-Jayajmayu le sigue en importancia, especialmente de su cabecera, donde tiene una elevada acidez. La subcuenca Villacollomayu- Agua Dulce, si bien contiene aguas de relativa baja acidez, en el curso de su cabecera (quebrada Canta Canta) está empezando a transportar y difundir contaminantes debido al desarrollo minero intenso producido en los últimos años en el sector de cerro Huacajchi Chico.

3.4.1 Por arrastre y suspensión de corrientes hídricas

Se entiende por el transporte y transferencia de contaminantes por arrastre y suspensión constituyen las descargas líquidas de las plantas de concentración, instaladas en la ciudad de Potosí. Estas descargas pueden ser observadas en el curso de los ríos La Ribera y Aljamayu.

Los ríos La Ribera y Aljamayu en toda su extensión contienen gran cantidad de material sulfuroso como arrastre y en suspensión, presentando una tonalidad plomiza o metálica, como característica típica de esta agua. El arrastre y suspensión continúa corriente abajo en el curso de río Molino y llega hasta el río Pilcomayo, a una distancia observable de más de 200 km.. Ver anexo VI Fotos 22 -23.

Sin duda, este tipo de transporte y transferencia de contaminantes es el más notorio e impactante. Afecta los cursos de los ríos La Ribera, Aljamayu, Molino y Pilcomayo, convirtiendo el área en una región fuente de contaminación. A esto se

agrega el drenaje de agua ácida a partir de las acumulaciones sulfurosas, lo que hace a esta una de las zonas mas contaminadas del país.

3.4.2 Por corrientes de aire

Otra forma de y transporte y difusión existente en el área es a través del viento y/o corrientes de aire. En época ventosa es notorio observar que la mayoría de las corrientes de aire llevan en suspensión partículas de polvo de un lugar a otro. Así mismo es común notar que las corrientes de aire trasladan los gases emitidos por la maquinaria y vehículos relacionados a la actividad minera.

La dispersión y difusión de contaminantes por medio del viento, que transporta polvo y gases, aparentemente son mínimas; sin embargo durante los periodo ventosos (Agosto y Septiembre), este tipo de dispersión y difusión sin duda es importante y modifica temporalmente las condiciones ambientales.

3.4.3 Por medio de la actividad minera cotidiana

Este mecanismo de transporte y transferencia de contaminantes se inicia en la extracción de minerales de interior mina a la bocamina, se hace marcado durante el cargado del mineral de los buzones a las volquetas y se extiende aun mas durante el transporte del mineral a las plantas de concentración. Esta actividad minera que existe a diario produce transferencia y difusión de contaminantes en forma acumulativa y extensiva en torno al Cerro de Potosí.

El transporte mecanizado no controlado, generalmente produce derrames por defectos en las tolvas de las volquetas o por movimiento brusco producido por el mal estado de los caminos. Estos derrames, sin duda son un ejemplo de dispersión de materiales sulfurosos contaminantes sobre caminos de las laderas del Cerro Rico y caminos vecinales.

3.4.4 Por Arrastre Gravitacional

El transporte y transferencia de contaminantes por medio de arrastre gravitacional es muy común en torno al Cerro de Potosí. Este tipo de movimiento esta favorecido por las gradientes empinadas y los cambios bruscos de temperatura que ocurren entre el día y la noche; así como por los cambios estacionales de invierno y

verano. Estos factores ayudan al agrietamiento e las rocas y favorecen el desprendimiento y desplome, por gravedad de bloques, pedrones y fragmentos de roca contaminantes.

Otro ejemplo de este tipo de transporte y difusión es lo que ocurre en los sedimentos mineralizados denominados “Sucus”, los cuales en época de lluvia por su porosidad se saturan con el agua y se desplazan por gravedad lentamente pendiente abajo; ocasionando en algunos casos empujes y presiones sobre viviendas de la ciudad de Potosí; al extremo de producir la caída de alguna de ellas.

3.5 Matriz de valoración de impactos Leopold en actividades mineras

Es un sistema mas conocido dentro de las metodologías de identificación para evaluaciones de impacto ambiental, que trata de un sistema de información cualitativo no sistemático entendiéndose por esto ultimo como una metodología que no ordena el proceso a establecer a partir de los datos existentes o generados en cuanto a magnitud de efectos o alteraciones, los valores que les corresponden de calidad ambiental resultante y de ponderación de los mismos, a efectos de comparación dejando estas evaluaciones a juicio del realizador y ofreciendo únicamente un sistema de presentación y síntesis de datos.

En el Anexo III A, se puede observar la matriz de impactos, donde se identifican las actividades que se realizan en las operaciones mineras y como afectan al medio físico, observándose que tiene una incidencia negativa en el aire, agua, suelos, ecológicos, ruido y salud.

Pero esta actividad muestra también un impacto positivo en lo concierne a la parte económica, con la dotación de empleo, ingresos al sector público, ingreso per cápita, propiedad pública y privada.

En el Anexo III B, se muestra, de que tipo de impactos se trata, si son reversibles, temporales, irreversibles o permanentes, llegando a colegir que la mayor parte de los Impactos son reversibles y temporales, si se toman medidas de mitigación, los impactos reversibles y permanentes están relacionados a los problemas de salud en los trabajadores (silicosis); la modificación del paisaje corresponde a un impacto irreversible.

En el Anexo III C, se observa si los impactos pueden ser recuperables o irrecuperables, en el caso del aire, agua, suelos, ecológicos, ruido y salud, pueden ser recuperables si se toman las medidas correctivas; los suelos, la flora terrestre, las cosechas agrícolas y el paisaje cuando son afectados por los desechos de los ingenios se hacen irrecuperables.

Los impactos directos e indirectos son representados en el Anexo III D, nos muestra que los impactos directos están relacionados principalmente con la salud y los indirectos afectan a la parte ecológica, como ser fauna terrestre, cosechas agrícolas, suelos y paisaje.

Se realizó una evolución sistemática de la Matriz a partir de fichas de campo con una determinación en los lugares más problemáticos ambientalmente como en la zona de Cantamarca. Ver anexo III Matrices E - F

3.6 Efectos de los contaminantes a la Salud en los trabajadores.

Las partículas finas de dióxido de silicio se acumulan paulatinamente en los pulmones, lo que provoca que el obrero enferme de silicosis, es una enfermedad pulmonar que rápidamente lleva a la muerte del trabajador, razón por la cual el promedio de vida de un minero es de aproximadamente 45 años; ocasiona que la familia quede desamparada tempranamente.

Producto de las partículas suspendidas que se tiene en el aire, es frecuente las molestias respiratorias, e irritaciones de los ojos.

Los gases tóxicos frecuentemente se encuentran dentro interior mina en parajes abandonados o con poca ventilación, ataca al sistema nervioso, al contacto con estos gases provoca inmediatamente la muerte. El Ditiófosfatos (Aerofloat-242), utilizado como colector espumante en los procesos de flotación, tiene propiedades ácidas fuertes y una gran reactividad, frecuentemente desprenden gases nocivos, al caer sobre la piel del trabajador provocan quemaduras fuertes.

Los efectos del ruido en el trabajador minero es la sordera paulatina que este adquiere, aunque al principio no se le da la importancia del caso; realizadas las entrevistas algunos trabajadores manifestaron que muchos de sus compañeros de trabajo " tienen⁰ problemas de audición, principalmente los que trabajan realizando la perforación

En el estudio realizado se ha llegado a determinar la presencia de metales pesados , tales como el cadmio, cobre, manganeso, plomo, zinc, antimonio, arsénico y mercurio, cuyos valores en su mayoría se encuentran encima de los límites permisibles determinados por el MDSMA; se quiere mostrar de los efectos que pueden causar estos elementos en la salud humana,.

➤ **Arsénico (As)**

Los efectos tóxicos dependen de su forma química, la ruta o vía de ingreso, la duración de la exposición y el nivel de concentración del arsénico.

La contaminación del agua por As produce la eucoplaca, que se manifiesta en manchas blancas en zonas del cuerpo. Los sulfuros tienen efectos respiratorios y son dañinos para los pulmones, alto grado de exposición puede destruir el tabique nasal. Presencia elevada de este elemento, produce desórdenes en el sistema nervioso, también produce daños en el hígado, con una disminución de las funciones hepáticas, que a la larga acaba con cáncer. Produce mutaciones y malformaciones congénitas.

➤ **Mercurio (Hg)**

La contaminación por mercurio, está caracterizada por temblores de las manos, irritación de las membranas mucosas de la boca, excesiva salivación etc.

➤ **Cadmio (Cd)**

Su consumo en concentraciones altas, puede ser causa de perturbaciones en el sistema renal y trastornos pulmonares, descalcificación, fatiga, daños en el sistema del olfato y el sistema nervioso. -

➤ **Plomo (Pb)**

Constituye un peligro grave para la salud, produce generalmente anemias, cólicos y ataca al sistema nervioso, la elevada concentración produce el "saturnismo", causa principal de un bajo coeficiente intelectual, irritabilidad y ansiedad, ocasiona desórdenes en el corazón y sistema circulatorio.

➤ **Antimonio (Sb).**

Irritan la piel y membranas de la mucosa, es un veneno sistemático, se asemeja al plomo y arsénico por su acción.

Cuadro N° 11 EFECTOS QUE PUEDEN TENER ESTOS METALES PESADOS EN LA SALUD.

EFECTOS	As	Cd	Cu	Hg	Pb	Zn
Alérgicos						
Cancerígenos						
Cardiovasculares						
Gastrointestinales						
Hematológicos						
Hepáticos						
Inmunológicos						
Neurológicos						
Pulmonares						
Renales						
Reproducción						

3.7 Efectos ambientales en la cuenca menor del Río Tarapaya

Sub cuenca del Río Huaynamayu _ La Ribera – Agua Dulce

El diseño geomorfológico de esta cuenca menor, está caracterizada por la presencia de montañas y colinas medias y bajas, con valles que presentan paredes abruptas,, modelados por la acción geológica hídrica en los ríos.

Hidrológicamente la cuenca del río Tarapaya tiene una superficie aproximada de 70 Km². Los principales ríos que atraviesan la región son; el Río de la Ribera, Huayna Mayu, San Antonio, cayara y Tarapaya.

Para la identificación de los efectos que se presentan en esta cuenca, se procedió a la toma de muestras en el Río de la Ribera, Huayna Mayu, Alja Mayu y Tarapaya.

3.7.1 Técnicas de Muestreo en aguas superficiales

Las cinco primeras muestras se tomaron en el cauce del Río de La Ribera, Huayna Mayu y Alja Mayu, ya que consideramos los focos principales de contaminación, debido a que la mayoría de las plantas de procesamiento de minerales se encuentran en los ríos mencionados anteriormente ver Anexo IV (mapa N° 8), se recurrió más a observaciones de tipo físico del agua, como ser pH, color, olor; los elementos analizados en los dos sectores, fueron por Cd, Cu, Mn, Pb, Zn, Sb, As, y Hg. Ver mapas de anomalías Anexo IV 8 A –B-C-D-E

Las muestras número 6, 7, 8, 9 se tomaron en el sector de La Palca, El Molino, Tarapaya y Mondragón, (mapa N° 8), corresponden a pequeñas comunidades las cuales se encuentran al margen del Río Tarapaya.

La muestra N° 10, se toma antes de la confluencia con el Río Pilcomayo, con el objeto de verificar si continúa la presencia de elementos pesados en las aguas.

3.7.2 Muestreo de suelos

El muestreo de suelos se lo realizó en la comunidad de la Palca río Huancarani, en áreas destinadas a la actividad agrícola, para cuyo efecto se realizaron calicatas de 1 a 1.5 m de profundidad, se mapearon los diferentes horizontes, para luego hacer la toma de muestras en una cantidad de 2Kg, Ver Anexo VI Fotos N° 19 -20-21.

3.7.3 Interpretación Hidroquímica

 **Cadmio** (este elemento se presenta a partir del Río Huayna Mayu muestra concentraciones excesivas en siete de los 10 puntos muestreados.

La presencia de cadmio en valores encima la norma establecida por el M.DSMA, es atribuida básicamente a la descarga de aguas residuales de las plantas concentradoras de zinc-plomo p-plata ubicadas en la ciudad de Potosí (cuadro N° 5), este elemento tiene la

tendencia de ocultarse en la estructura de la esfalerita en gran proporción.

- ✚ **Cobre.** Los valores anómalos de cobre observados en los mapas de anomalías de la subcuenca Tarapaya se detectaron en los primeros tres puntos de muestreo, ha partir del Río de La Rivera sector Cantumarca, su concentración esta en los límites permisibles, ver Anexo III – VII Graficos Tablas 1-2. Por el desplazamiento y la cantidad de sólidos que se desplazan por está cuenca, y al combinarse con otros metales y durante el proceso de sedimentación, estos son proclives a constituirse en fuentes contaminantes.

- ✚ **Manganeso.** Los valores de manganeso en toda la cuenca del Río Tarapaya, se encuentran encima de los límites permisibles ver ver Anexo III – VII Gráficos Tablas 1-2. , elemento de gran movilidad y de fijación.

- ✚ **Plomo.** El plomo en los 10 puntos de muestreo realizado, (Río Huayna Mayu hasta el Río Tarapaya y antes de la confluencia con el Pilcomayu), muestra valores que están encima la norma establecida, por la movilidad geoquímica que presenta, fácilmente se acumula en los suelos ver Anexo III – VII VI Gráficos Tablas 1-2. IV .

- ✚ **Zinc.** Desde el Río Huayna Mayu, hasta el Río de La Ribera (sector Cantumarca), los valores de zinc, están por encima del límite permisible , es otro elemento que presenta gran movilidad geoquímica, y puede combinarse con sulfates y carbonates, los cuales son dañinos para el medio físico. • ver Anexo IV - VIII. Mapa de Zinc.

- ✚ **Arsénico.** La presencia del arsénico y antimonio con valores encima la norma se encuentran en los puntos 1,2,3, está relacionada con la evacuación de las aguas residuales de los ingenios, ver Anexo III – IV- VII Mapas - Tablas 1-2 – Gráficos.

- ✚ **Mercurio.** Elemento altamente nocivo, su presencia es discutible, las cantidades detectadas tendrían que estar relacionados con el uso que se hizo de este meta! durante la colonia (ver Anexo III – IV -VII Mapas Tablas 1-2 .Gráficos), ya que en el yacimiento del Cerro Rico no se tiene la presencia de este elemento.

3.8 ESTUDIO DE CASO: COMUNIDAD LA PALCA

Producto de la contaminación de las aguas y suelos, la comunidad la Palca dentro las confluencias del río Huancarani – Tarapaya ver anexo VI Fotos 19 -20 21, se ve afectada directamente; a continuación presentamos un estudio de caso, el cual ha estado verificado por diferentes análisis y por encuestas realizadas a los pobladores, cuyos resultados son los siguientes:

Localización:

Ubicación : Latitud 19° 25'25" Longitud 65° 47' 15"
Cantón: La palca
Provincia: Provincia Tomas Frías
Población: 60 familias
Municipio Yocalla
Habitantes 300 personas (fluctuantes)
Altura: 3,280 m.snm
Distancia de Potosí: 19 Km.

Características generales.

Lo característico es la presencia de relieve abrupto y accidentado, formado por farellones, con altitudes mayores a 90 m.

Esta comunidad esta vinculada con la ciudad de Potosí con un camino de segundo orden. Por su cercanía con la ciudad de Potosí se observa un elevado índice de migración temporal y definitiva.

Uso de Agua para riego.

Se proveen del Río Huancarani, con un porcentaje aproximado del 60%, los cuales sirven principalmente para regar sus campos de cultivo, sus terrenos se encuentran como pequeñas terrazas a orillas del Río Tarapaya, el regadío de sus

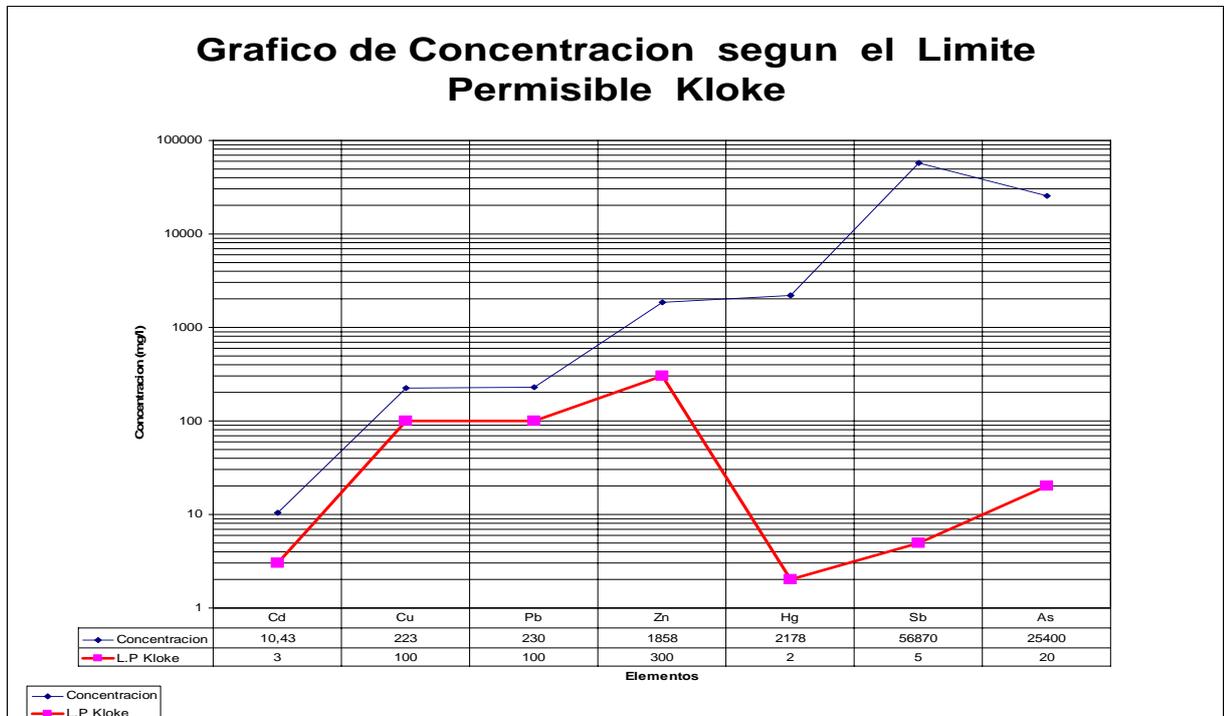
suelos con las aguas del río Tarapaya, a la confluencia de este se observa que estos presentan un color plomizo Ver anexo VI Foto 20 es el típico material de los desechos de los ingenios, a la larga ocasiona la contaminación de sus suelos.

Las concentraciones de metales en los suelos de la comunidad La Palca arrojaron los siguientes resultados (cuadro N°. 16)

Cuadro N° 12
RESULTADO DEL ANALISIS DE SUELO: COMUNIDAD MONDRAGON

RELACIÓN DE RESULTADOS			
Elemento	Fórmula	Concentración mg/l	Limite permisible (Kloke) mg/l
Cadmio	Cd	10.43	3.000
Cobre	Cu	223.00	100.000
Plomo	Pb	230.00	100.000
Zinc	Zn	1.858.00	300.000
Mercurio	Hg	2.178.00	2.000
Arsénico	Sb	56.870.00	5.000
Antimonio	As	25.400.00	20.000

Elaboración propia



Al tratarse de suelos franco arcillosos y arenosos, se produce la infiltración correspondiente por su permeabilidad, lo que ocasiona que sus suelos se contaminen con metales pesados; el plomo tiene la facilidad de fijarse rápidamente en los suelos.

Cultivos y Agropecuaria.

En esta comunidad, el tipo de variedades de cultivos son principalmente de papa, haba, maíz y cebada, los cuales son regados con aguas del Río Tarapaya.

En estas tierras se cultivan: haba, papa, maíz, algunos árboles frutales. También tienen cultivos a secano de cebada y papa en los terrenos de las laderas de los cerros.

Predomina la crianza de ganado caprino y ovino, en menor proporción cuentan con ganado vacuno con fines de trabajo y aves de corral solo para el consumo.

Efectos

Los efectos visibles y palpables como producto del riego con aguas del Río Tarapaya esta dada por: anteriores; teniéndose una baja productividad y de mala calidad de sus productos.

En la actividad pecuaria, se nota un desarrollo anormal de los animales, desgaste de pezuñas en los animales a causa de contacto con el agua, enfermedades intestinales a causa de ingestión de agua, frecuentemente mueren con diarrea, según información de comunarios. En los terrenos se observa una sedimentación de materiales de color plomo y sólidos en suspensión (frecuentemente llevan minerales microscópicos), lo que provoca bajo rendimiento de los cultivos, las plantas antes de su floración mueren. A orillas del Río, se podía observar antes vegetación de flora silvestre, ésta paulatinamente está desapareciendo, de igual manera sucede con la fauna silvestre,

3.9 Revisión de Tecnologías de Mitigación del Impacto Ambiental

En este punto se pretende dar las medidas de mitigación para los impactos, tanto directos como indirectos, se tratará de mostrar que sí, existen medios tecnológicos, para cada uno de los efectos que produce la explotación y tratamiento de minerales.

Estamos conscientes que la actividad minera que se realiza en el Cerro Rico de Potosí, continuara por mucho tiempo mas, debido a las reservas "potenciales que presenta, la minería se constituye en la base de la economía del departamento; como las operaciones proseguirán, se seguirán produciendo impactos negativos en la salud de los trabajadores y poblaciones aledañas, esto no justifica que cerremos nuestros ojos de lo que a diario observamos, -aguas y suelos contaminados, terrenos con baja productividad etc. Es por esta razón que nos permitimos plantear algunas medidas de mitigación, para así paliar este grave problema por el que esta atravesando la ciudad de Potosí.

3.9.1 Clasificación de tecnologías de mitigación.

A continuación presentaremos una serie de alternativas tecnológicas para mitigar los impactos del polvo, gases, ruido y contaminación de aguas; aunque los métodos descritos pueden resultar costosos en un principio, a largo plazo constituirán una solución permanente.

Prevención del Polvo y Gases.

El objetivo de estas medidas, están dirigidas a mitigar los niveles elevados de polvo y gases tóxicos, e indirectamente la disminución de enfermedades pulmonares como es el caso de la silicosis en trabajadores de interior y exterior mina.

Para la aplicación de estas medidas tenemos el respaldo del art. 43 del Reglamento ambiental para las actividades mineras, donde manifiesta que los "concesionarios" y quienes realicen actividades mineras están obligados a cuidar la vida y salud de sus trabajadores. De acuerdo al estudio realizado sobre el impacto de la silicosis y silicotuberculosis en los trabajadores del Cerro Rico de Potosí (COMIBOL), el año 1979-1980, en una muestra de 2269 trabajadores se determino que el 12.70 % tenían silicosis y el 1.40% silicotuberculosis, estos porcentajes en las cooperativas mineras

seguramente son mas elevados debido a las condiciones mas precarias de trabajo adernum a la Reglamentación en materia de contaminación atmosférica, medidas especiales y normas que deben ser cumplidas en el sector minero.

Dentro las actividades de interior mina, se debe cumplir con las medidas de seguridad industrial, los trabajadores deben contar y hacer uso de las máscaras protectoras contra polvo durante la perforación, explosión y limpieza de los topes.

Desde el punto de vista de medidas de control y prevención del polvo en las diferentes operaciones mineras se pueden citar las siguientes:

Perforación de barrenos.

Los equipos modernos de perforación llevan captadores de polvo que están constituidos principalmente por una campana de aspiración, una manguera flexible, un ciclón para separar las partículas gruesas y un Filtro para las más finas.

El polvo se recoge en bolsas o se deposita directamente sobre la superficie del banco en pequeños montones. En el primer caso las muestras pueden servir para realizar el control de leyes de minerales.

Además de eliminar con estos equipos las partículas más peligrosas para los mineros, con una granulometría inferior a las 5 micras, se consiguen menores costos de mantenimiento y de perforación, velocidades de penetración más altas y por consiguiente mejores condiciones de trabajo.

Voladura.

En esta operación se producen contaminaciones debido a los gases de reacción de los constituyentes químicos de los explosivos que es inevitable y relativamente importante en la mina y con menores riesgos en atmósfera abierta, y otra, la producida por el

En las operaciones de interior mina se deben utilizar las mascarar protectoras contra polvo, y se debe estar alejado de donde se produce la voladura.

Estabilizantes químicos.

Los tres tipos de sustancias químicas empleadas son agentes humidificadores, sales higroscópicas y agentes creadores de costra superficial. Cada uno de estos productos actúa en el control del polvo según principios diferentes.

Los agentes humidificadores operan reduciendo la tensión superficial del agua, consiguiendo humedecer el polvo más fino, que es el de más difícil control.

Las sales higroscópicas atraen el vapor del agua de la atmósfera, retrasan la evaporación de sus soluciones con el agua y elevan la humedad de la capa superficial de las pistas. Además, el aumento de humedad incrementa la cohesión y compactación de los materiales, resultando una disminución importante del polvo.

La solución concentrada se prepara normalmente para alcanzar el 30% de cloruro cálcico anhidro. Para ello se disuelven 50 Kg de laminas en 80 litros de agua. Los 100 litros de solución obtenidos se esparcen sobre la superficie del suelo.

También se pueden utilizar aceites usados, para eliminar el polvo, pero se debe tomar en cuenta que la frecuente aplicación puede provocar riesgos de accidentes.

Láminas filtrantes sintéticas.

Estas láminas son también llamadas **geotextiles**, se utilizan en la estabilización de suelos de drenaje, control de erosión etc. Extendiendo estas láminas sobre el camino y cubriéndolas con material granular grueso, disminuye la cantidad total de partículas suspendidas en un 58% y de partículas inhaladas en casi un 46%.

Ventiladores:

En galerías y parajes donde existen operaciones mineras o estén abandonados, se sugiere la instalación de ventiladores y extractores de gases, estos tendrán la misión de no permitir la acumulación de gases tóxicos.

Almacenamiento de minerales.

Existen tres métodos utilizados en el control del polvo fugitivo procedente de las colas o relaves o de stocks de mineral: cubrición de los parques, barreras verticales contra el viento y empleo de agentes químicos que forman costras superficiales.

Las principales recomendaciones para mitigar la contaminación del aire:

- ✓ Riego periódico de las pistas y accesos de las boca minas
- ✓ Pavimentación de los accesos permanentes a las explotaciones,
- ✓ Retirada de los caminos del material formado por acumulación de polvo.
- ✓ Reducción de la velocidad de circulación de vehículos.
- ✓ Revegetación de áreas adyacentes a los caminos de transporte, preferentemente con especies nativas.
- ✓ Control del polvo procedente de la carga de los volquetes.
- ✓ Reducción de las áreas de apertura de nuevos socavones.
- ✓ Mejora de los métodos de manipulación de los materiales.
- ✓ Empleo de pantallas vegetales frente al viento.
- ✓ Control del polvo durante la perforación en interior mina por medio de captadores.
- ✓ Reducción del movimiento de carga de los desmontes.
- ✓ Disminución de las operaciones de mina durante los meses de fuertes vientos.
- ✓ Control del polvo durante el transporte del mineral desde la planta de tratamiento.
- ✓ Restauración de las áreas modificadas producto de la explotación, Depósitos cubiertos para los concentrados de minerales.

Prevención del Ruido

La aplicación de estas medidas permitirá una disminución de los problemas auditivos en el trabajador; el Reglamento en materia de contaminación atmosférica en su anexo 6, indica claramente que el valor máximo permisible de ruido es de 115 dB (A), durante un lapso no mayor a quince minutos (perforadora despide mas de 120 dB, el trabajo es por mas de dos horas)

Los sonómetros integradores se los pueden situar en las proximidades de las explotaciones o equipos, registran el ruido durante un cierto tiempo y dan el nivel continuo equivalente en dB (decibel), lo que permitirá no solo la medida del ruido ambiental, sino incluso, la medida de los ruidos cíclicos, la valoración del riesgo de lesión auditiva, y la realización de mapas de ruido.

Se pueden dar tres soluciones para el control y corrección del ruido, las cuales son:

- ✓ Reducir la causa.
- ✓ Aislar la fuente emisora.
- ✓ Absorber o atenuar el ruido entre la fuente emisora y el receptor

Los dos primeros sistemas son los mas más efectivos, aunque el costo es muy alto. Se tendría que utilizar el diseño de la maquinaria móvil, con silenciadores mas grandes para los gases de escape, envío del aire del ventilador soplante hacia arriba a través de rejillas que disponen de material absorbente, recubrimiento de goma en las cajas de los volquetes.

En los ingenios, se debe proceder al mantenimiento de la maquinaria, ya que así se eliminan los ruidos procedentes de elementos desajustados o muy desgastados que trabajan con altos niveles de vibración.

Para atenuar el ruido producido por las explosiones en exterior mina, uso de maquinaria etc. se puede construir barreras o pantallas entre la fuente emisora y el receptor. El ruido es difractado en la coronación de la pantalla, siendo este efecto más acusado en los ruidos de baja frecuencia que en los de alta.

En interior mina, el problema es mas complejo, se trata de espacios cerrados; una de las soluciones aunque no la única es la utilización de protectores para los oídos, lo cual

Las medidas que pueden adoptarse para reducir los ruidos procedentes de las operaciones mineras en interior y exterior mina, de instalaciones fijas y equipos móviles se resumen en:

- ✓  Situar las plantas de tratamiento lo más alejadas posible de la ciudad

- ✓  Construir barreras de sonido perimetrales entre las fuentes y los receptores Cubrir las salas de las compresoras con estructura de hormigón. Revestir las plantas de tratamiento con paredes dobles y rellenas de fibra de vidrio u otros materiales aislante Instalar silenciadores en los equipos móviles.

- ✓  Estudiar, alternativas de rutas de transporte en zonas próximas a áreas habitadas.

- ✓  Realizar un mantenimiento preventivo adecuado.

- ✓  Instalar recubrimientos de goma en molinos, cribas, volquetes etc. Para reducir el ruido por impacto de material con elementos metálicos. Utilizar protectores de oídos, para las labores de perforación durante la voladura y carguío de material. Revisión médica preventiva de los oídos, cada 2 meses .

Prevención de aguas acidas.

El objetivo que se persigue con esta serie de tecnologías, es e! de la disminución de aguas acidas, para lo cual se pueden aplicar la revegetación de los terrenos, que cumplen la función de ofrecer mejor calidad de aguas.

Otra de las técnicas consiste en el sellado de las boca minas (consignado en la Ley 1333 y su reglamentación), con este tipo de medidas las aguas acidas procedentes de la mina son confinadas, depositadas en diferentes estanques, se puede aplicar el método de la adición alcalina

El método la adición alcalina, favorece considerablemente a la neutralización de aguas acidas, aplicando hidróxido sódico, caliza y cal, la adición de estas sustancias además de producir neutralización de las aguas acidas crea un ambiente desfavorable para la oxidación de la pirita.

En los desmontes, relaves o colas con el de San Miguel, se tendría que proceder a la cubierta según el cuadro N° 13, lo que provocara a corto plazo que en estas áreas disminuya la producción de aguas acidas y puedan implantarse especies vegetales que mejoraran la estética de la zona.

Las técnicas preventivas son aquellas que atacarán directamente al control de la oxidación de la pirita (FeS_2), y pueden clasificarse en tres grupos de métodos. Los Métodos de Barrera, que intenta aislar la pirita de los elementos meteorizantes o del sistema de transporte hidrológico; los Métodos Químicos, que modifican la composición de las soluciones de agua en los materiales rocosos y limitan las posibilidades de reacción; y los métodos de Inhibición Bacteriana, que rompen el proceso de oxidación cíclico catalizado biológicamente.

Método de barrera.

Estos métodos intentan aislar la pirita de los elementos meteorizantes se pueden aplicar las siguientes técnicas:

Revegetación de los Terrenos.

La revegetación de los terrenos ayuda a mejorar la calidad de las aguas. La cubrición de los estériles con suelos y vegetación incrementa también la evapotranspiración y restringen la migración del agua, y posiblemente la del oxígeno, hacia la zona pirítica. El oxígeno es también evacuado de los poros del suelo por las raíces de las plantas, la respiración microbiana y descomposición de orgánicos. La revegetación contribuiría al control de las aguas acidas, una especie aconsejable sería el **alriplex (Atriplex hortensis)** esta especie dio buen resultado en el yacimiento de la Joya (Oruro) etc.

En las siguientes figuras se detallan el proceso de revegetación posible que podrían aplicarse a los terrenos contaminados.



Figuras Esquemáticas de Revegetación posible para terrenos contaminados.

Aislamiento del Agua.

Para el aislamiento del material pirítico del agua, se pueden utilizar material estériles de minas, rocas que no contengan minerales, o materiales sintético, se debe proceder al desvío de las aguas superficiales y de boca mina, aplicando el drenaje y el tendido de los taludes.

En lo referente a los estériles piríticos, su colocación selectiva en los vertederos se emplea como una técnica de barrera. Para aislar la pirita de la zona superficial húmeda y oxigenada, así como de la zona saturada, se recomienda que esos materiales se ubiquen dentro de las escombreras en puntos secos y elevados, esta técnica fácilmente podría ser aplicada en las zonas superiores del yacimiento.

Consideramos a los relaves o colas de San Miguel como una fuente potencial de contaminación, sería aconsejable la construcción de una cubierta, con las siguientes características (cuadro N°17), esto podrá atenuar substancialmente la evacuación de aguas acidas.

Cuadro N° 13

Cubierta para Colas de San Miguel

CONSTRUCCIÓN DE LA CUBIERTA	Cm
- Especies vegetales (estabilizan la superficie y mejoran la estética del vertedero).	20
- Tierra vegetal (evita la desecación de las arcillas).	20-30
- Material grueso (sirve de barrera a las raíces).	50-200
- Capa de arcilla (evita el paso de agua).	20-30
- Material grueso (actúa de barrera capilar).	

Los materiales que pueden utilizarse en la impermeabilización de los relaves, con ventajas y desventajas se observan en el cuadro N° 14.

Cuadro N° 14

Impermeabilización de Relaves

MATERIAL DE CUBIERTA	PERMEABILIDAD DEL AGUA (m/s)	VENTAJAS/PROBLEMAS
Arcilla compacta	10-9-10-11	Disponible en muchos lugares y barata. Fácilmente erosionable y puede sufrir daños, agrietamiento y penetración de las raíces. Tiene buen sellado, requiere de buena protección.
Tierra de cultivo compactadas	10-7 - 10-9	Como en el caso anterior, pero generalmente más permeable.
Tierra vegetal compactada	10-5 – 10-8	Como en el caso anterior, mas permeable, duración incierta.
Turba	10-5 – 10-6	Necesita mantenerse en condiciones de saturación. Normalmente impracticable en taludes de vertederos con mucha pendiente. Costo medio.
Hormigón y lechada de cemento	10-10 – 10-12	Sujeto a agrietamiento, heladas y daños mecánicos. Costo alto.

Sellado de boca minas.

Requiere de condiciones estríelas, como ser el sellado de las fracturas existentes, para que no exista fuga de agua, para luego producir el cierre de los socavones que permiten el

Control y Manejo del Dique de Colas Laguna Pampa I – II

Para el almacenamiento de la caja producto o residuo sólido del tratamiento metalúrgico por flotación de minerales con apoyo de reactivos clásicos en la minería, comúnmente se conoce como colas de proceso, requieren un sitio apropiadamente preparado para la acumulación segura cumpliendo las leyes ambientales ya señaladas.

El proyecto de Dique de Colas Laguna Pampa 1 y Laguna Pampa 2 encarado por la Asociación de Ingenios consiste en la construcción y canalización selectiva de descargas de Ingenios Asociados para ser acumulados en los diques de colas mencionados. Ver Anexo V - VI fotos N° 16-17-18- Fig 3.

a) Descripción y detalle de preparación del sitio

El sitio elegido para de Laguna Pampa 1 y 2 está ubicado en la zona entre Cantumarca y San Antonio, en un sitio antiguamente utilizado como laguna de acopio de aguas para procesos de concentración gravimétrica de minerales de plata durante la colonia, que con el transcurso del tiempo fue abandonada, dejando un sitio apropiado para un dique de colas pequeño de corta duración, es apropiado porque la base o suelo de este Dique está formado de sedimentos arcillosos de más de 5 metros de altura que fueron acumulados en muchos años provenientes del arrastre de partículas suspendidas las que se fueron decantando, creándose de esta manera una base apropiadamente aislada e impermeabilizadas para los objetivos del Dique y materiales que deben ser almacenados

Las características de diseño del dique de colas donde se muestra a Laguna Pampa 1 con 5.4 hectáreas de superficie útil, conformado las bermas y taludes una especie de "U", rodeado de cañerías para distribución y depósito acumulativo sistemático que pueda permitir el crecimiento de la cresta de los taludes con

acumulación del mismo material grueso de las colas, dejando una relación de crecimiento de 1 de vertical a 2 de horizontal con una capacidad aproximada de 550,000 m³

El área de suelo comprendido para el Dique de Colas Laguna Pampa 2 es de 5.1 has en la continuación del anterior Dique en actual operación, su construcción esta en ejecución y ocupara una extensión útil para acumulación de 5.1 has con una capacidad de almacenamiento de aproximadamente 500.000 m² en una altura de 2m del material obtenido, una mínima parte utilizado como dique de contención inicial o de arranque. El área de ubicación y levantamiento topográfico de Laguna Pampa 2.

b) Características de las colas o residuo sólido

El material es arenisca de diversas dimensiones sólidas y todos ellos formando minerales oxidados y poco lixiviables por agua con un contenido de sulfuros como principal componente que puede generar el DAR. Tamaño de grano, el material sólido que forma parte de pulpa de cola, se encuentra en un tamaño de grano molido a menos 100 Mallas Tyler (desde 70 a menor de 240 micrones). Forma parte de pulpa con 18 a 20 % de sólido.

El agua de la pulpa contiene reactivos de xantatos y espumantes disueltos residuales, que durante su recirculación ayudan al proceso por pH ya regulado y por los reactivos residuales que arrastra. Esta es una de las razones por las cuales es recirculado y no debe ser descargado a ningún cuerpo receptor Líquido, en cumplimiento de las normas ambientales vigentes.

c) Sistema de acumulación de residuo sólido.

El sistema es de **aguas arriba**, partiendo de un arranque de dique construido con materia acumulado de suelo., sobre la cual se colocan los tubos calados para la red de drenaje colectora de aguas de infiltración. El sistema de drenaje principal es por desagüe a través de tubo enrasador de nivel de agua dentro el espejo de agua, llamado cachimba.

El espejo de aguas está hacia la parte alta del cerro o colina, al lado contrario de la descarga de arenas y pulpa bombeada o descarga libre desde la planta de procesamiento. La descarga de pulpa de colas se efectúa sobre el arranque del dique.

El crecimiento del dique permite la construcción de andenes cada 6 m de altura, por lo tanto en total tendrá tres andenes, en los andenes se cuenta con piezómetros para control de nivel freático y de humedad, las arenas secas son parte de la estabilidad de talud y del mismo dique. La estabilidad del dique está garantizada por la relación de crecimiento de 2 en horizontal a 1 por cada m vertical de crecimiento, esta relación debe ser mantenida permanentemente durante la vida útil del dique.

d) Manejo de aguas

La Clarificación de aguas de la pulpa, se efectúa por simple decantación en el espejo de agua o laguna de decantación del dique. Las aguas claras por desagüe mediante la cachimba, se transporta hasta la piscina 1, para mejorar la clarificación y reciclar al proceso. El agua recuperada se bombea para ser reutilizada en el proceso de concentración, preferentemente para usar en sección notación por el contenido residual de reactivos disueltos. La recuperación de aguas podrá lograrse de 55 a 60 % y el resto requerido debe ser completado con agua fresca proveniente de la mina o captación previa decantación en la piscina 2 de la Planta, estanque de acumulación de aguas para la operación industrial en relación cercana de 4 de agua por 1 de mineral.

La construcción, administración y operación del Dique de Colas Laguna Pampa 1 y Laguna Pampa 2 esta bajo la directa responsabilidad de la Asociación de Ingenios de Potosí.

Plan de Emergencia Dique de Colas Laguna Pampa

A principios de! mes de septiembre de! año 2004, la AIP se hace cargo del manejo del dique de cotas de Laguna Pampa, que hasta ese momento era administrado por AAPOS. Realizada la inspección in situ, se observa que !a coronación de !a presa inicia ubicada en et sector Este presentaba grietas, y, filtraciones al pie del talud de la

presa Sur, esto por efecto de un manejo inadecuado de las cotas, ya que no consideraron fortalecer los muros de las presas formando playas, es así que descargaban las cotas al dique por gravedad, lo que hacía que se formara el espejo de agua en la cara Este del dique, con el consiguiente debilitamiento del mismo.

Como primera medida para corregir esos errores técnicos, se instaló un **sistema de bombeo para operar por el método aguas arriba**, transportando las colas a la presa ubicada al este del dique, para formar el espejo de agua al extremo opuesto de la presa Este, consolidando y formando playas en la presa de la zona Este, preparando de esa manera el crecimiento del Dique, y de esa manera darle un tiempo más de vida. Lográndose un crecimiento promedio de 1,3 m en las presas Este y Norte y en las presas Nor-Oeste y Sur un crecimiento de 0.30 m. Sin embargo, existió dos problemas: bien identificados:

- ✓ La cantidad excesiva de agua en la pulpa, que tiene un promedio de 6 % de sólidos,
- ✓ La cantidad de cotas que son depositadas en el dique.

Sistema de Descarga actual de Colas

La descarga actual de las colas de las plantas concentradoras de los ingenios, se inicia en la zona de Agua Claras (altura de la circunvalación) y continua hasta la calle Batallón Colorados, donde a lo largo de este trayecto las colas se mezclan con las aguas servidas de la ciudad y a partir de este punto vale decir la calle Batallón Colorados, recién son transportadas mediante una canaleta que continua por la zona de Cantumarca y desembocan para ser acumuladas en el Dique de cotas de Laguna Pampa.

Normalmente las plantas concentradoras de los ingenios, descargan sus residuos con 10 a 15% de sólidos, pero como desde la calle Batallón Colorados hacia arriba, las cotas de los ingenios se mezclan con las aguas servidas, y considerando otros aportes de agua a la canaleta a lo largo de su trayectoria, diluyen las cotas hasta un promedio de 6 % de sólidos, ocasionando un serio problema en el manejo del dique, considerando que se recomienda descargar al dique una pulpa de 30 a 55 % de sólidos.

El otro problema es la excesiva cantidad de cotas que llegan al dique, si tomamos en cuenta que se recomienda un área de 10 a 12 hectáreas para 1000 toneladas, para una eficiente sedimentación y un crecimiento adecuado que permita consolidar el dique, nosotros recibimos en el dique aproximadamente 2000 toneladas de descarga de cotas por día para un área de 5.4 hectáreas.

Medidas inmediatas de Control

Las acciones inmediatas que se han tomado para resolver estos problemas que dificultan enormemente el buen manejo operativo del dique, son las siguientes:

1°. Como primera medida se ha instruido que los ingenios de la parte alta de la ciudad descarguen solamente por la noche, para así evitar que el agua en exceso proveniente de las aguas servidas de la ciudad se elimine en gran parte, de esa manera eliminamos las aguas servidas que en el día son más abundantes que en la noche (la gente utiliza mayor cantidad de agua en el día que en la noche) consiguiendo de esta manera un incremento en el porcentaje de sólidos.

2°. La segunda medida recomendada es la de reducir la capacidad de ingreso de cotas al dique, haciendo que los ingenios trabajen en forma alternada, vale decir que la mitad de los ingenios trabajen una semana y otra mitad de los ingenios paralicen operaciones, consiguiendo de esa manera que el 100 % de las colas lleguen al dique, y evitar la contaminación hacia el sistema hídrico.

Pese a estas medidas inmediatas dispuestas por los ingenios, que han afectado considerablemente la economía de los mismos, más aun, ahora que la cotización de los minerales está en su punto más alto; no se ha podido mantener en operación el dique porque la razón de crecimiento del dique (volumen/tiempo) era muy grande y el agua en exceso ha saturado las presas iniciales **presentado zonas de debilitamiento**

Medidas a Corto plazo

La construcción del dique de cotas de Laguna Pampa II, permitió acumular en su totalidad de la descarga de los residuos de los ingenios en forma temporal, mientras dure la construcción del **Dique de cotas San Antonio**, técnicamente no es más que la ampliación del dique de Laguna Pampa en actual Operación, para cuyo diseño se han tomado en cuenta las siguientes consideraciones conceptuales:

Sí bien, actualmente el dique de cotas de Laguna Pampa está recibiendo cotas entre 6 y 10% de sólidos debido a que existen aportes externos de agua, para el diseño del nuevo dique, las condiciones serán diferentes, porque no se puede manejar un dique con esa dilución, sin poner en riesgo la estabilidad física del mismo, por tanto lo tanto técnicamente se debe realizar lo siguiente :

Actualmente los ingenios descargarán las cotas con 15 % de sólidos, como esa dilución es aún peligroso un buen manejo del dique; se tiene planificado transportar las cotas por medio de una tubería de H^oA^o de 24 pulgadas de diámetro, desde la circunvalación (zona de Aguas Claras) hasta la calle Batallón Colorados, eliminando de esta manera el aporte de las aguas servidas de esa parte de la ciudad. Y luego esas colas con 15 % de sólidos, serán espesadas de 25 a 30% de sólidos en un tanque espesador de 30 m de diámetro por 6 m de altura, que se encuentra en el ingenio Velarde, y éstas colas antes de ingresar al dique de Laguna Pampa II, serán nuevamente espesadas hasta un 40 a 50 % de sólidos en dos espesadores de láminas colocadas en serie, con lo que se conseguirá un material óptimo para el crecimiento adecuado del dique, utilizando para la distribución de las cotas un sistema combinado de **ciclones y spigots**.

Para cumplir este propósito que garantice la correcta operabilidad del dique, consideramos que se deben cumplir los siguientes aspectos:

- ✓ La rehabilitación urgente del tanque espesador ubicado en el ingenio Velarde, de propiedad de Comibol, que permitirá reducir la cantidad de agua y mejorar el porcentaje de sólidos.

- ✓ La Instalación de una tubería de HDPE de 14" que empalme el canal desde la calle Batallón Cobrados hasta la altura del ingenio EMCA, (de este punto hasta la circunvalación los ingenios de esa zona están encausando sus residuos por tubería) consiguiendo de esta manera independizar totalmente las colas de los ingenios de las aguas servidas.
- ✓ El cambio de la canaleta por tubería de H°A° de 24", en la zona de Cantumarca.
- ✓ La construcción de cámaras de H°C° con sus respectivas válvulas, a la salida de cada uno de los ingenios, para ejercer mayor control y se cumpla el cronograma de descargas, obra que también ya está en plena ejecución.
- ✓ Como medida de contingencia, se ha considerado la construcción de cuatro piscinas de decantación, a 200 m al Nor-Oeste del dique de Laguna Pampa, con la capacidad suficiente para recepcionar las cotas por un tiempo de cuatro horas, en caso por ejemplo, de un corte intempestivo de energía eléctrica,

✚ Costos de la Operación

Los costos que demandará realizar todos estos trabajos, se resume en la siguiente tabla:

ITEM	OBRA	\$us
1	CANAL COLECTOR COLAS PARTE ALTA	110.000,00
2	OBRAS COMPLEMENTARIAS ESPESADOR VELARDE	10.000,00
3	REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL DIQUE DE COLAS	80.000,00
4	CONSTRUCCION DIQUE DE COLAS LAGUNA PAMPA II	300.000,00
5	COMPLEMENTACION SISTEMA DE BOMBEO COLAS	8.000,00
6	IMPLEMENTACION SISTEMA DE DISPOSICION DE COLAS	12.000,00
7	ESPESADOR AUXILIAR	20.000,00
8	ESTANQUES DE DECANTACION PARA CONTINGENCIAS	10.000,00
9	COMPRA DE TERRENOS PARA DIQUE LAGUNA PAMPA II	53.000,00
	TOTAL	603.000,00

3.9.2 Percepción de los Actores

El sector de la minería, representada por los miembros de la cámara cía minería, cooperativas mineras, representantes de los ingenios mineros manifiestan, departamento", los cuales fueron elaborados antes de contar con una información precisa sobre el impacto ambiental que provoca la minería en sus distintos subsectores, razón por la que se presentan serias deficiencias especialmente en relación con el establecimiento de límites máximos permisibles y disposiciones sobre sustancias peligrosas.

El panorama en el sector cooperativista es mas sombrío, ellos se declaran "inhabilitados" para cumplir con la ley, debido a las limitaciones técnicas y económicas de su actividad, estas acciones ocasionarían un cierre masivo de operaciones en la minería cooperativizada. No tienen un conocimiento sobre la Ley 1333 y sus reglamentaciones.

La asociación de ingenios manifiesta que está trabajando sobre esta temática con empresas consultoras, con el objeto de presentar sus manifiestos ambientales, aunque en estos últimos tiempos han tenido problemas económicos, pero que están dispuestos a cumplir la Ley, para lo que requieren de mayor tiempo y apoyo por parte de las autoridades.

Los responsables de la Prefectura departamental, manifiesta que es de su conocimiento la ley 1333 y sus reglamentaciones, pero que lamentablemente no pueden implementarla debido a los múltiples problemas por los que atraviesa la minería en el departamento; en reuniones con. miembros de la Cámara de minería, Plantas de procesamiento de minerales y cooperativistas, se les indicó que la fecha de presentación de sus manifiestos ambientales ya se ha cumplido, ya que el gobierno central dio cinco años para que se pongan al día en el cumplimiento de la Ley, este plazo feneció en febrero de 1999, hasta la fecha no presentaron sus manifiestos ambientales, existe un compromiso de los sectores mencionados para cumplir con la Ley del medio ambiente. No pueden aplicar las reglamentaciones con rigor , ya que esto ocasionaría un conflicto social, por lo que están buscando formas de conciliación para el cumplimiento del reglamento ambiental.

Se manifiesta que instituciones como la Universidad, organizaciones no gubernamentales deben tomar parte en esta problemática, orientando y explicando a la población en general de la gravedad del problema de la contaminación en la cuenca menor del río Tarapaya.

3.9.3 Mecanismos voluntarios.

Se trata de acciones no forzadas por ley ni inducidas mediante incentivos económicos, que tienen las diferentes empresas mineras. Las cuales consistirían en el tratamiento de sus aguas antes de evacuarlas a las cuencas. Tendrían que tener una relación entre el estado, las empresas mineras y las comunidades de La Palca, Tambo, Miraflores, Tarapaya y Mondragón, para hacer entender a los contaminadores el daño que se está ocasionando.

Es la persuasión o exhortación, o también la presión moral hacia los que contaminan, una de las tareas de los medios de comunicación e instituciones ligadas con el hacer económico del departamento.

Se debe hacer conocer la información sobre medidas medioambientales que existen en el país, pues algunas veces las empresas mineras desconocen las leyes y reglamentaciones vigentes en el país.

Las empresas pueden realizar algunas medidas de mitigación, con tecnología sencilla para tratar estos problemas; así pues para que las aguas de los socavones no salgan con un elevado pH, antes de su salida se puede proceder al encalado de las mismas (combinar con cal las aguas acidas). Es una medida correctiva que provoca que las aguas salgan básicas, el costo es mínimo.

CONCLUSIONES.

1. La actividad minera, incidió directamente en el ecosistema de la zona, en un principio la fundición de plata con emisiones de gases tóxicos; empleo de mercurio, cloruro de sodio y otras sustancias utilizadas en el proceso de amalgamación de la plata, posteriormente evacuación de aguas acidas de minas y procesos metalúrgicos y actualmente descargas de efluentes (colas) de plantas procesadoras de zinc, plomo y plata.

2. Por medio de un Balance estimativo en la subcuenca se pudo identificar los siguientes volúmenes precipitados $44\,712.2416\text{ m}^3/\text{año}$ y un volumen evaporados en toda la subcuenca de $42\,389.676\text{ m}^3/\text{año}$, teniendo un exceso hídrico para un ciclo de 17 años con un caudal de 17 mm/año y una diferencia de posible exceso en la cuenca de $2\,322.740\text{ m}^3/\text{año}$.

3. A través de la identificación fuentes de contaminación ambiental generadas por la actividad minera como desmontes, sucus y colas de San Miguel (pasivos ambientales), se pudo evidenciar la generación contienen principalmente sulfuros de hierro como la pirita, los cuales son productores potenciales de aguas acidas DAM y DAR y metales pesados.

4. Las 43 plantas concentradoras de Zn-Ag-Pb instaladas en la ciudad de Potosí, área de Cantamarca y San Antonio, descargan sólidos mineralizados que alcanzan las 1200 Tn/día aproximadamente, lo que equivale más de 360.000 Tn/año .

5. Las aguas del río Huayna Mayu, Alja Mayu, La Ribera y Tarapaya registran valores por encima del límite permisible en cadmio, manganeso, plomo y mercurio en las 10 muestras analizadas; y un remuestreo en las microcuencas identificadas mientras que el cobre, zinc, antimonio y arsénico presentan un comportamiento irregular en diferentes tramos con altas y bajas concentraciones.

6. A partir de la generación de modelos de dispersión por medio de programas especializados se pudo valorar y caracterizar los elementos presentes en los sistemas hídricos, los cuales presentan anomalías claras de altos valores de metales disueltos en zonas de acumulación de pasivos ambientales.

7. Los impactos identificados por medio de la matriz de Leopold, y su valoración por el cual podemos concluir que están siendo alterados el medio aire, agua, suelos, ecológico, ruido y salud, provocando impactos directos están que se relacionan relacionados a la salud, provocando una serie de enfermedades y impactos los indirectos con la alteración también de la fauna terrestre, vegetación y flora terrestre y paisaje.

9. Para la prevención de aguas acidas, podemos utilizar el método de la barrera, que consta en la revegetación de los terrenos, aislamiento del agua y aislamiento de oxígeno, esto contribuye a que no se formen aguas acidas. La adición alcalina con compuestos como el hidróxido sódico, sosa cáustica y caliza, producen la neutralización de las aguas acidas y crea un ambiente desfavorable para la oxidación de la pirita; los métodos bacterianos podemos utilizar en los desmontes, lo que ocasionara la disminución de la formación de aguas acidas; el sellado de la boca minas provoca la disminución de aguas acidas.

10 Por la valoración de un perfil ecológico en la subcuenca Tarapaya podemos indicar que la flora y fauna que se presenta a lo largo del río desapareciendo rápidamente producto de la contaminación de sus aguas, las comunidades mas afectadas son. La Palca, Tambo, Tarapaya, Miraflores y Mondragón.

11. Del caso de estudio propuesto en la comunidad la Palca podemos concluir que se están presentando problemas en la salud en habitantes de esta comunidad y problemas de una disminución en la producción agrícola y agropecuaria en diferentes cultivos.

12 La base a un análisis económico y en la actualidad el repunte de la alza de minerales podemos indicar que la actividad minera en nuestra ciudad aumento indiscriminadamente, mostrando un impacto positivo en la generación de empleo, pero también un aumento de contaminación ambiental en la ciudad.

RECOMENDACIONES.

- 1.** Tomar en cuenta los datos generados en el Balance Hídrico de la cuenca para un control efectivo de los caudales máximos y la posible atenuación y dispersión de la carga contaminante.
- 2.** Las cooperativas y empresas mineras, que realizan actividad en el Cerro Rico de Potosí, deben ante todo regirse a normas de prevención y control de riesgos a fin de proteger la salud de sus trabajadores, dotándoles de medidas de seguridad y medios de protección contra el polvo, ruido y gases tóxicos.
- 3.** Las aguas de las diferentes bocaminas, antes de ser evacuadas a los cursos del río de la Ribera y Huayna Mayu, deben ser previamente tratadas, con los posibles métodos indicados de mitigación .
- 4.** Las plantas de tratamiento deben poner en marcha las medidas de mitigación propuestas en el Capítulo III adecuándose para cada uno de los problemas identificados, por no requerir de montos altos de inversión.
- 5.** Las Empresas y plantas metalúrgicas de tratamiento de minerales, deben cumplir según las normativas ambientales de la Ley 1333 sus manifiestos ambientales, auditorías ambientales y su plan de adecuación ambiental PASA para seguir operando.
- 6.** Tomar en cuenta las medidas a corto plazo de prevención de riesgos para mejorar técnicamente la estabilidad y control de Dique de colas Laguna pampa.
- 7.** Agilizar en forma inmediata la construcción del dique de colas de San Antonio; cuyo costo deberá ser compartido tanto por las Empresas mineras y gobiernos Departamentales de Potosí, Sucre y Tarija.

8. Ampliar el sistema de información ambiental para las demás subcuencas del departamento, por constituirse en un aporte técnico que permitirá la planificación y mitigación en lugares afectados.

9. Difusión a sectores sociales e instituciones del departamento el presente trabajo de investigación mediante seminarios, talleres y medios de comunicación a fin de concientizar a población sobre el grave problema que está ocasionando la contaminación provocada por la actividad minera y buscar que todas estas actividades sean sostenibles y sustentables para las generaciones futuras.

BIBLIOGRAFIA.

- Bernstein, M. , Bernstein y Thomson 1986 Conderations for the future Bolivian Mining Industry Profitable Mines Through Economy of scale. Informe La Paz
-
- Proyecto Fonama Diagnostico ambiental en las cuencas menores del Departamento de Potosí U.A.T.F 1998.
- Choque, A. 2000 Impacto ambiental Zona Catamarca. Potosí Seminario UATF.
- INE 2001 censo nacional
- IJICA. 1998 Estudio de Evaluación del impacto ambiental del Sector Minero en el departamento de Potosí-República de Bolivia. Informe interino
- López S y Anagua, I 1995 Estudio de la contaminación de desechos sólidos de las plantas de tratamiento de minerales. Potosí, Facultad de Geología. UATF.
- Llanos, F. 1999 Pruebas de Tratamiento de efluentes. Potosí . “ II Seminario de transferencia tecnológica”.
- Mori. T. 1998 Calidad de Agua e Hidrología. Potosí. “II seminario de transferencia tecnológica”.
- Misión Técnica de la República de Suecia. 1993 Evaluación ambiental de los sectores minero industrial en Bolivia . La Paz.
- Proyecto BOL-87/012 1989 Evaluación Preliminar Cerro Rico de Potosí. Potosí.
- www.unisig.es (Instituto Humbolt)
- www.formaciónsig.com.
- monografías/sistemasdeinformación.com
- www.nosolosig.com