

6-2 Plan de gestión ambiental

6-2-1 Mejoramiento del medio ambiente

Desde el punto de vista de gestión ambiental, se detalla a continuación, ítems básicos de ésta. Asimismo, la presentación de propuestas clasificando en corto, mediano y largo plazo.

- (1) Elaboración de sistema de monitoreo para reconocimiento de la situación de contaminación. [11].
- (2) Aplicación eficiente de legislación concerniente a emisión de residuos. [12].
- (3) Refuerzo a organizaciones públicas, empresariales y privadas relacionadas con asuntos ambientales. [13]
- (4) Establecimiento de índices ambientales con el objeto de fomentar la participación de la población. [14].
- (5) Capacitación y educación de recursos humanos (ver sección 6-3 “Centro de Investigación”). [15].

Ítem básico	Corto plazo	Mediano plazo	Largo plazo
Sistema de monitoreo para reconocimiento de la situación de contaminación [11]	Seguimiento de parámetros mínimos. Asignación de personal.	Seguimiento de parámetros limitados. Asignación de personal.	Seguimiento de todos los parámetros. Asignación de personal.
Aplicación eficiente de legislación concerniente a emisión de residuos [12]	Difusión y aplicación.	Aplicación de sanciones e incentivos.	Revisión periódica de la legislación.
Refuerzo a organizaciones públicas, empresariales y privadas relacionada con asuntos ambientales [13]	Organización en el ámbito del país y departamentos.	Organización de la población	
Índices ambientales con el objeto de fomentar la participación de la población [14].	Preparación en el nivel ejecutivo.	Elaboración de índices con participación de la población.	
Capacitación y educación de recursos humanos [15]	Capacitación de funcionarios.	Educación de personal relacionado.	

Requisitos:

- ① Plan de gestión ambiental
- ② Organización ejecutiva de asuntos ambientales

6-2-2 Sistema de monitoreo (modelo de simulación de calidad de aguas)

- (1) Objetivo del monitoreo

El monitoreo consiste en aplicar fundamentos científicos con el fin de reconocer los fenómenos físicos en forma cuantitativa. Los datos obtenidos mediante monitoreo, deben ser tales que pueda interpretar los fenómenos físicos.

En consecuencia, es necesario que la técnica de mediciones debe estar basada en normas de procedimiento, instrumentos y otros factores pertinentes.

En el caso de la zona del estudio, el organismo a cargo de asuntos ambientales no posee suficientes recursos materiales para realizar la tarea de reconocer los impactos que ocasionan la contaminación. Para esta labor depende de otras instituciones. Asimismo, no se cuenta con un sistema de toma de muestras, su almacenamiento y análisis. En consecuencia, sobre el tema de reconocimiento del grado de contaminación del río Pilcomayo, ha sido dependiente de organismos de cooperación internacional.

De ello, se propone establecer un sistema de monitoreo ambiental como se detalla a continuación.

(2) Sistema de monitoreo

La Prefectura deberá en aplicación de las normas ambientales y de emisiones, establecer un sistema de monitoreo periódico y continuo. Esta actividad la podrá realizar por sí mismo como encargar a terceros en coordinación con otras instituciones.

(3) Organización ejecutiva del sistema de monitoreo

En caso se encargue a una empresa de servicios, se deberá definir responsabilidades de modo que se establezcan los parámetros y frecuencia de medición, asimismo, la presentación de informes; y requerirá crear una organización que pueda impartir estas diligencias, a su vez que tenga capacidad para realizar monitoreo, registro y verificación.

(4) Presupuesto para sistema de monitoreo

Se requiere crear una partida presupuestaria que abarque costos de personal/funcionario de la Prefectura encargado de administrar los trabajos de monitoreo, personal para toma de muestras y análisis; asimismo se requerirá instalar los equipos de monitoreo y análisis y sus respectivos materiales/insumos y mantenimiento.

A continuación se detalla la estimación de estos costos.

① Costo de personal administrativo (1 funcionario de la Prefectura): US\$10.000/año

② Costo de personal para toma de muestras: US\$10.000/año

③ Costo de personal para análisis de muestras y materiales/insumos

Objetivos de corto plazo	Primer año	US\$1.000
	Siguientes años	US\$500
Objetivos de mediano plazo	Primer año	US\$35.000~US\$322.000
	Siguientes años	US\$3.500~US\$22.000
Objetivos de largo plazo	Primer año	US\$111.000
	Siguientes años	US\$15.000

(5) Recursos humanos para sistema de monitoreo

La Prefectura del Departamento de Potosí deberá contar al menos con un funcionario responsable del área para conducir la administración de recopilación de datos y resultados de análisis, para en casos de ocurrencia de desavenencias, pueda tomar medidas de prevención de contaminación. En la práctica es esencial reforzar con un funcionario para monitoreo y establecimiento de medidas en el Departamento de Recursos Naturales y Medio Ambiente de la Prefectura.

(6) Parámetros y facilidades para monitoreo

1) Corto Plazo

A corto plazo se recomienda monitorear los siguientes parámetros a muestras tomadas en forma continua. Estas medidas de corto plazo deberán tomarse de inmediato.

① Se han transferido conocimiento de técnicas para pruebas y análisis a la Contraparte Boliviana perteneciente a la Prefectura durante los estudios realizados. Incluso, los instrumentos y equipos necesarios han sido donados como parte de éstos. Debido a que los ítems a ser monitoreados son pocos, la eficacia de gestión ambiental será limitada. Del mismo modo los costos también serán relativamente bajos.

② Materia de control: Efluentes de ingenios existentes y aguas de ríos en puntos predeterminados

③ Items a ser analizados: pH, Conductividad

④ Método de muestreo manual

2) Mediano Plazo

Como medidas a mediano plazo se recomienda monitorear los siguientes parámetros a muestras tomadas en forma continua. En este caso, mediano plazo se refiere que debe iniciarse dentro del término de tres años.

- ① La propuesta está basada en los resultados del estudio. Se ha constatado que los Laboratorios de la Universidad Autónoma Tomás Frías cuenta con limitados equipos para llevar a cabo análisis químicos. Creemos se requiere reforzar con la introducción de equipos e instrumentos más sofisticados. La propuesta de equipos e instrumentos sigue siendo limitada debido a que se ha adecuado a la capacidad y condiciones económicas del medio.
- ② Primer grupo de puntos de muestreo: efluentes de ingenios, DCSA, minas, planta de tratamiento de colas, plantas de tratamiento de efluentes ácidos y puntos de ríos preestablecidos.
- ③ Segundo grupo de puntos de muestreo: sedimentos en la cuenca del río en puntos determinados.
- ④ Parámetros de análisis para primer grupo: Pb, Cu, As, Cd en solución y S.S. y D.Q.O.
- ⑤ Parámetros de análisis para segundo grupo: Pb, Cu, As y Cd
- ⑥ Método de muestreo: en DCSA sistema de monitoreo automático que registre pH, conductividad y oxígeno disuelto. Otras muestras: conductividad con equipo portátil.

En caso se opte por no dilatar la introducción de nuevos equipos e instrumentos, se podría iniciar con un analizador veloz multipropósito, el cual es más compacto y económico.

3) Largo Plazo

Como medidas de largo plazo se recomiendan monitorear los siguientes parámetros a muestras tomadas en forma continua. Largo tiempo se estima entre seis a siete años.

- ① La propuesta está basada en los resultados del estudio. Se ha constatado que los Laboratorios de la Universidad Autónoma Tomás Frías cuenta con limitados equipos para llevar a cabo análisis químicos. Creemos se requiere reforzar con la introducción de equipos e instrumentos más sofisticados. Si son necesarios, se podría acudir a

laboratorios situados en La Paz en donde se pueden realizar análisis de modo más eficiente. La lista de equipos e instrumentos se ha propuesto en función a tener uno casi completo; sin embargo, se ha tomado atención al requerimiento de economizar costos y control de número de muestras.

- ② Materia de estudio. Grupo 1: Puntos de control de efluentes determinados a mediano plazo; efluentes de planta concentradora integrada; efluentes relacionados a áreas reforestadas; efluentes de planta de tratamiento de desmontes; y, otros puntos de control de calidad de aguas en los ríos.
- ③ Materia de estudio. Grupo 2: Calidad de sedimentos en los ríos de los puntos determinados.
- ④ Materia de estudio. Grupo 3: Calidad de suelos (de uso agrícola) en puntos determinados: se proponen: aguas abajo de Mondragón en el terreno agrícola al lado oeste del río; suelo contaminado con potencial agrícola en Vina Pampa; tres zonas de Miraflores que son irrigados con agua sin contaminación.
- ⑤ Parámetros de monitoreo para grupo 1: adicionalmente a los determinados para mediano plazo, zinc, cromo, fierro, manganeso, mercurio, arsénico, cianuro, plata en solución y en S.S.; y, continuación de monitoreo y análisis químicos de otros parámetros y estándares ambientales que fije el Estado incluyendo D.B.O.
- ⑥ Parámetros de monitoreo para grupo 2: adicionalmente a los determinados para mediano plazo; continuación de monitoreo y análisis químico de zinc, cromo, fierro, manganeso, mercurio, arsénico, sulfuros, estaño, bismuto, antimonio, carbón, plata y pérdida por incineración.
- ⑦ Parámetros de monitoreo para grupo 3: monitoreo para verificación de calidad de suelos de uso agrícola: cobre, plomo, zinc, cadmio, cromo, fierro, manganeso, arsénico, mercurio, sulfuros, estaño, bismuto, antimonio, carbón, plata y pérdida por incineración.
- ⑧ Método de muestreo: en DCSA y en los puntos de confluencia de los principales ríos con sus afluentes, sistema de monitoreo automático que registre pH, conductividad y oxígeno disuelto. Otras muestras: conductividad con equipo portátil.

(7) Lista de instrumentos de monitoreo

En el cuadro 6-2-1 se muestra una lista con los equipos y pruebas requeridas para los trabajos de monitoreo.

1) Base de datos y simulación de calidad de aguas (Configuración)

En este acápite se detalla la simulación matemática realizada de la contaminación minera en el río Pilcomayo en el Departamento de Potosí, con el objetivo de estudiar y buscar una herramienta de control y predicción, que permita inicialmente dada la poca información existente, entender el complejo proceso de contaminación del río con metales pesados.

El proceso de simulación, fue iniciado con la búsqueda de un modelo apropiado que reconstruya las condiciones en las que se da dicha contaminación. Normalmente, esta es la primera pregunta a ser planteada en este tipo de análisis y que tiene su respuesta en el conjunto de datos existentes, el alcance del estudio y los propósitos de la simulación.

Los modelos por su naturaleza pueden ser diferenciados en: a) determinísticos, b) probabilísticos y c) conceptuales:

- a) Los modelos determinísticos son descritos a través de las leyes de la física y la química, y formulados a través de ecuaciones diferenciales. Normalmente este tipo de modelos contiene un conjunto de ecuaciones y variables que requieren de ajustes, dado que implican en una relación de causa-efecto entre las diferentes variables seleccionadas como dato de entrada y los resultados obtenidos.
- b) En términos de significado los modelos probabilísticos son exactamente lo contrario de los modelos determinísticos. Un modelo probabilísticos es formulado por las leyes de la probabilidad y puede ser a su vez: estadísticos y estocásticos, ósea, estadísticos aquellos que requieren del registro de una base de datos mientras que los estocásticos son aquellos que contienen estructuras randómicas o datos al azar.
- c) Los modelos conceptuales son aquellos que requieren de una formulación, experimentación y calibración.

En forma ideal el modelo más apropiado para el caso en estudio debería contener los siguientes aspectos: a) análisis hidrológico del área en cuestión, que determine las relaciones entre el régimen pluviométrico y el régimen de caudales de los ríos, b) análisis del flujo de las aguas, mediante el estudio de la hidráulica fluvial, y c) análisis del transporte de carga de las aguas y sus contaminantes.

Sin embargo estructurar un modelo de esta naturaleza implica en mayor recurso, tiempo, y más información que la disponible actualmente para el estudio de contaminación minera de Potosí. En tal sentido se optó por modelos más sencillos, que permitan de igual manera un análisis cuantitativo y cualitativo del proceso de contaminación, para ello se utilizaron herramientas estadísticas, tal como se explica a continuación:

2) Datos existentes

Durante el desarrollo del estudio de evaluación de impacto ambiental del sector minero en el departamento de Potosí, se realizó en forma paralela con apoyo de la contraparte nacional, la toma de muestras de calidad de agua en 25 diferentes puntos en el área de la cuenca del río Pilcomayo que abarca parte de departamento de Potosí. De los 25 puntos de muestreo citados, ocho se encuentran en el río De la Ribera, cuatro en el río Jesús del Valle, cuatro en el río Aljamayu, uno en el río Huncarani, tres en el río Tarapaya, tres en el río Mataka, y dos en el río Pilcomayo.

La toma de datos de calidad de agua abarcó el periodo desde el 14 de enero de 1998 hasta el 01 de diciembre del mismo año. Por lo extenso del área, solo se logró un registro de 21 tomas a lo largo de dicho periodo. Dichas tomas no corresponden al mismo día, dado que en el recorrido del área citada se demora tres días. Existen incluso puntos de muestreo como el de la estación en el río Jesús del Valle antes de la confluencia con el río Aljamayu en la que solo se registran nueve muestreos.

Dicha información ha sido introducida al sistema computacional, desarrollado y descrito en el ítem correspondiente a la estadística e informática. Sobre dicha base estructurada se procedió a formular y manejar el modelo estadístico utilizado en la simulación. En el cuadro 4-1-1 se describe cada uno de los puntos de muestreo. En el proceso de obtención de información se realizaron también muestras de concentraciones de sólidos en suspensión y se efectuaron los análisis respectivos de las concentraciones en partes por millón (ppm) de cada elemento en el sólido disuelto. Esta información, sin embargo, no ha podido ser utilizada en la simulación, dado que solo se disponía de seis valores en los puntos de muestreo 4, 5 y 25.

3) Estructura del Modelo

En la figura 6-2-1 se muestra el diagrama de la estructura del modelo desarrollado. Tal como citado arriba se optó por modelos del tipo estadísticos, sobre la base de un año de información existente. El modelo estadístico utilizado fue el de correlación lineal múltiple, considerando los siguientes aspectos teóricos:

- a. Se consideró como salida del modelo el punto de muestreo de Puente Méndez, con el propósito de determinar que contaminación aporta la actividad Minera de Potosí hacia ese tramo del río.
- b. Como variables independientes de entrada se consideró a todos aquellos afluentes de cabecera que no se encuentra sobre la misma línea de flujo, a objeto de no distorsionar los resultados por correlaciones de eventos dependientes uno de otro.

Sobre esa base teórica e iniciando la formulación del modelo desde las cabeceras de la cuenca se verificó, por ejemplo, que la concentración de un determinado metal en la estación 4 depende del aporte de la concentración para dicho elemento de la estación 2 (ver diagrama), quiere decir: $C_4 = f(C_2)$. Basado en esa lógica, se continuó el proceso sucesivamente hacia aguas abajo, determinándose que los puntos de control independientes correspondían a las siguientes estaciones (puntos de monitoreo): 1, 2, 3, 7, 8, 9, 13, 16, 19 y 24

En el caso de los puntos de muestreo: 4, 5, 8, y 13 fueron considerados independientes, dado que las mediciones realizadas aguas arriba de dichos puntos de control, es decir, en los puntos de muestreo: 1, 2, 7 y 3, respectivamente, no se disponía de la información respectiva o para el punto de muestreo 1 la contaminación es mínima.

En tal sentido el modelo resultante fue: $C_{25} = f(C_4, C_5, C_8, C_9, C_{13}, C_{16}, C_{19}, C_{24})$, el cual expresado como correlación lineal múltiple corresponde a la siguiente expresión, donde K es la constante.

$$C_{25} = \alpha_1 C_4 + \alpha_2 C_5 + \alpha_3 C_8 + \alpha_4 C_9 + \alpha_5 C_{13} + \alpha_6 C_{16} + \alpha_7 C_{19} + \alpha_8 C_{24} + K$$

Donde, C_i son las concentraciones de metales pesados en el punto i ; α_i son parámetros que caracteriza al punto de medición i , por ejemplo caudal; y K la constante de corrección.

4) Corridas del Modelo

El modelo citado arriba fue corrido para los siguientes metales pesados: Antimonio (Sb), Arsénico (As), Cadmio (Cd), Cobre (Cu), Hierro (Fe), Manganeso (Mn), Mercurio (Hg), Plomo (Pb) y Zinc (Zn). Para dicho propósito se utilizó el paquete estadístico SPSS Base 9.0.

Tal como citado arriba y dado que los datos recopilados no correspondían al mismo día, inicialmente se desarrolló una subrutina en el banco de datos, para importar al SPSS en forma directa los datos archivados. Una vez debidamente importados los datos por el Paquete estadístico SPSS, aquellos correspondientes a 3 días de medición fueron alineados como perteneciente a un solo día, para propósitos de simulación. Esta simplificación práctica no afecta los resultados, dado que según los datos registrados de velocidades de agua, el tiempo que demoran las aguas desde las cabeceras de los ríos del área hasta alcanzar Puente Méndez es de aproximadamente 3 días (cálculo realizado sobre la base de una velocidad media de 0,65 m/s y una distancia de 180Km. que corresponde al percurso del río Pilcomayo desde sus cabeceras en el departamento de Potosí hasta alcanzar Puente Méndez).

Se realizaron para cada elemento dos diferentes corridas; a) Incluyendo todos los puntos de muestreo seleccionados, y b) sin considerar la estación (punto de muestreo) 9 dado que solo contenía 9 valores y esto reducía substancialmente el numero de valores a ser considerados en la correlación. Así mismo al realizarse las corridas del Modelo, incluyendo todos los puntos de control, por la falta de datos en determinadas fechas no se han podido utilizar al máximo los 21 valores disponibles.

Inicialmente se exploró en forma gráfica para cada elemento, la posible linealidad entre las diferentes variables seleccionadas en el modelo, a objeto de determinar sus relaciones e identificar valores que puedan distorsionar los resultados. También se analizaron las correlaciones de cada una de las variables con todo el conjunto para determinar cual de ellas incide con mayor significación en los resultados, o poder rechazar la hipótesis de una correlación nula.

También se analizó el error estándar de estimación, comparándolo con la desviación standard de cada variable, ya que cuando el error standard de estimación es mayor que la desviación standard se puede considerar que para un determinado modelo de regresión, la media se constituye en el mejor valor de predicción de la variable dependiente. Así mismo se aplicaron pruebas estadísticas que explican en cuanto la variación de las variables independientes ayudan a interpretar el comportamiento de la variable dependiente.

Finalmente, sobre la base de los resultados obtenidos del modelo para cada metal pesado considerado y utilizando la información existente, se estimaron los valores medios y máximos de concentración esperados en Puente Méndez.

5) Resultados

Los modelos y resultados obtenidos para cada elemento se muestran en los cuadros del 6-2-2 al 6-2-3.

6) Conclusiones y Recomendaciones

a. Los resultados de la simulación muestran que las concentraciones de metales pesados registrados en Puente Méndez para diferentes elementos, provienen con mayor incidencia de los siguientes ríos o quebradas:

- El Antimonio (Sb) proviene en mayor concentración del río Huaynamayu y del río De la Ribera.
- El Arsénico (As) proviene en mayor concentración del río Huarampaya y de la quebrada Jayajmayu.
- El Cadmio (Cd) proviene en mayor concentración del río Huancarani.
- El Cobre (Cu) proviene en mayor concentración del río De la Ribera.
- El Hierro (Fe) proviene en mayor concentración del río Pilcomayo en Yocalla y del río De la Ribera.
- El Manganeso (Mn) proviene en mayor concentración del río De la Ribera.
- El Mercurio (Hg) proviene en mayor concentración del río Huaynamayu, río De la Ribera, río Korimayu y quebrada Jayajmayu.
- El Plomo (Pb) proviene en mayor concentración del río De la Ribera.

- El Zinc (Zn) proviene en mayor concentración del río De la Ribera, río Korimayu y río Pilcomayo en Yocalla.
- b. El modelo estadístico utilizado puede ser mejorado mediante la toma de mayor cantidad de datos, por lo cual se recomienda continuar e intensificar el registro de información que permita un análisis más pormenorizado.
- c. A futuro, se recomienda estructurar un centro de recopilación, procesamiento y análisis de información, para realizar análisis más complejos sobre esta temática y conocer así de mejor manera su comportamiento, para diseñar soluciones más fiables. Para ello se sugiere:
- Implementar estaciones hidroclimáticas, de preferencias con registros continuos y capacitar a personal especializado para el procesamiento y análisis de esta información, que permita posteriormente el análisis y simulación matemática de los aspectos hídricos.
 - Realizar levantamientos topográficos frecuentes en los ríos y afluentes contaminadores, de preferencia levantamientos transversales cada 500 metros, con el propósito de analizar el régimen hidráulico de los ríos y determinar la forma del transporte del flujo y sus sedimentos.
 - Efectuar tomas de sedimentos en forma periódica, tanto en aguas bajas como en aguas altas, y realizar análisis de granulometría de los lechos de los ríos; para analizar las relaciones entre las cargas de sedimentos transportadas y los flujos de la cuenca.
 - Intensificar las tomas de calidad de agua, para mejorar las bases estadísticas para simular la contaminación de metales con modelos de contaminación en los que se incluyen los aspectos arriba citados.
 - Se recomienda realizar mediciones, tanto hidrométricas como de calidad de agua, en el río Cachimayu, antes de la confluencia con el río Pilcomayo. El río Cachimayu aporta más de la tercera parte del caudal del Pilcomayo medido en Puente Méndez. Su confluencia con el Pilcomayo se encuentra 13,5Km. aguas arriba de Puente Méndez. El aporte de contaminación de este afluente debería ser analizado con mayor detenimiento, para determinar cual es su influencia en los registros medidos hasta la fecha en Puente Méndez.

Requerimientos:

- ① Plan de monitoreo
- ② Metodología de muestreo
- ③ Metodología de análisis
- ④ Técnicas de interpretación de resultados de análisis
- ⑤ Fundamentos de elaboración de base de datos y modelos de simulación

6-2-3 Aplicación eficiente de legislación

- (1) Análisis y propuesta para estándares ambientales y estándares de emisiones
- 1) Concordancia con la legislación minera

La legislación minera fue promulgada en 1997 con la numeración legislativa 1777. El contenido de esta ley se muestra en el sección 3-2 del presente informe. Sin embargo, un problema que se reporta es aquel de la población aledaña al río Totorá D, donde se usan las aguas del río para irrigación, creyendo que no están contaminadas. En este caso se han iniciado actividades mineras, aguas arriba, cuyo impacto es preocupante.

De acuerdo a lo estipulado en la legislación minera, se dan facilidades a pequeñas actividades mineras de exploración, desarrollo y beneficio mediante gravimetría exceptuando las zonas protegidas, exonerándoles los gastos para obtención de autorización ambiental con la finalidad de fomentar la protección ambiental, en forma general y específica.

De acuerdo a ley, las actividades de extracción minera se pueden realizar obteniendo autorizaciones mediante trámites simplificados (en la jurisdicción de la Prefectura). Debido a ello existen altos riesgos de impacto sobre las aguas de uso agrícola, cuencas abajo de donde se inicien las actividades mineras. Razón por la cual, se recomienda establecer un sistema integrado entre la administración Prefectural y el Estado que vele por estos asuntos.

En este caso particular, aparentemente se trata de una problemática disyuntiva entre agricultores y mineros; sin embargo, para ello se recomienda establecer una organización permanente que regule los asuntos mineros y ambientales, de modo que pueda evaluar la compatibilidad entre ambas actividades asegurando el cumplimiento de normas de emisiones por parte del sector minero. Por otro lado, en caso se vea amenazada la actividad agrícola existente debida a la calidad de los efluentes mineros, una organización permanente constituido por instituciones minera y ambiental debe dictar las soluciones en forma viable y ágil.

2) Revisión periódica de estándares ambientales y calidad de emisiones

Generalmente los estándares ambientales y normas para calidad de emisiones son elaborados en función a los requerimientos nacionales y tendencias internacionales al momento de su promulgación. Ello significa que habrá cierta diferencia en los parámetros de control entre países, especialmente entre los países en vías de desarrollo y los países desarrollados. Sin embargo, en los denominados países desarrollos requieren estimar los cambios que ocurren sobre materia contaminante debido al desarrollo del país y la intensa actividad comercial, de modo que puedan evaluar si los estándares ambientales y normas de calidad de emisiones están actualizados y acorde a su propósito. En consecuencia, se recomienda establecer un sistema que permita deliberar en el ámbito nacional la revisión de estándares ambientales y normas de calidad de emisiones en forma periódica.

Es obvio que se recomienda establecer normas más estrictas en el ámbito regional a los establecidos en el ámbito nacional, de modo que refleje las condiciones locales.

Especialmente en los ríos De la Ribera y Huaynamayu, donde fluyen pequeños caudales durante épocas normales, se recomienda controlar los efluentes de los ingenios no sólo en función a las normas de control de calidad de emisiones, sino de normas más eficientes (por ejemplo, teniendo en cuenta que aguas abajo se realizan actividades agropecuarias, y que los estándares ambientales requieren calidad de aguas clase "B" para esta actividad, realizar el control bajo estos parámetros).

Actualmente, con la cooperación económica de Alemania, el Departamento de Potosí tiene un proyecto de construcción y operación de un dique de colas, el cual establece una calidad de aguas de descarga de clase "B". En este caso, se exige su cumplimiento.

(2) Propuesta para aplicación y cumplimiento de estándares ambientales y calidad de emisiones

1) Cumplimiento de plazos y método de amparo eficaz

Como se mencionó en anterior sección del presente informe, como instrumentos de control de estándares ambientales y calidad de emisiones se han establecido FA y MA mediante la ley ambiental promulgado en 1995 y su reglamento de aplicación en 1997. En aplicación a estas normas, la Jefatura de Recursos Naturales y Medio Ambiente de la Prefectura del Departamento de Potosí ha establecido como términos de cumplimiento para fines del año 2001. Razón por la cual viene exigiendo la ejecución de los mismos a entidades relacionadas.

Con el propósito del presente estudio, es posible clasificar en dos grupos al sector minero que afecta al medio ambiente. Uno es el grupo de ingenios que realizan procesamiento de minerales y otro es el grupo que realiza actividades de extracción de minerales.

En cuanto a los ingenios, tal como se menciona en otros acápite del presente, están conformados por aproximadamente 42 micro y pequeñas empresas, con capacidad instalada de uno a dos dígitos menor en escala a los que se encuentran en otros países, que operan sin contar con sistemas de prevención de contaminación ni tratamiento de efluentes. Para este caso las directivas consisten en paralizar las operaciones de ingenios que continúen operando en las actuales condiciones hasta fines del año 2001.

Sin embargo, la Jefatura de Recursos Naturales y Medio Ambiente de la Prefectura del Departamento de Potosí, consciente de la importancia de este grupo como soporte económico de la región, analiza las posibilidades de apoyo. Una solución bajo análisis está relacionada al proyecto de construcción y operación del Dique de Colas de San Antonio (DCSA) con cooperación económica de Alemania. Con la pronta construcción y operación de este

dique sería posible tratar las colas de los ingenios en un solo lugar, en el cual se trataría en forma integral las aguas previo vertimiento a los ríos. La participación de los ingenios en este proyecto significaría asumir costos adicionales; sin embargo, a pesar de ciertas incertidumbres y modificaciones latentes, se recomienda impartir directivas considerando la paralización forzosa de operaciones en ingenios que no participen en el proyecto dentro del plazo establecido.

Por otro lado, al grupo que se dedica a la extracción de minerales que tienen relación con el drenaje de aguas ácidas, se recomienda la pronta elaboración de propuesta para instalación de planta de tratamiento, planificando el financiamiento requerido para su construcción y operación, considerando asimismo la recaudación de los operarios mineros.

2) Inspecciones y uso de acción policial

Se recomienda instruir al cumplimiento de la legislación y normas ambientales a los ingenios y otros operadores que afectan al medio ambiente con la emisión de contaminantes; asimismo, establecer un sistema que no permita incumplimiento ni provoque la informalidad, ejerciendo la verificación periódica de lo informado en FA y MA.

3) Introducción de sistema de control de compra/venta de ingenios

Desde el inicio del presente estudio (inicio de 1997) hasta octubre de 1998, se conocen hasta 16 cambios de razón social de entre 42 ingenios registrados en la última actualización. Esta situación de cambios frecuentes se infiere que es debido a que, por el lado de los compradores existe expectativa de lucro; y, por el lado de los vendedores existe la tendencia de obtener beneficio mediante liquidación, evitando invertir en instalaciones para mejoramiento de operaciones.

A pesar que se trata acciones comerciales del sector privado, considerando que las instalaciones materia de transacción son agentes contaminantes, se recomienda establecer instrucciones que prevengan la compra/venta y registro comercial de los ingenios que no cuenten con instalaciones de prevención de contaminación.

Especialmente, se debe cautelar la extinción del compromiso de participación en el proyecto del DCSA de actuales ingenios con cambios de propiedad ó razón social.

4) Medidas sobre pasivo ambiental sin responsable conspicuo

Como parte de medidas sobre contaminación de aguas debida a antiguas actividades de extracción de minerales que no se encuentran en operación y no sea posible definir responsables, se recomienda establecer una organización que recaude fondos necesarios del Estado, Prefectura, Alcaldía y COMIBOL, siendo ésta la institución que administrara la actividad minera en la región, entre otros.

6-2-4 Propuesta para sistema y organización ejecutiva de administración ambiental

(1) Organización ejecutiva ambiental nacional

1) Situación actual

Como organización en el ámbito nacional existe el Ministerio de Desarrollo Sostenible y Planificación para asuntos ambientales. Bajo éste existe el Viceministerio de Recursos Naturales, Medio Ambiente y Desarrollo Forestal. Este Viceministerio inició sus actividades en octubre de 1993 con los objetivos de 1) elaborar el plan nacional de protección del medio ambiente a largo plazo; 2) proteger los recursos naturales; y, 3) ejecutar las actividades de protección ambiental; y está conformado por las Direcciones de Medio Ambiente, Políticas y Normas; la Biodiversidad; y, Programas Especiales. Y del Servicio Nacional de Areas Protegidas.

Las actividades relacionadas con política ambiental del VMRNMADE son realizadas por las Unidades de Planificación, Políticas y Normas; Control de Calidad Ambiental; y, Evaluación de Impacto Ambiental pertenecientes a la Dirección General de Medio Ambiente, Políticas y Normas.

Las evaluaciones de solicitud y autorizaciones relacionadas con DIA (Declaratoria de Impacto Ambiental) y DAA (Declaratoria de Adecuación Ambiental) son a cargo de las Prefecturas de la jurisdicción. Sin embargo, las evaluaciones que requieran análisis en el ámbito que se extienden a varios Departamentos son realizadas por el VMRNMADE.

2) Propuestas

a. Programas de educación de la población para "conscientización"

El presente estudio ha consistido en evaluar el impacto de la contaminación debida al sector minero. Y ha sido posible entender porqué la contaminación ocasionada por este sector es una problemática de importancia en el ámbito nacional. Aquí cabe mencionar que, para evitar daños al medio ambiente por el énfasis que se da al sector productivo, es necesario correlacionar las actividades del ejecutivo relacionado a ambos sectores.

Los habitantes que son los principales afectados, aceptan la situación debido a que los causantes de tal situación son sustentos de vida y en otros casos por desconocimiento. Como tarea del presente gobierno está la conscientización de la población de modo que se cuestione hasta qué punto se puede excusar el sustento de vida, cuando por él se compromete la salud de la población incluyendo los de países vecinos. Es decir la administración pública deberá difundir y educar a la población especialmente en la relación que existe entre las acciones que se tomen en el presente con los resultados de deterioro de la naturaleza debida a actividades irracionales en minera, industria y modus vivendi de la población.

b. Mejoramiento de vínculos entre instituciones relacionadas

Es sentido común que si la población notara que la actividad de obtención de sustento ocasiona daños al medio ambiente, trate de remediarlo ó evitarlo. Sin embargo, desde el punto de vista del productor la situación no se presenta tan sencilla. Por un lado, la institución que regula al sector productivo podría exigir uso de técnicas de producción que sean benéficas al medio ambiente; sin embargo, cambiar de una técnica a otra desconocida no es una tarea fácil. Asimismo, no se puede esperar que la actitud del sector empresarial cambie solamente con métodos conminativos sin que existan "incentivos" vía financiamiento ó subvención tributaria.

En consecuencia, la organización a cargo de la ejecución de política ambiental requiere conocer la situación del sector empresarial, intercambiando información con el organismo que regula a este sector; y analice las técnicas de

solución adoptadas en el ámbito internacional, empleando en caso de necesidad, cooperación financiera y de técnicos internacionales, de modo que se pueda adoptar un sistema que fomente la relación con estos organismos.

(2) Organización de administración ambiental en el ámbito Prefectural y Municipal

1) Situación actual

En la organización de la Prefectura del Departamento de Potosí existe la Jefatura de Recursos Naturales y Medio Ambiente bajo la Dirección Departamental de Desarrollo Sostenible, que está dividida en Gestión Ambiental y Ordenamiento Territorial. Cada unidad cuenta con un funcionario; siendo tres los funcionarios de la Jefatura incluyendo al Jefe. La política de gestión ambiental en el ámbito del Departamento se decide en coordinación con la Dirección de Desarrollo Sostenible.

En la organización de la Alcaldía de la Ciudad de Potosí existe una división a cargo de asuntos ambientales con cuatro funcionarios que se encargan de Recursos Naturales, Evaluación de Impacto Ambiental, y, Control de Calidad Ambiental. Los cuales ven asuntos relacionados a Ficha Ambiental (FA) y Manifiesto Ambiental (MA) del sector productivo.

2) Propuestas

a. Pronta aplicación de la Ley y establecimiento de sistema de información compartida

Uno de los principales objetivos del Gobierno Boliviano es la descentralización del poder ejecutivo, siendo en el aspecto de la administración ambiental un tema muy importante.

En 1992 se promulgó la Ley de Medio Ambiente y su reglamento en 1995, quedando listo el marco legislativo. Actualmente, el funcionario Contraparte del presente estudio, viene educando y capacitando a encargados de la ejecución de normas ambientales de la Ciudad y provincias basado en la mencionada legislación y reglamento.

Estas actividades están centradas en la administración de FA y MA, que requieren de tratamiento uniformizado en las relaciones directas con la población y el sector empresarial. Debido a ello, es menester contar con sistema de información compartida que permita el intercambio periódico de información mediante la realización de encuentros con participación de los encargados de cada región con la finalidad de uniformizar sus actividades.

b. Asignación de funcionarios para refuerzo del sistema de monitoreo

Como parte del sistema de administración ambiental en el ámbito de la Ciudad y el Departamento se cuentan con FA y MA, con la finalidad de reconocer en forma continua la situación del impacto ambiental que ocasionan las actividades al medio ambiente, se requiere establecer un sistema con equipos de monitoreo. Ver los detalles en el acápite 6-2-2 del presente informe.

En el establecimiento de este sistema de monitoreo, requiere que los funcionarios de la administración pública a cargo puedan capacitar al sector empresarial en asuntos relacionados a información relevante e instituciones encargadas de realizar los análisis químicos relacionados al control ambiental. Para ello se requiere formar funcionarios encargados de este sistema de monitoreo.

(3) Sistema de mejoramiento basado en participación de la comunidad

1) Situación actual

Tanto en el ámbito de la Ciudad como del Departamento, Potosí cuenta con organizaciones privadas (ONGs) que tienen por objeto solucionar problemas de contaminación. Sin embargo, tienen limitaciones de recursos humanos y económicos. Como se mencionó en el presente informe, en la solución de problemas ambientales se requiere de la participación directa de la población en las actividades de mejoramiento, cooperación y solicitud de mejora a la administración pública.

2) Propuestas

a. Introducción de índices ambientales

Los índices ambientales descritos en el acápite 6-2-5 del presente informe, son instrumentos que coadyuvan en forma complementaria a lo establecido en la legislación ambiental relacionado a estándares ambientales y normas de calidad de emisiones. Estos índices pueden ser aplicados por la población en forma conjunta con la administración pública.

Se recomienda fomentar la conscientización de la población en temas relacionados con protección ambiental, mediante información de resultados de política ambiental, utilizando la difusión de estos índices en escuelas, asociaciones y otras organizaciones comunales.

Se recomienda también realizar revisiones periódicas de estos índices con la finalidad de procurar objetivos ambientales más ambiciosos.

b. Establecimiento de organización recolectora de opinión de la sociedad sobre asuntos ambientales

Con la finalidad de no limitar la participación de la población sólo en actividades de protección ambiental impartidas por la administración pública, se recomienda establecer un organismo que recoja ideas y opiniones de la población para fomentar su iniciativa.

En forma concreta, se podría otorgar incentivos (entrega de reconocimientos, gratificaciones o emolumentos a aquellos que presenten propuestas útiles) que se traduzcan en el incremento de la actividad de la población en asuntos relacionados con protección ambiental.

c. Uso estratégico de mejoramiento ambiental para restablecimiento de la ciudad

La Ciudad de Potosí creció en las faldas de su históricamente famoso Cerro Rico. Sin embargo, actualmente las colas de procesamiento de minerales de los ingenios que se vierten a los ríos (De la Ribera, Huaynamayu, etc.) sit

previo tratamiento y los desmontes de minerales acumulados y esparcidos en la zona, dan un aspecto panorámico que limitan el desarrollo de la ciudad como centro de gran atractivo turístico.

Se dice que se analiza la rehabilitación del río De la Ribera mediante cooperación económica de España, sin embargo, se requiere establecer una organización que planifique en forma integral el mejoramiento del medio ambiente y calidad de vida en la Ciudad de Potosí; tales como medidas para que los ingenios adopten técnicas de producción más benéficas al medio ambiente; y a largo plazo planifiquen una zona industrial separada a la zona urbana (construcción de planta concentradora integrada). Debido a que para ello se requiere de opiniones de la población, se recomienda adoptar sistemas onerosos para fomentar el planteamiento de ideas ó solicitar cooperación a organismos internacionales para el desarrollo integral.

6-2-5 Indices ambientales (recomendaciones para elaboración y aplicación de índices ambientales)

Los estándares ambientales son estándares numéricos permisibles para cada factor de contaminación; y son establecidos basados en fundamentos científicos. Sin embargo, estos valores numéricos requieren de mediciones que irrogan costos y trabajo de recopilación; razones por las cuales no son indicadores prácticos para difundir a la población en general, la situación de los resultados de la adopción de medidas de disminución de contaminación, ni hacerlos conscientes de los objetivos ambientales.

Si consideramos que la contaminación ambiental tiene origen en la actividad económica de la humanidad y del mismo modo, las afecciones que ocasionan repercute a la humanidad; queda implícita la necesidad de contribución y participación consciente de toda la población en la consecución de los objetivos de mejoramiento ambiental. En consecuencia, se recomienda establecer los índices ambientales que se han elaborado y propuesto en forma conjunta con personalidades vinculadas al tema en la región. Sin embargo, los resultados del mejoramiento dependerán del grado de interés y esfuerzo de toda la población en lograr los objetivos trazados en función al mejoramiento de estos índices.

(1) Expansión de área limpia en el cauce de los ríos De la Ribera y Huaynamayu

Actualmente, los ríos De la Ribera y Huaynamayu se encuentran contaminados con desechos domésticos y colas que vierten los ingenios; por ello, no solamente está limitado el uso del agua, sino que, atenta contra la salud de las personas que aproximan a los ríos. Razones suficientes para que la población asuma conscientemente la adopción de medidas de erradicación de desechos acumulados. Ello, se podría lograr fijando días específicos en forma periódica para que la comunidad participe en la limpieza de los ríos. En la medición de áreas limpias incluso se recomienda la participación de pequeños estudiantes. En este caso el índice medido y controlado sería el área limpia ganada. No mide directamente la disminución de colas vertidas a los ríos; sin embargo, esta actividad debe contribuir indirectamente a ese propósito.

(2) Incremento del número de familias cooperantes en recolección de desechos clasificados

En la Ciudad de Potosí se cuenta con un sistema de recolección de desechos domésticos, industriales, hospitalarios, etc.; asimismo, se ha iniciado la práctica de reciclaje de éstos mediante su uso como fertilizantes. Es posible reducir los costos de tratamiento de desechos y elevar el grado de conscientización de la población sobre protección ambiental, mediante el incremento del número de familias que contribuyan en la recolección clasificada de desechos y disminución de generación de desechos aparte a la práctica de reciclaje. En consecuencia, se debe controlar el número de familias que contribuyan al sistema de recolección de desechos clasificados como índice ambiental. Es posible iniciar programas similares en otras zonas, donde aún no se cuente con sistemas de recojo de desechos, con resultados positivos que se obtengan en la Ciudad de Potosí.

(3) Incremento de áreas verdes

En la zona del estudio, debido a que está ubicado en alturas con clima seco, la disminución de áreas con potencial agrícola es una problemática que ocasiona reducción de recursos forestales y aumento de riesgos de aludes en época de lluvias.

Especialmente, en los alrededores del Cerro Rico donde existen grandes cúmulos de antiguos desechos mineros y colas de procesamiento de minerales, la reforestación prevendría la generación de aguas ácidas que se producen al contacto con aguas de lluvias.

El incremento de áreas verdes contribuirá también en la calidad de vida de la población, así como al sector turismo mediante mejoramiento del panorama ambiental. Este programa de reforestación, debido a que es de largo plazo, requiere de planificación coordinada entre la Prefectura y la Alcaldía con participación de las comunidades. El índice en este caso sería la superficie reforestada. El programa de reforestación que se aplique en la Ciudad de Potosí se podrá ir ampliando a zonas alejadas de la ciudad donde existan cúmulos de desechos mineros y colas de procesamiento de minerales.

(4) Incremento de ciudadanos que participan en actividades ambientales

Con la participación de la población incluyendo niños a los seminarios y eventos de índole ambiental, se fomentará la conscientización en temas relacionados a protección ambiental. Además, lo mencionado en el acápite (3), es decir, en las actividades de reforestación, se debe fomentar la participación de voluntarios de la misma población, de modo que se difunda la conscientización en la población para tener una ciudad limpia libre de contaminación.

El índice que se debe controlar es el número de participantes en eventos relacionados a protección ambiental establecidos por el ejecutivo.

(5) Incremento de la tasa de tratamiento de aguas servidas

Actualmente, la Ciudad de Potosí no cuenta con sistema de tratamiento de aguas servidas, asimismo, el mantenimiento del sistema de alcantarillado es deficiente. Como consecuencia, la totalidad de aguas servidas domésticas e industriales se vierten a los ríos De la Ribera, Huaynamayu y Hualampaya sin previo tratamiento.

A pesar que el organismo municipal correspondiente tiene un programa de saneamiento para el sistema de alcantarillado y tratamiento de aguas servidas mediante crédito del exterior, se requiere analizar la instalación de pozas de tratamiento en las casas con la finalidad de aumentar la conscientización de la población en asuntos relacionados a protección ambiental y contar con un sistema de planeamiento y control integrando el sector público con la comunidad. El índice a monitorear sería la tasa de tratamiento de aguas servidas.

(6) Incremento de tasa de reciclaje de agua para ingenios

Actualmente alrededor de 42 ingenios utilizan aguas suministradas por la institución administradora de agua potable, aguas freáticas y aguas del río De la Ribera. Estas aguas son vertidas al río con las colas de procesamiento de minerales. Esta situación está ocasionando deterioro del medio ambiente en dos aspectos. Por un lado la utilización de agua sin reciclaje afecta a la población limitándole su abastecimiento. Por otro lado, las aguas que se vierten con las colas contaminando los ríos. Sobre el particular, si se contara con un sistema que permitiera el reciclaje de estas aguas de uso industrial (entre 80 y 90%), habría mayor capacidad de abastecimiento para la población. Y es obvio que al reducirse el vertimiento de agua con contenido de colas de procesamiento de minerales a los ríos, estaría mejorando el medio ambiente. Se requiere, entonces, un índice que muestre la tasa de reciclaje de agua de uso industrial, administrado en forma conjunta entre el sector público y la población.

(7) Incremento de presentación de Ficha Ambiental (FA) y Manifiesto Ambiental

Se requiere aplicar sin excepciones las obligaciones de presentación de Ficha Ambiental y Manifiesto Ambiental establecidos mediante la legislación y reglamentos ambientales, como norma básica ambiental de Bolivia. Debido a que aún es incipiente la promulgación de la legislación ambiental, su aplicación no ha entrado con el rigor requerido. En este caso se requiere paralizar las actividades que no cuenten con autorizaciones en función a FA ó MA dentro de los términos establecidos. La administración pública requiere esforzarse en aspectos ejecutivos en función a los objetivos trazados.

6-2-6 Evaluación de impacto ambiental

Para las construcciones de infraestructura propuesta en el presente informe es pertinente realizar estudios de evaluación de impacto ambiental. Las construcciones propuestas son:

- ① Centro de investigación de asuntos ambientales y seguridad (se incluye equipo de concentración continua)
- ② Planta de tratamiento de colas
- ③ Planta concentradora integrada (zona industrial)
- ④ Planta de recuperación de metales valiosos de desmontes y sucus.

En el cuadro 6-2-11 se muestran los ítems de evaluación de impacto ambiental.

Cuadro 6-2-1

Equipos de monitoreo para corto, mediano y largo plazo (1/4)

Short Term	Item	Equipment	Cost of Equipment	Consumable	Yearly Operation	Cost of	Testing Points	Frequency
	pH	Portable pH Meter	Already Donated	Distillated Water			To be defined by Bolivian side	To be defined by Bolivian side
		Electric Conduct	Same Above	Distillated Water				
		Short Term	USD10,000	Main Equipment Maintenance(5%)	USD500			
Middle Term								
First Stage	Lead	Multipurpose rapid water analyzer	USD35,000	Test Chemical, Sample Bottle	USD500	1)DCSA Drainage		
Water	Copper	Multipurpose rapid water analyzer	Same Above	Test Chemical, Sample Bottle	USD500	2)Ingenico Drainage		
	Arsenic	Multipurpose rapid water analyzer	Same Above	Test Chemical, Sample Bottle	USD500	3)Mining Spot Drainage		
	Cadmium	Multipurpose rapid water analyzer	Same Above	Test Chemical, Sample Bottle	USD500	4)Ingenico Waste -		
	COD	Multipurpose rapid water analyzer	Same Above	Test Chemical, Sample Bottle	USD500	Recovery Plant Drainage		
		Middle Term/First Stage Total	USD35,000	Main Equipment Maintenance(3%)	USD1,050	5)Treated Acid Water		
					USD3,550	6)Others		
Second Stage								
Water	pH	Table pH Meter	USD1,200					
	E.C.	Table E.C. Meter	USD1,200					
	Oxidation Meter	Table Oxidation Meter	USD1,100					
	Basic -	Refrigerator	USD3,000					
	Instruments	Distillator	USD8,000					
		Glass Tube Thermometer	USD2,000					
		Beaker	USD2,000					
		Microscope	USD10,000					
		Electric Furnace	USD10,000					
		Test Table	USD1,000					
		Draft Chamber	USD3,000					
		Standard Balance	USD1,000					
		Ultra micro Balance	USD10,000					
		Water Piping	USD2,000					
		Switch Board	USD2,000					
		Air Conditioning	USD2,000					
		Cabinet	USD3,000					
		Atomic Absorption Spectrometer	USD25,000					
		Flow Injection Analyzer	USD25,000					
		Microwave Digester	USD27,000					
		UV-Visible Spectrometer	USD30,000					
		Ion Chromatograph	USD40,000					
		Electrochemical Detector	USD25,000					
		Elemental Analyzer	USD35,000					
		Hydrogen Generator	USD10,000					

Cuadro 6-2-1

Equipos de monitoreo para corto, mediano y largo plazo (3/4)

Item	Equipment	Cost of Equipment	Consumable	Cost of	Testing Points	Frequency
Iron	Atomic Absorption Spectrometer	Same Above	Cathode Lamp for Iron	USD500	3)Drainage from	
Manganese	Atomic Absorption Spectrometer	Same Above	Test Chem. Standard Liquid, S.B.	USD500	Vegetation/Land Cover	
Mercury	Atomic Absorption Spectrometer	Same Above	Cathode Lamp for Manganese	USD500		
	Mercury Reduction Vaporizer	USD5,000	Test Chem. Standard Liquid, S.B.	USD500		
Sulfur	Atomic Absorption Spectrometer	Same Above	Cathode Lamp for Mercury	USD500		
	Electrochemical Detector	Same Above	Test Chem. Standard Liquid, S.B.	USD500		
Silver	UV-Visible Spectrometer	Same Above	Cathode Lamp for Cyanide	USD500		
Zinc	Atomic Absorption Spectrometer	Same Above	Test Chem. Standard Liquid, S.B.	USD500		
Chromium	Dryer	Same Above	Cathode Lamp for Zinc	Same Above		
	Atomic Absorption Spectrometer	Same Above	Test Chem. Standard Liquid, S.B.	Same Above		
Iron	Dryer	Same Above	Cathode Lamp for Chromium	Same Above		
	Atomic Absorption Spectrometer	Same Above	Test Chem. Standard Liquid, S.B.	Same Above		
Manganese	Dryer	Same Above	Cathode Lamp for Iron	Same Above		
	Atomic Absorption Spectrometer	Same Above	Test Chem. Standard Liquid, S.B.	Same Above		
Mercury	Dryer	Same Above	Cathode Lamp for Manganese	Same Above		
	Atomic Absorption Spectrometer	Same Above	Test Chem. Standard Liquid, S.B.	Same Above		
Sulfur	Dryer	Same Above	Cathode Lamp for Mercury	Same Above		
	Atomic Absorption Spectrometer	Same Above	Test Chem. Standard Liquid, S.B.	Same Above		
Tin (Sn)	Dryer	Same Above	Cathode Lamp for Sulfur	USD500		
Bismuth (Bi)	UV-Visible Spectrometer	Same Above	Test Chem. Standard Liquid, S.B.	USD500		
Antimony (Sb)	UV-Visible Spectrometer	Same Above	Test Chem. Standard Liquid, S.B.	USD500		
Carbon	UV-Visible Spectrometer	Same Above	Test Chem. Standard Liquid, S.B.	USD500		
	Electric Furnace	Same Above				
Silver	UV-Visible Spectrometer	Same Above	Test Chem. Standard Liquid, S.B.	USD500		
Ignition Loss	UV-Visible Spectrometer	Same Above	Test Chem. Standard Liquid, S.B.	USD500		
	Electric Furnace	Same Above				
Soil	Atomic Absorption Spectrometer	Same Above	Cathode Lamp for Zinc	Same Above		
	Atomic Absorption Spectrometer	Same Above	Test Chem. Standard Liquid, S.B.	Same Above		
Chromium	Dryer	Same Above	Cathode Lamp for Chromium	Same Above		
	Atomic Absorption Spectrometer	Same Above	Test Chem. Standard Liquid, S.B.	Same Above		
Manganese	Dryer	Same Above	Cathode Lamp for Manganese	Same Above		
	Atomic Absorption Spectrometer	Same Above	Test Chem. Standard Liquid, S.B.	Same Above		
Mercury	Dryer	Same Above	Cathode Lamp for Mercury	Same Above		
	Atomic Absorption Spectrometer	Same Above	Test Chem. Standard Liquid, S.B.	Same Above		
Sulfur	Dryer	Same Above	Cathode Lamp for Sulfur	Same Above		
	Atomic Absorption Spectrometer	Same Above	Test Chem. Standard Liquid, S.B.	Same Above		
Tin (Sn)	UV-Visible Spectrometer	Same Above	Test Chem. Standard Liquid, S.B.	Same Above		

Cuadro 6-2-2 Antimonio

ANTIMONIO (µg/l)
Valores depurados y utilizados: 12
Mejor modelo ajustado: $C_{25} = 0.572C_4 + 8338.22C_5 - 23.51C_8 + 318.746C_{13} + 0.324C_{19} - 0.391C_{24} + 0.122$
Correlación linear múltiple: 0.994
Concentración media esperada en Puente Méndez: 1008.15 µg/l
Concentración máxima esperada en Puente Méndez: 7877.51 µg/l
Observación: Los puntos de muestreo que más inciden en la concentración de Antimonio en Puente Méndez son P4HU (C ₄) y P5IR (C ₅), en un 79.1% y 41.8%, respectivamente

Concentración media registrada en los puntos de muestreo Antimonio (µg/l)		
Punto de Muestreo	Media	Desv. Standard
C ₂₅	0.28917	0.21138
C ₄	0.45250	0.34067
C ₅	0.00008	0.00028
C ₈	0.03133	0.10361
C ₉	0.12167	0.20008
C ₁₃	0.00008	0.00028
C ₁₆	0.29917	0.24433
C ₁₉	0.22417	0.13097
C ₂₄	0.38083	0.30488

Cuadro 6-2-3 Arsénico

ARSENICO (µg/l)
Valores depurados y utilizados: 14
Mejor modelo ajustado: $C_{25} = 0.013C_4 - 1.689C_5 + 2.091C_8 + 2.091C_{13} - 0.613C_{16} + 0.335C_{19} - 0.004C_{24} - 1.838$
Correlación lineal múltiple: 0.701
Concentración media esperada en Puente Méndez: 7.36282 µg/l
Concentración máxima esperada en Puente Méndez: 23.71355 µg/l
Observación: Los puntos de muestreo que más inciden en la concentración de Arsénico en Puente Méndez son P8HR (C ₈) y P24J (C ₂₄), en un 47.2% y 13.3%, respectivamente

Concentración media registrada en los puntos de muestreo Arsénico (µg/l)		
Punto de Muestreo	Media	Desv. Standard
C ₂₅	7.34429	9.31023
C ₄	356.025	453.510
C ₅	147.494	188.967
C ₈	12.4114	11.8741
C ₉	2.61556	4.81708
C ₁₃	0.19764	0.30686
C ₁₆	6.20357	11.2512
C ₁₉	5.97857	8.62919
C ₂₄	10.9100	19.5293

Cuadro 6-2-4 Cadmio

CADMIO (mg/l)
Valores depurados y utilizados: 14
Mejor modelo ajustado: $C_{25} = 2.113C_4 + 0.17C_5 - 0.947C_8 - 0.058C_{13} + 0.838C_{16} - 0.758C_{19} - 0.0116C_{24} + 0.0813$
Correlación linear múltiple: 0.815
Concentración media esperada en Puente Méndez: 0.03042 mg/l
Concentración máxima esperada en Puente Méndez: 0.23815 mg/l
Observación: El punto de muestreo que más incide en la concentración de Cadmio en Puente Méndez es el P16A (C_{16}), en un 30.9%.

Concentración media registrada en los puntos de muestreo Cadmio (mg/l)		
Punto de Muestreo	Media	Desv. Standard
C_{25}	0.01886	0.01845
C_4	2.39786	2.31428
C_5	0.03229	0.02371
C_8	0.02357	0.02098
C_9	0.02889	0.20883
C_{13}	0.68500	0.16440
C_{16}	0.01871	0.02616
C_{19}	0.01857	0.01747
C_{24}	10.9100	19.5293

Cuadro 6-2-5 Cobre

COBRE (mg/l)
Valores depurados y utilizados: 18
Mejor modelo ajustado: $C_{25} = 0.016C_5 + 0.56C_{16} - 0.363_{19} - 0.0047C_{24} + 0.00845$
Correlación linear múltiple: 0.753
Concentración media esperada en Puente Méndez: 0.02512 mg/l
Concentración máxima esperada en Puente Méndez: 0.09740 mg/l
Observación: El punto de muestreo que más incide en la concentración de Cobre en Puente Méndez es el P5RI (C ₅), en un 61.4%.

Concentración media registrada en los puntos de muestreo Cobre (mg/l)		
Punto de Muestreo	Media	Desv. Standard
C ₂₅	0.00220	0.02612
C ₄	16.4433	12.7155
C ₅	1.15056	1.26545
C ₈	0.03333	0.03955
C ₉	0.00991	0.01987
C ₁₃	20.1117	7.98401
C ₁₆	0.01250	0.01559
C ₁₉	0.01956	0.02717
C ₂₄	0.94500	1.43239

Cuadro 6-2-6 Hierro

HIERRO (mg/l)
Valores depurados y utilizados: 19
Mejor modelo ajustado: $C_{25} = 0.00015C_4 + 0.757C_5 - 0.00037C_{13} + 0.588C_{19} - 0.06416$
Correlación linear múltiple: 0.749
Concentración media esperada en Puente Méndez: 0.22368 mg/l
Concentración máxima esperada en Puente Méndez: 0.80203 mg/l
Observación: Los puntos de muestreo que más inciden en la concentración de Hierro en Puente Méndez son P19Y (C ₁₉) y P5RI (C ₅), en un 61.7% y 32.2%, respectivamente

Concentración media registrada en los puntos de muestreo Hierro (mg/l)		
Punto de Muestreo	Media	Desv. Standard
C ₂₅	0.18474	0.28116
C ₄	537.966	361.103
C ₅	0.10947	0.08296
C ₈	0.31053	0.40998
C ₉	0.17333	0.32103
C ₁₃	304.786	238.361
C ₁₆	6.73632	27.2921
C ₁₉	0.33947	0.25984
C ₂₄	39.1400	115.727

Cuadro 6-2-7 Manganeso

MANGANESO (mg/l)
Valores depurados y utilizados: 17
Mejor modelo ajustado: $C_{25} = 0.05623C_5 - 0.782C_8 - 1.731C_{16} + 2.856C_{19} + 0.438$
Correlación linear múltiple: 0.743
Concentración media esperada en Puente Méndez: 0.27825 mg/l
Concentración máxima esperada en Puente Méndez: 0.88885 mg/l
Observación: El punto de muestreo que más incide en la concentración de Manganeso en Puente Méndez es PSRI (C ₅), en un 60.3%.

Concentración media registrada en los puntos de muestreo Manganeso (mg/l)		
Punto de muestreo	Media	Desv. Standard
C ₂₅	0.28647	0.25916
C ₄	16.3447	8.87244
C ₅	0.97776	3.48386
C ₈	0.36176	0.15171
C ₉	0.07836	0.07159
C ₁₃	41.2152	19.2990
C ₁₆	0.06412	0.10137
C ₁₉	0.06571	0.09514
C ₂₄	15.3364	10.4925

Cuadro 6-2-8 Mercurio

MERCURIO (µg/l)
Valores depurados y utilizados: 17
Mejor modelo ajustado: $C_{25} = 0.195C_4 - 0.403C_5 - 0.103C_8 + 10.306C_{13} + 0.0541C_{16} + 0.164C_{19} + 1.792C_{24} - 0.103$
Correlación lineal múltiple: 0.972
Concentración media esperada en Puente Méndez: 1.52130 µg/l
Concentración máxima esperada en Puente Méndez: 11.74280 µg/l
Observación: Los puntos de muestreo que más inciden en la concentración de Mercurio en Puente Méndez son P4HU (C ₄), P5RI (C ₅), P13K (C ₁₃) y P24J (C ₂₄), en un promedio de 83.8%

Concentración media registrada en los puntos de muestreo Mercurio (µg/l)		
Punto de muestreo	Media	Desv. Standard
C ₂₅	1.00000	1.66084
C ₄	1.88118	2.54108
C ₅	2.75059	5.79926
C ₈	0.73588	1.06089
C ₉	1.34818	2.56561
C ₁₃	0.00123	0.00188
C ₁₆	1.70647	3.59645
C ₁₉	0.61412	1.10564
C ₂₄	0.95647	1.92328

Cuadro 6-2-9 Plomo

PLOMO (mg/l)
Valores depurados y utilizados: 17
Mejor modelo ajustado: $C_{25} = 0.509 - 0.964C_5$
Correlación linear múltiple: 0.376
Concentración media esperada en Puente Méndez:
Concentración máxima esperada en Puente Méndez:
Observación: El punto de muestreo que más incide en la concentración de Plomo en Puente Méndez es P5RI (C ₅), en un 37.6%.

Concentración media registrada en los puntos de muestreo Plomo (mg/l)		
Punto de muestreo	Media	Desv. Standard
C ₂₅	0.23529	0.47480
C ₄	2.47765	1.57713
C ₅	0.28353	0.18510
C ₈	0.27235	0.57137
C ₉	0.19000	0.16583
C ₁₃	0.20706	0.14057
C ₁₆	0.21882	0.23948
C ₁₉	0.17471	0.16790
C ₂₄	0.20412	0.14975

Cuadro 6-2-10 Zinc

ZINC (mg/l)
Valores depurados y utilizados: 18
<p>Mejor modelo ajustado:</p> $C_{25} = -0.00039C_4 - 0.0067C_5 + 0.042C_8 + 0.0003C_{13} - 0.001C_{16} - 0.0884C_{19} + 0.00065C_{24} + 0.055$
Correlación lineal múltiple: 0.537
Concentración media esperada en Puente Méndez:
Concentración máxima esperada en Puente Méndez:
<p>Observación: Los puntos de muestreo que más inciden en la concentración de Zinc en Puente Méndez son PSRI (C₃), P9JV (C₉), P13K (C₁₃) y P19Y (C₁₉), en un promedio de 31%.</p>

Concentración media registrada en los puntos de muestreo Zinc (mg/l)		
Punto de muestreo	Media	Desv. Standard
C ₂₅	0.08122	0.05338
C ₄	298.083	138.384
C ₅	1.22944	3.46444
C ₈	0.14500	0.12118
C ₉	0.07583	0.07378
C ₁₃	119.633	48.6153
C ₁₆	4.55944	19.0771
C ₁₉	0.07167	0.07524
C ₂₄	216.945	153.884

Cuadro 6-2-11 Contexto de Evaluación de Impacto Ambiental

Evaluación de impacto ambiental

Debido a que parte de las propuestas presentadas están relacionadas con construcción de instalaciones - "Centro de Investigación Ambiental y Prevención de Contaminación", "Planta de Retratamiento de Colas", "Planta Concentradora Modelo/Piloto", "Construcción de Zona Industrial para Instalación de Planta Concentradora Integral" y "Planta de Recuperación de Metales Económicamente Valiosos de Desmontes" citados en los acápites (4), (6), (8), (9) y (10) respectivamente - se recomienda realizar evaluaciones de impacto ambiental de estos proyectos bajo la denominación "actividad de procesamiento de minerales modelo".

Actividad materia de evaluación de impacto ambiental: planta concentradora modelo

① Panorama del proyecto

El Gobierno Boliviano cuenta con programas para mitigar la contaminación debida a actividades del sector minero y otros.

Sin embargo, debido a la baja de cotizaciones de precios de metales no ferrosos en el mercado internacional que ha derivado en estancamiento de actividades mineras, no ha obtenido logros importantes en asuntos ambientales relacionados a este sector. El presente estudio, se lleva a cabo considerando esta situación bajo solicitud del Gobierno Boliviano.

El gobierno japonés, en respuesta a tal solicitud, envió a esta misión de estudio con la finalidad de elaborar propuestas de planes de gestión ambiental y prevención de contaminación debida a la actividad minera. Con este propósito la presente misión ha elaborado las bases para la evaluación de impacto ambiental para la construcción de planta concentradora modelo, que forma parte de las propuestas de prevención de contaminación debida a la actividad minera.

② Entidad ejecutora

Esta tarea debe ser ejecutado por la Prefectura del Departamento de Potosí. Se debe establecer una institución pública compuesta por el ejecutivo de la Prefectura y empresas relacionadas para su ejecución.

③ Contexto de la actividad

Diseño y construcción de planta concentradora modelo: Diseño y construcción de una planta modelo de 200 toneladas/día de capacidad instalada para procesar minerales de plomo, zinc, plata y estaño principalmente.

Principal materia prima: Minerales de plomo y zinc del Cerro Rico de Potosí.

Servicios requeridos: Energía eléctrica y agua de uso industrial.

Principales productos: Concentrados de minerales de plomo, zinc, estaño y plata.

④ Cálculo del presupuesto

Se presenta en el acápite 4-3.

⑤ Establecimiento de objetivos de protección ambiental

Esta planta concentradora modelo tiene la finalidad de cumplir con las normas ambientales de Bolivia referidas a calidad de agua, calidad atmosférica, ruido entre otras; asimismo, evite influencia dañina a los operarios en sus instalaciones. Además debe reunir las características que permitan la autorización que derive de FA.

⑥ Previsión y evaluación de impacto ambiental

Los metales contenidos en las colas de la planta concentradora modelo se estiman serán las 2/3 partes de los actuales Ingenios. Es decir la diferencia se convierte en valor agregado en forma de producto, asimismo disminuye el grado de contaminación de aguas en la misma razón.

Es obvio que se requiere del tratamiento de colas, para evitar la contaminación de aguas tal como ocurre actualmente.

Como contaminación atmosférica se debe considerar el riesgo de producir problemas de índole respiratorio a la población debido a generación de polvos en las operaciones de transporte y almacenaje de materia prima y productos procesados.

Como contaminación por ruidos se tiene principalmente los ocasionados por equipos de trituración. Este parámetro debe ser analizado considerando los efectos a la vecindad y a los operarios de la planta.

⑦ Erradicación y mitigación de impacto ambiental

A pesar que la construcción de la planta concentradora significa adicionar al grupo de Ingenios en operación otra instalación de procesamiento de minerales que emitirá productos contaminantes; debido a que ésta sería diseñada bajo el concepto de minimizar impactos negativos al ambiente, se podría inferir que no deteriorará más la situación actual de calidad de aguas. En cuanto a su operación, se requiere instalar sistemas que prevengan el vertimiento de efluentes en caso de desperfectos ó accidentes. Como lugar de instalación se debe seleccionar una zona que ofrezca poco impacto ambiental, considerando instalaciones de prevención de contaminación preexistentes.

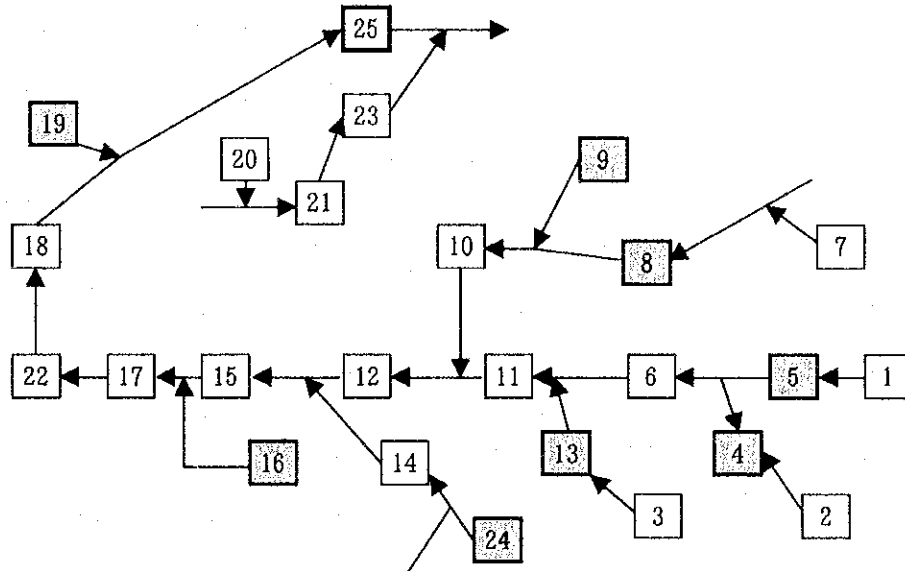
Es decir, en cuanto a la calidad de aguas, debe cumplir no sólo las exigencias de normas de calidad de emisiones, sino que debe cumplir los requisitos para la obtención de autorizaciones que se deriven de la Ficha Ambiental (FA), al cual se someten los Ingenios en operación. Con la finalidad de mejorar aún esta situación, se debe establecer que debe formar parte del proyecto del Dique de Colas de San Antonio que se lleva a cabo con la cooperación económica de Alemania. En consecuencia, el vertimiento de colas de la planta concentradora modelo a los ríos debe ser "cero".

En lo relacionado a ítems atmosféricos y de ruido, se deben considerar que tanto las operaciones de transporte como los de almacenamiento de materiales deben ser realizados dentro de las instalaciones, con la finalidad de evitar contaminación atmosférica y emisión de ruidos. Asimismo, los operarios de la planta debe contar con dispositivos de seguridad como máscaras para evitar la inhalación de polvo.

⑧ Monitoreo ambiental

Las emisiones de materia que atenta contra la calidad ambiental deben ser controladas bajo las normas de la legislación ambiental y lo establecido por el sistema de FA por las autoridades ambientales de la Municipalidad y la Prefectura. El administrador de la planta deberá informar sobre calidad de aguas y otros que se le exijan.

Figura 6-2-1 Diagrama de la Estructura del Modelo



The numbers correspond to the respective control points as indicated in Table 4-1-1.

- 25 Output of the model (dependent variable) at Mendez Bridge
- Control points selected as independent variables
- ← Direction of flow of the water

6-3 Capacitación y educación de recursos humanos

Debido a la insuficiencia estructural en la administración ejecutiva de la Prefectura del Departamento de Potosí en asuntos relacionados con prevención de contaminación minera y protección ambiental, la ejecución de las propuestas descritas en las secciones anteriores del presente informe se hace dificultosa. La ejecución eficiente de estas propuestas requiere de un trabajo coordinado entre funcionarios relacionados a gestión ambiental con instituciones afines y la población de la región. Para ello, es necesario iniciar la capacitación e instrucción de los funcionarios de alta jerarquía, en temas relacionados con prevención de contaminación minera y mejoramiento ambiental. En seguida, se deberá ir capacitando e instruyendo a funcionarios de mando medio y otros en forma secuencial y sistemática. Esta labor podría ser realizada en el centro de investigaciones citado en el presente.

El lugar de instalación de este centro podría ser uno de los locales que pertenezca a la Prefectura, COMIBOL ó la Universidad Autónoma Tomás Frías. Asimismo, el personal a capacitar e instruir serían de estas mismas instituciones, además de asociaciones de ingenios, cooperativas mineras y organizaciones no gubernamentales, entre otras. La difusión de estas actividades podrían ser realizadas utilizando diversos medios de comunicación, con el objeto de darle relevancia en el ámbito departamental y nacional.

6-3-1 Problemática ambiental del Departamento de Potosí

En el cuadro que sigue a continuación se ha recopilado la problemática para llevar a cabo las medidas propuestas por parte del lado boliviano.

1. Aspectos técnicos	1) Prevención de contaminación debida a la actividad minera	(1) Medidas directas	① Tecnología de prevención de contaminación insuficiente ② Investigación de procesos de prevención de contaminación insuficiente ③ Aplicación de tecnología de prevención de contaminación insuficiente
		(2) Medidas indirectas	① Tecnología de procesamiento de minerales insuficiente ② Investigación de procesos metalúrgicos insuficiente ③ Aplicación de tecnología de procesos metalúrgicos insuficiente
	2) Gestión ambiental	(1) Sistema de monitoreo insuficiente (2) Aplicación de leyes y reglamentos insuficiente (3) Organización ejecutiva de asuntos ambientales insuficiente (4) Índices ambientales insuficiente	
2. Recursos humanos	1) Prevención de contaminación minera	Existen decenas de especialistas en minería y química, en la UATF, empresas mineras e ingenios; sin embargo, es insuficiente para ejecutar las medidas descritas en 1.1).	
	2) Gestión ambiental	El número de personal a cargo es escaso; especialmente en la Dirección de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente de la Prefectura de Potosí	
3. Infraestructura	1) Prevención de contaminación minera	Existen algunos equipos para investigación de procesos metalúrgicos y ambientales; sin embargo, en cantidad insuficiente.	
	2) Gestión ambiental	Equipos de monitoreo insuficiente	

6-3-2 Items técnicos a ser tratados en el centro de investigaciones

Items relacionados con el mejoramiento de la calidad ambiental del sector minero del departamento de Potosí.

(1) Tecnología relacionada a prevención de contaminación minera

- Tratamiento de efluentes ácidos (drenaje) de mina
- Procesamiento de minerales (incremento de recuperación de metales y mejoramiento de calidad de colas)
- Tratamiento de colas de procesamiento de minerales
- Tratamiento de desmontes y sucus

(2) Plan de gestión ambiental

- Planteamiento de sistema de monitoreo
- Planteamiento de estructura ejecutiva para gestión ambiental
- Revisión de legislación y normas ambientales
- Normas de análisis ambiental

(3) Capacitación e instrucción en tecnología ambiental

- Capacitación en tecnología ambiental para funcionarios de alta jerarquía
- Preparación y entrenamiento de instructores en asuntos ambientales
- Capacitación y entrenamiento en temas relacionados con técnicas de prevención de contaminación y técnicas de operaciones limpias
- Otros

6-3-3 Plan de acciones/actividades del centro de investigaciones

(1) Corto plazo

1) Tecnología relacionada con prevención de contaminación minera

Como tema relacionado a técnicas de prevención de contaminación minera, es posible citar el tema de mejoramiento de procesamiento de minerales y tratamiento de efluentes.

- Mejoramiento de procesamiento de minerales: Si bien este tema está relacionado directamente con el mejoramiento de recuperación de metales, indirectamente significa disminución de contaminantes que se vierten a los ríos, y por ende sería una política de prevención de contaminación. Por otro lado, es vital tomar en cuenta la aplicación de técnicas que conlleven al mejoramiento de procesos con poca inversión económica. Como se mencionó en el acápite anterior, los ingenios que operan actualmente son sobrealimentados rebasando su capacidad de tratamiento, disminuyendo la eficiencia de operaciones. La corrección de esta situación se obtendría mediante la disminución de alimentación de mineral crudo al proceso. De este modo, es posible obtener mejoras en el proceso sin una costosa inversión e incluso poder disminuir los costos operativos debido a la reducción de carga.

[Propuesta relacionada]: ② Mejoramiento de procesos en ingenios

- Tratamiento de efluentes ácidos de mina: Como tema importante de prevención de contaminación debida a la actividad minera, es necesario tener en cuenta las técnicas de tratamiento de efluentes que emanan de minas y desmontes de minerales. Así como se describe en el capítulo 4 del presente, es necesario aplicar técnicas de

tratamiento de efluentes mediante neutralización (de una etapa, de dos etapas, bacteriológicas, etc.), tema que deberá ser estudiado en el centro de investigación. Por otro lado, en la separación sólido/líquido del proceso de sedimentación en la poza del dique de colas; se deberá estudiar las técnicas de reciclaje de agua de rebose para ser utilizados en el proceso de los ingenios. Además, se deberá estudiar e investigar las características físicas y reológicas de los materiales que serán vertidos al dique de colas, con el fin de obtener los parámetros de diseño (de construcción y operación).

[Propuestas relacionadas]: ① Suspensión de vertimiento de colas a los ríos, ⑤ Tratamiento de efluentes ácidos.

2) Conocimiento relacionado con gestión ambiental

Con suma urgencia se deben implantar sistemas que permitan reconocer en detalle el grado de contaminación debida a la actividad minera, con el objeto de aplicar medidas de solución de acción mediata basados en ellos. Para ello es necesario introducir sistemas y organización de monitoreo. En consecuencia, como labor que se debe llevar a cabo en el centro de investigación relacionado a este tema, será la instalación de equipos y aplicación de sistemas y técnicas de monitoreo.

[Propuesta relacionada]: ③ Instalación de organización y sistemas de monitoreo

3) Capacitación e instrucción en tecnología ambiental

Como plan de acción de capacitación y educación en asuntos ambientales se recomienda iniciar desde los estratos superiores de jerarquía y abarcar como meta a toda la población. Como temas de capacitación en el centro de investigación se podrían citar los siguientes: a) plan de gestión ambiental, b) políticas ejecutivas de gestión ambiental, 3) técnicas relacionadas a gestión ambiental, 4) temas relacionados con operaciones mineras y prevención de contaminación; entre otros. En forma simultánea, se recomienda realizar seminarios, difusión mediante medios de comunicación, entre otras actividades con el objeto de capacitar e instruir a la población.

[Propuesta relacionada]: ④ Capacitación e instrucción de personal

(2) Mediano plazo

1) Tecnología relacionada con prevención de contaminación minera

Como temas para mediano plazo se podrían citar los siguientes: técnicas de extracción minera, tratamiento de colas, separación sólido/líquido, tratamiento de efluentes (continuación de tratamiento de efluentes ácidos), reciclaje de agua y reforestación de cúmulos de desechos mineros.

[Propuestas relacionadas]: - Introducción de métodos de extracción minera eficiente, ⑧ Reforestación de depósitos de colas, ⑨ Instalación de planta de tratamiento de colas, - Instalación de planta de reciclaje de efluentes tratados.

2) Conocimiento relacionado con gestión ambiental

Como plan de acción de mediano plazo: a) Plan, organización y estructura de gestión ambiental, b) Legislación y normas ambientales, c) Técnicas de análisis ambiental (continuación), d) Sistema de monitoreo (continuación).

[Propuesta relacionada]: ⑦ Revisión de legislación y normas ambientales, sistema de gestión ambiental.

3) Capacitación e instrucción en tecnología ambiental

Continuar los planes citados para corto plazo, ampliando el ámbito de capacitación internacional y niveles de jerarquía inferiores.

[Propuesta relacionada]: ④ Capacitación e instrucción de personal.

(3) Largo plazo

1) Tecnología relacionada con prevención de contaminación minera

a) Pruebas de procesamiento de minerales: Basado en el tratamiento de minerales del Cerro Rico de Potosí, realizar pruebas de flujo continuo de procesamiento de minerales en laboratorio, con la finalidad de determinar los parámetros de diseño de una planta concentradora integrada de unas 1.500 toneladas/día de capacidad.

- b) Tratamiento de colas: Estudio de factibilidad para la utilización de colas de procesamiento de minerales para relleno de galerías de mina, previa clasificación de tamaños.
- c) Reforestación de depósitos de colas.
- d) Pruebas de tratamiento de minerales de desmontes y sucus: Como se mencionó, en los depósitos de desechos mineros y sucus yacen remanentes metales económicamente valiosos como estaño y plata entre otros. La recuperación de éstos no solamente significará darle valor económico a estos depósitos, sino que también consiste en aplicar una medida de solución sobre fuente de contaminación. Para ello, es necesario realizar pruebas de procesamiento de minerales con muestras de estos depósitos con el fin de dilucidar cuáles son materia de tratamiento.

[Propuestas relacionadas]: - Relleno de galerías con colas de procesamiento de minerales, ⑩ Instalación de planta concentradora integrada, ⑪ Recuperación de metales valiosos remanentes en depósitos de desechos mineros y sucus.

2) Conocimiento relacionado con gestión ambiental

A parte de darle continuidad a las labores que se deben ejecutar a corto y mediano plazos, se deberán iniciar la implantación de sistemas integrales de monitoreo sobre la totalidad de la cuenca del río Pilcomayo, los cuales serán las bases para la gestión ambiental.

[Propuestas relacionadas]: ⑦ Revisión de legislación ambiental, ⑫ Introducción de sistema integral de monitoreo del cauce del río Pilcomayo.

3) Capacitación e instrucción en tecnología ambiental

Continuación de capacitación e instrucción en forma permanente, revisando los contenidos de las materias a tratar de acuerdo a la evolución de la calidad ambiental y revisión de legislación y normas ambientales. Del mismo modo se deberá ir ampliando el ámbito de acción involucrando a otros países.

[Propuesta relacionada]: ④ Capacitación e instrucción de personal

6-3-4 Resultados esperados del centro de investigaciones

A continuación se lista los resultados deseados con la creación del centro de investigaciones.

- ① Explotación racional de recursos mineros mediante aplicación de métodos de extracción eficientes en las minas de Potosí.
- ② Procesamiento eficiente de minerales mediante introducción de mejoramientos en las actuales operaciones de ingenios.
- ③ Obtención de capacidad de asumir costos ambientales por parte de los ingenios.
- ④ Mejoramiento de calidad de aguas de la cuenca de los ríos De la Ribera, Tarapaya y Pilcomayo.
- ⑤ Revisión de legislación ambiental relacionada a la actividad minera en Bolivia.
- ⑥ Reforma de la legislación ambiental acorde a la capacidad de cumplimiento actual en Bolivia.
- ⑦ Mejoramiento del panorama y calidad de vida en la ciudad de Potosí.
- ⑧ Recuperación y aprovechamiento de recursos no explotados (metales valiosos remanentes en desmontes de minerales y sucus).
- ⑨ Mitigación de contaminación debida a drenaje de aguas sobre desmontes y sucus.
- ⑩ Mejoramiento de calidad de aguas en la cuenca del río Pilcomayo mediante aplicación de sistema de monitoreo integral.
- ⑪ Incremento de “conscientización” ambiental de la población en general en procura del mejoramiento de calidad ambiental total.
- ⑫ Obtención de sistema y modelo de calidad ambiental para otros departamentos de Bolivia.
- ⑬ Transferencia de tecnología de terceros (internacional) mediante capacitación.

Capítulo 7

Evaluación Económica y Financiera

7-1 Evaluación financiera

7-1-1 Introducción

Los objetivos del presente estudio consisten en la elaboración de FIA del sector minero en el Departamento de Potosí, identificando y definiendo las medidas de mitigación de contaminación ambiental debido a las actividades mineras en la región; y proponer planes de gestión ambiental adecuando a las necesidades actuales, mediante promoción de transferencia de tecnología en los campos de control de contaminación y administración de la actividad minera.

(1) Estado actual de contaminación de aguas

Se han descrito los mecanismos de contaminación de aguas en la ciudad de Potosí y en las cuencas aguas abajo. Por un lado existen los efluentes ácidos que generan las minas y las filtraciones de desechos mineros que drenan a los ríos sin tratamiento adecuado. Por otro, efluentes y colas conteniendo sustancias nocivas vertidos por aproximadamente 42 pequeños y medianos ingenios. Esta situación origina la contaminación de aguas de los ríos de la Ciudad de Potosí, Tarapaya y Pilcomayo, ocasionando serios daños a la economía de la región, particularmente la producción agrícola debido a contaminación de suelos.

A esta situación se suma la ausencia de gestión ambiental. Aún no se han identificado con certeza las condiciones del medio ambiente y no se cuenta con estándares ambientales adecuados, debido a la carencia de información básica requerida para la toma de decisiones en política ambiental.

7-1-2 Metodología de evaluación

(1) Materia de evaluación

Se evaluará la viabilidad económica de los casos (en adelante proyectos caso) descritos a continuación de las propuestas planteadas en la sección 6-1 (procesamiento de minerales y diseño de planta), como parte de planes de mejoramiento de procesamiento de minerales en los ingenios. La descripción se detalla en el cuadro 7-1-1.

(2) Consideraciones

Se han establecido las siguientes suposiciones para la evaluación de los proyectos caso.

1) Construcción y operación del dique de colas

Las instalaciones del dique de colas (DCSA) y su sistema de transporte (drenaje) de colas será construido pronto con asistencia de cooperación alemana (KfW). A pesar que el tema de construcción del dique de colas no forma parte del presente estudio, es menester mencionar que los costos de operación y administración serán a cargo de los ingenios, que será el beneficiario del proyecto.

De acuerdo a reportes recientes del proyecto DCSA, los costos de operación y administración (en adelante costos ambientales), consistirán de costos de tratamiento de colas (US\$1,62 por tonelada de cola tratada) y los costos de inversión incluyendo los pagos de interés que serán estimados en la presente evaluación.

Cabe hacer mención que la construcción del dique de colas es pre-requisito de este caso, razón por la cual, en la evaluación se asume la ocurrencia de costos ambientales independientemente de la implantación del proyecto.

2) Precios basados en valores de 1998

A pesar que los proyectos caso que son materia de la presente evaluación se implantarían en diferentes épocas, se realizarán evaluaciones comparativas fijando los valores presentes del año 1998 como base. En consecuencia, los costos de los proyectos caso serán estimados con los precios calculados para este año, sin considerar variabilidad de precios en el futuro.

3) Estimaciones generales basadas en supuestos básicos (precio de venta, costo de inversión, etc.)

Para los proyectos casos B y C, se han considerado la construcción sobre las ubicaciones sugeridas; asimismo, para los precios de venta de los productos y los costos de inversión se han tomado valores asumidos para diseño conceptual. En relación a ello, se han establecido valores estándares que simulan los costos que incurren los aproximadamente 42 ingenios.

(3) Metodología de la evaluación

① Caso A: Mejoramiento de procesos en ingenios existentes

Los efectos del presente proyecto caso se han estimado comparando los ingresos y egresos de la situación con la aplicación de medidas de mejoramiento y la situación actual sin cambios.

② Caso B: Construcción de planta de tratamiento de colas

Del mismo modo que el proyecto caso anterior se ha analizado comparativamente la situación con la instalación de planta y la actual situación continuando las recuperaciones concentrados de plomo y zinc que son los principales productos de los ingenios.

③ Caso C: Construcción de planta concentradora integrada

Los efectos de este proyecto caso se ha evaluado como proyecto nuevo, asumiendo que los actuales ingenios dejen de operar.

7-1-3 Condiciones previas

(1) Requerimiento de capital y financiamiento

Basado en los costos de construcción estimados en la sección 6-1, se han estimado el capital requerido para la producción de concentrados y establecido los requerimientos de financiamiento de capital. Para la estimación de capital requerido se ha optado por usar dólares norteamericanos como unidad monetaria; y la conversión a moneda nacional se realizó usando el tipo de cambio vigente durante el tercer estudio in situ (junio de 1998). Aquí también se han utilizado los precios de 1998. Tipo de cambio: US\$1 = 5,50 Bolivianos (Bs)

1) Estimación del costo de inversión

Se ha estimado el costo de inversión considerando gastos de reserva para construcción (10%) al valor estimado en la sección 4-6. Los gastos de reserva están conformados por imprevistos no considerandos en los cálculos previos. Como costos de instalación del proyecto caso A, se han considerado la adquisición de mesas vibratorias para recuperación de estaño (212 unidades) y costos de técnicos (2 expertos extranjeros). Para el proyecto caso B también se ha considerado los costos de técnicos.

2) Tasa de interés durante la construcción

Se asume que el proyecto será financiado mediante préstamos de instituciones financieras internacionales, como se detallará más adelante. La evaluación asume que la tasa de interés es 6% anual y el capital requerido será financiado en su totalidad.

3) Requerimiento de capital

La estimación de los requerimientos de capital para los proyectos caso se muestran el cuadro 7-1-2. No se han considerando los siguientes ítems de costos que se requerirían para diseño a detalle:

- ① Costos de adquisición de terreno y preparación del terreno
- ② Gastos pre-operativos
- ③ Capital de trabajo adicional

Las razones de deben a que ①, la ubicación es aún indeterminado y no se han realizado estudio de suelos; ②, los gastos pre-operativos están incluidos en los costos de instalación y que los costos para capacitación de personal es bajo.

4) Financiamiento

Se ha estimado que los requerimientos de capital son financiados totalmente por instituciones financieras internacionales. Las condiciones de préstamos consisten en tasas de interés anuales de 6% y 15 años como período de devolución con 2 años de gracia (período de construcción). Tratamiento de crédito de corto plazo con una tasa de interés del 10% anual con período de devolución de un año para préstamos adicionales en caso de deficiencia.

(2) Plan de producción

Como se mencionó se utilizará como unidad monetaria el dólar norteamericano estimando precios al 1998. Como período del proyecto se establecerán 2 años para construcción y 15 años de operación; es decir un total de 17 años. En el cuadro 7-1-3 se muestran los niveles de producción de concentrados de minerales para los casos "con" y "sin" proyecto. Se han asumido que operará 330 días al año a total capacidad durante los quince años de operación; asimismo, no habrá productos almacenados siendo puestos a venta apenas se produzcan.

1) Costos operativos

Se han clasificado los costos operativos en directos (mineral crudo, materiales/servicios y personal) e indirectos (mantenimiento y costos ambientales). En el cuadro 7-1-4 se muestran los costos operativos para ambos casos. En el cuadro mencionado, el precio del mineral crudo es US\$30,00/tonelada independiente de la ley de mineral; en materiales/servicios se incluyen reactivos de flotación de minerales, energía eléctrica y agua. En el caso C se ha considerado reducción de consumo de energía, número de personal en 60 y los costos de mantenimiento 3% de los costos de inversión. Para la estimación de costos ambientales se han considerado los siguientes factores aparte a los costos de tratamiento de colas (US\$1,62/tonelada de cola tratada):

① Condiciones de financiamiento para la construcción del dique de colas

- Costo de construcción del dique de colas: US\$7.700.000

- Período de devolución de la deuda (n): 15 años

- Tasa de interés (R): 12% anual

② Ecuación para determinar el factor de recuperación de capital (CRF)

Sobre la base de las condiciones descritas arriba se define el factor de recuperación del capital con la siguiente ecuación:

$$CRF = \frac{R}{1 - (1 + R)^{-n}} = 0.14682$$

③ Costos de devolución expresados en generación de colas

Para el caso C la generación de colas de procesamiento de minerales es de 390.000 toneladas/año. De ① y ② se obtiene la estimación de devoluciones por año considerando devolución total del crédito. Estos valores se han expresado en función a la cantidad de colas generadas anualmente, denominándolo C.

Entonces,

$$C = \text{Costo de construcción del dique} \times CRF / \text{generación anual de colas}$$

$$C = \text{US\$2,9/tonelada}$$

④ Costos ambientales

De las estimaciones se obtiene que los costos ambientales son US\$4,5/tonelada.

2) Otros costos

Depreciación de instalaciones e impuestos.

① Depreciación: lineal en 15 años

② Impuesto a la renta: 25%

(3) Precio de venta

Los precios de venta de concentrados de minerales se han estimado utilizando las cotizaciones de metales de London Metal Exchange (LME) durante 1998, y las condiciones contractuales de compra y venta de concentrados adoptados por los ingenios, excepto para el caso de concentrado de estaño, que utiliza el precio de compra de concentrados por la Refinería de Vinto ubicado en Oruro. En el cuadro 7-1-5 se muestran los precios de metales de

LME en los últimos 5 años. Del cuadro se puede obtener que comparando los precios de 1998 con el promedio del quinquenio, en el caso del plomo ha caído en 15%, en el caso del zinc se ha mantenido y en el caso del estaño se ha incrementado en 11%. Por otro lado, el precio de compra de concentrados de estaño con 15% de ley de este metal es de US\$103/tonelada; es decir un valor muy inferior al precio del metal que se muestra en el cuadro. En los cuadros 7-1-7 y 7-1-8 se muestran los detalles de las estimaciones de precios de concentrados de plomo y zinc de acuerdo a la práctica de valoración por los ingenios. En el cuadro 7-1-6 se muestra los precios de venta de concentrados de estaño con la información descrita arriba.

7-1-4 Resultados de la evaluación

Basado sobre las suposiciones descritas, los proyectos caso se han evaluado con la finalidad de determinar su viabilidad, empleando factores financieros relevantes como tasa interna de retorno financiero (TIRF) de los flujos de caja proyectados. En el anexo se adjuntan los siguientes cuadros financieros.

① Programas de producción y ventas

② Estimación de resultados (ingresos/egresos)

③ Servicio de deuda a largo plazo

④ Cálculos de tasa interna de retorno financiero

Nótese que los casos A y B son análisis marginales.

En el cuadro 7-1-9 se muestran los resultados de evaluación de viabilidad económica. El cuadro resume las principales condiciones asumidas y los resultados de precios promedios de concentrados, costos de producción y TIRFs. Adicionalmente, en los cuadros 7-1-10, 7-1-11 y 7-1-12 se resumen las condiciones de los proyectos caso tratados. Finalmente, como objeto de la presente evaluación, se ha realizado la evaluación del proyecto considerando un costo de oportunidad mayor a la tasa de interés (6%) adicionando una prima de riesgo (5%), con la finalidad de compararlo con la TIRF antes de impuestos.

(1) Resultados de la evaluación

En el cuadro 7-1-13 se muestran los resultados de TIRFs basados en las condiciones establecidas. A continuación se presenta en forma sinóptica los resultados de la evaluación.

1) Proyecto caso A: Mejoramiento de procesos en ingenios existentes

Este caso ha resultado con altos beneficios con poca inversión con respecto a los otros casos. Para mayor certeza se ha supuesto la adquisición de equipos nuevos; sin embargo, si se pudiera introducir equipos usados de menor precio en forma doméstica, se podría esperar mejorar su rentabilidad. En esta etapa aún no se consideran la distribución ni traslado de ingenios. Además, se debe tomar atención al caso en que se aumente de 2 a 4 técnicos extranjeros para las necesidades de asistencia técnica, cuyo resultado de TIRF ha sido de 30,07% (antes de impuestos) que demuestra alta sensibilidad sobre la rentabilidad del proyecto.

2) Proyecto caso B: Construcción de planta de tratamiento de colas

En esta no se espera rentabilidad del proyecto. La principal razón de esta situación es la baja valorización de los concentrados de estaño. Actualmente, la Empresa Vinto realiza tratamiento por volatilización con la finalidad de aumentar la ley de concentrados de estaño. Por ello, se ha realizado análisis de sensibilidad sobre el parámetro del precio de concentrados de estaño, cuyo resultado se muestra en el cuadro 7-1-9. Se puede observar que para un rango de precios de concentrados de estaño entre US\$300,00 y US\$400,00/tonelada es posible obtener rentabilidad. Desde el punto de vista técnico, esta inversión adicional sería viable. Este caso sería materia de investigación con la finalidad de encontrar alternativas económicas para el Departamento de Potosí.

3) Proyecto caso C: Construcción de planta concentradora integrada

El proyecto muestra en forma razonable altos niveles de rentabilidad, a pesar de factores desfavorables como son el bajo precio de concentrados de estaño y la adición de costos ambientales. En consecuencia, estos resultados indican buen prospecto para justificar la promoción y ejecución del presente proyecto de desarrollo tecnológico.

(2) Conclusiones

Considerando los resultados de la evaluación de los proyectos caso, creemos que se requiere de cooperación de instituciones financieras internacionales, de tal modo que se tenga acceso a crédito con bajas tasas de interés (nivel de LIBOR) para su ejecución. Sin embargo, se estima en alrededor de 12% la tasa de interés para el proyecto de financiamiento del dique de colas. Esta condición, creemos dificultará las operaciones de los ingenios. En conclusión, creemos el flujo de caja de los ingenios se verá complicada si no se tiene acceso a financiamiento con bajas tasas de interés.

Cuadro 7-1-1 Detalle de Proyectos Caso

Caso	Proyecto	Período de planeamiento
A	Mejoramiento de procesos en Ingenios existentes	Corto
B	Construcción de planta de recuperación de estaño	Mediano
C	Construcción de planta concentradora integrada	Largo

Cuadro 7-1-2 Detalle de requerimientos de capital

(Unidad: millón US\$)

Item	Caso A	Caso B	Caso C
Costo de inversión	2,02	30,35	48,95
Tasa interés durante construcción	0,13	1,95	3,13
Total	2,15	32,30	51,72

Cuadro 7-1-3 Detalle de concentrados

(Unidad: ton/día)

Concentrados	Sin Caso	Con Caso		
		Caso A	Caso B	Caso C
Pb*	22.6	24.1	24.1	24.0
Zn*	245.5	252.9	252.9	262.5
Sn	-	7.6	32.8	32.8

(Nota) *: Incluye Ag

Cuadro 7-1-4 Detalle de costos operativos

Items	Unidad	Sin Caso	Con Caso		
			Caso A	Caso B	Caso C
1) Mineral crudo	Ton/día	1.327	1.327	1.327	1.500
2) Colas	Ton/día	1.059	1.042	1.017	1.181
3) Costos directos					
- Mineral crudo	\$/T	30,0	30,0	30,0	30,0
- Materiales/servicios	\$/T	6,5	6,5	6,5	4,5
- Personal	\$/T	1,5	1,5	1,5	0,7
4) Costos indirectos					
- Costo mantenimiento	\$/T	2,0	2,0	2,0	2,9
- Costo ambiental	\$/T-T	4,5	4,5	4,5	4,5

(Nota) T: tonelada de mineral crudo, T-T: tonelada de colas

Cuadro 7-1-5 Tendencias de cotizaciones de metales en LME

Año	Pb (\$/T)	Zn (\$/T)	Sn (\$/T)	Ag (\$/TOZ)
1994	548	998	5464	5,4
1995	631	1031	6214	5,1
1996	774	1027	6165	5,7
1997	633	1301	5669	4,9
1998	533	1047	5481	6,0
Promedio de 5 años	624	1081	5799	5,4

(Fuente) 1) Pb, Zn and Sn: LME 3 month buyer

2) Ag: LME Spot

Cuadro 7-1-6 Detalle de precios de venta

Productos	Sin Caso	Con Caso		
		Caso A	Caso B	Caso C
Pb	578	578	578	705
Zn	246	246	246	260
Sn		103	103	103

Cuadro 7-1-7 Cálculo del precio F.O.B. de concentrado de Pb incluido Ag

Items	Actual	Futuro (Objetivo)	Observaciones
1. Condiciones de calidad			
1) Calidad			
- Pb	40.0 %	45.0 %	(60,0%)
- Ag	4500 g/t	5060 g/t	
2) Precio de mercado (LME)			
- Pb	533 \$/t	533 \$/t	
- Ag	0.19 \$/g	0.19 \$/g	
3) Otros			
- Humedad	10.0 %	10.0 %	
- Zn	15.0 %	10.0 %	
2. Valorización de concentrados			
1) Pb	180 \$/t	205 \$/t	(281)
2) Ag	804	905	$(0,95 \times (\text{Ley de Ag} - 46,66\text{g/t}) \times \text{Precio de Ag})$
3) Valor después del descuento de 1,0 \$/T	973	1098	(1186)
4) T/C	259	259	$(0,99 \times (\text{Valor de conc. Pb} + \text{Valor de conc. Ag} - 1,0\$/t))$ Precio de Pb menor a 550 \$/T
5) R/C	63	71	Ley de Ag $\times 14,0\$/\text{kg}$
6) Cargos comerciales (CC)	9	9	$10,0\$/\text{wt} / 1,1\text{t}/\text{wt}$
7) Cargos de transporte (TC)	54	54	$59,0\$/\text{wt} / 1,1\text{t}/\text{wt}$
8) Penalidad sobre Zn mayores al 10%	10	-	$2,0\$/\text{t} \times (\text{Ley de Zn} - 10,0\%)$
9) Costo total	395	393	Suma de 4) y 8)
10) Precio FOB	578	705	$(793) - 9)$

Cuadro 7-1-8 Cálculo del precio F.O.B. de concentrado de Zn incluido Ag

Ítems	Actual	Futuro (Objetivo)	Observaciones
1. Condiciones de calidad			
1) Calidad			
- Zn	50.0 %	51.0 %	(55,0%)
- Ag	1000 g/t	1040 g/t	
2) Precio de mercado (LME)			
- Zn	1047 \$/t	1047 \$/t	
- Ag	0.19 \$/g	0.19 \$/g	
3) Otros			
- Humedad	10.0 %	10.0 %	
2. Valorización de concentrados			
1) Zn	440 \$/t	450 \$/t	(Ley de Zn - 8,0%) × Precio de Zn
2) Ag	108	113	0,65 × (Ley de Ag - 124,41 g/t) × Precio de Ag
3) Valor después de descuento de 1,0 \$/T	542	556	0,99 × (Valor conc. Zn + Valor conc. Ag - 1,0 \$/t)
4) T/C	233	233	225 \$/t + 0,16 × (Precio de Zn - 1000 \$/t)
5) Carga comercial (CC)	9	9	10,0 \$/wt / 1,1t/wt
6) Cargos de transporte (TC)	54	54	59,0 \$/wt / 1,1t/wt
7) Costo total	296	296	Suma de 4) y 6)
8) Precio FOB	246	260	3) - 7)

Cuadro 7-1-9 Síntesis de Resultados Financieros

Item	Caso A (Mejoramiento Ingenios)		Caso B (Recuperación Sn)		Caso C (Planta Integrada) Con proyecto
	Con proyecto	Sin proyecto	Con proyecto	Sin proyecto	
1. Capacidad de tratamiento mineral crudo, TPD	1327	1327	1327	1327	1500
Cantidad de metal					
-Pb, TPD	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
-Zn, TPD	150.0	150.0	150.0	150.0	150.0
-Ag, kg/T	464.5	464.5	464.5	464.5	464.5
-Su, TPD	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
2. Productos, TPD					
-Concentrado de Pb	24.1	22.6	24.1	22.6	24.0
-Concentrado de Zn	252.9	245.5	252.9	245.5	262.5
-Concentrado de Sn	7.6	-	32.8	-	32.8
3. Requerimiento de capital, US\$, MM	2.15	-	32.3	-	51.72
4. Precio unitario de venta, US\$/Ton-mineral	58.0	55.3	59.9	55.3	59.0
5. Costo unitario de producción, US\$/Ton-mineral	44.0	43.6	50.4	43.6	51.7
6. TIRF de la inversión, %					
-Antes de impuestos	46.72	-	0.22	-	14.26
-Después de impuestos	(38.66)	-	(0.22)	-	(12.59)
7. Análisis de sensibilidad antes de impuestos, % (Precio de Sn en 1998: 103US\$/Ton al 15% de ley)					
-Precio de venta Sn, 100% incremento	-	-	5.81	-	16.59
-Precio de venta Sn, 200% incremento	-	-	10.38	-	18.81
-Precio de venta Sn, 300% incremento	-	-	14.40	-	20.94

Cuadro 7-1-10 Perfil de Proyecto (Caso A)

1. Proyecto		4. Costos operativos
Título	: Mejoramiento de Ingenios	Mineral crudo
Ubicación	: Potosí, Bolivia	Material/Servicios
Proyecto Caso	: Base Caso A	Personal
Productos (100%)	: Pb; 24,1 TPD, Zn; 252,9 TPD	Mantenimiento
Días operación	: Sn; 7,6 TPD	Costos ambientales
Capacidad instalada	: 330	para DCSA
Unidad monetaria	: Mineral crudo: 1.327 TPD	
Tipo de cambio	: US\$ en valores presentes de 1998	5. Otras suposiciones
	: US\$1,00 = 5,5 Bolivianos (Bs)	Tasa interés
2. Precio de concentrados		Depreciación
Pb	: 578 US\$/Ton	Tasa impuesto renta
Zn	: 246 US\$/Ton	
Sn	: 103 US\$/Ton	
3. Requerimiento de financiamiento		
Construcción de planta	: 1,56 US\$, MM	
Asistencia técnica	: 0,46 US\$, MM	
Interés durante construc.	: 0,13 US\$, MM	
Total	<u>2,15 US\$, MM</u>	
		30,0 US\$/Ton
		6,5 US\$/Ton
		1,5 US\$/Ton
		2,0 US\$/Ton
		4,5 US\$/Ton-colas
		6,0 %
		15,0 años
		25,0 %

Cuadro 7-1-11 Perfil de Proyecto (Caso B)

1. Proyecto			
Título	:	Planta de recuperación de Sn	
Ubicación	:	Potosí, Bolivia	
Proyecto Caso	:	Base Caso B	
Productos (100%)	:	Pb; 24,1 TPD, Zn; 252,9 TPD	
	:	Sn; 32,8 TPD	
Días operación	:	330	
Capacidad instalada	:	Mineral crudo: 1.327 TPD	
Unidad monetaria	:	US\$ en valores presentes de 1998	
Tipo de cambio	:	US\$1,00 = 5,5 Bolivianos (Bs)	
2. Precio de concentrados			
Pb	:	578 US\$/Ton	
Zn	:	246 US\$/Ton	
Sn	:	103 US\$/Ton	
3. Requerimiento de financiamiento			
Construcción de planta	:	29,89 US\$, MM	
Asistencia técnica	:	0,46 US\$, MM	
Interés durante construc.	:	1,95 US\$, MM	
Total		<hr/>	
		32,30 US\$, MM	
4. Costos operativos			
Mineral crudo	:		30,0 US\$/Ton
Materiales/Servicios	:		6,5 US\$/Ton
Personal	:		1,5 US\$/Ton
Mantenimiento	:		2,0 US\$/Ton
Costos ambientales para DCSA	:		4,5 US\$/Ton-colas
5. Otras suposiciones			
Tasa interés	:		6,0 %
Depreciación	:		15,0 años
Tasa impuesto renta	:		25,0 %

Cuadro 7-1-12 Perfil de Proyecto (Caso C)

1. Proyecto			
Título	: Planta integrada		
Ubicación	: Potosí, Bolivia		
Proyecto Caso	: Base Caso C		
Productos (100%)	: Pb; 24,0 TPD, Zn; 262,5 TPD		
	: Sn; 32,8 TPD		
Días operación	: 330		
Capacidad instalada	: Mineral crudo: 1.500 TPD		
Unidad monetaria	: US\$ en valores presentes de 1998		
Tipo de cambio	: US\$1,00 = 5,5 Bolivianos (Bs)		
2. Precio de concentrados			
Pb	: 705 US\$/Ton		
Zn	: 260 US\$/Ton		
Su	: 103 US\$/Ton		
3. Requerimiento de financiamiento			
Construcción de planta	: 48.59 US\$, MM		
Asistencia técnica	: - US\$, MM		
Interés durante construc.	: 3.13 US\$, MM		
Total	: 51.72 US\$, MM		
4. Costos operativos			
Mineral crudo	: 30.0 US\$/Ton		
Materiales/Servicios	: 4.5 US\$/Ton		
Personal	: 0.7 US\$/Ton		
Mantenimiento	: 2.9 US\$/Ton		
Costos ambientales para DCSA	: 4.5 US\$/Ton-colas		
5. Otras suposiciones			
Tasa interés	: 6.0 %		
Depreciación	: 15.0 años		
Tasa impuesto renta	: 25.0 %		

Cuadro 7-1-13 Resultados de Tasa Interna de Retorno Financiero

(Unidad: %)

TIRF	Case A	Case B	Case C
Antes de impuestos	46,72	0,22	14,26
Después de impuestos	36,66	0,22	12,59

7-2 Evaluación económica

7-2-1 Metodología de evaluación

En la presente evaluación se tomará en cuenta lo citado en la sección 4-3. Es decir, la evaluación económica se hará en función al cálculo de pérdida del costo de oportunidad que origina la contaminación de aguas.

7-2-2 Materia de evaluación

- ① Construcción de la planta concentradora integrada incluido el dique de colas de San Antonio (DCSA).
- ② Medidas de prevención de contaminación de aguas debida a efluentes de origen minero.
- ③ Reforestación de antiguos depósitos de minerales y colas de procesamiento de minerales.
- ④ Instalación de sistema de monitoreo ambiental.
- ⑤ Instalación del centro de investigaciones de asuntos ambientales y seguridad.

7-2-3 Consideraciones

- ① La moneda , el tipo de cambio y precios ídem a la evaluación financiera.
- ② No considerar los beneficios tributarios.
- ③ Precios de bienes de importación a precios internacionales y precios de bienes locales a precios del mercado local.

7-2-4 Cálculo de beneficios

(1) Premisas

1) Sector materia de evaluación

De acuerdo a la sección 4-3 se considerarán los sectores agricultura y ganadera para el cálculo del costo de oportunidad perdido. La pesca se excluirá debido a que no se cuenta con información completa para la zona del estudio. Asimismo, se excluyó la pérdida por disminución del valor agregado del trabajo de la población, debido a que la menor tiempo de vida promedio no se ha podido correlacionar directamente a la contaminación.

2) Ambito de alcance

A continuación se describen las áreas de afectación dependiendo del área de la cuenca que se tome en consideración para la evaluación.

Clasificación	Cuenca total del río Pilcomayo		Cuenca del río Pilcomayo en forma parcial	
	Agricultura (Ha)	Ganadería (Km ²)	Agricultura (Ha)	Ganadería (Km ²)
Departamento de Potosí	42.224	21.500	1.898	4.300*
Otros departamentos	89.102	27.700	4.007*	5.540*

* Incluyen los departamentos de Chuquisaca y Tarija. La cuenca del río Pilcomayo en forma parcial se refiere al área de la cuenca del río Pilcomayo entre el río De la Ribera y el río Pilcomayo hasta el puente Méndez.

3) Establecimiento de tasa de contribución al disponer de agua limpia

Se establecerá como 50% la tasa de contribución al disponer agua limpia para los sectores agrícola y ganadera. Entonces, para la zona del estudio, se tienen las siguientes tasas de contribución. La tasa de contribución se define como la tasa de contribución real por la tasa de utilización.

Clasificación	Cuenca total del río Pilcomayo	Cuenca del río Pilcomayo en forma parcial
Departamento de Potosí	$25\% = 50\% \times 50\%$	$50\% = 50\% \times 100\%$
Otros departamentos	$12.5\% = 50\% \times 25\%$	$25\% = 50\% \times 50\%$

(2) Cálculo de beneficios

1) Agricultura

- ① Se considerará la pérdida del costo de oportunidad la diferencia con respecto al índice del sector en el ámbito nacional. Y para zonas con potencial agrícola se usarán los promedios nacionales.
- ② El costo de oportunidad se calculará convirtiendo los valores a dólares norteamericanos y actualizando con una tasa anual del 3%.
- ③ Sobre el costo de oportunidad se afectará la tasa de recuperación de agua para el cálculo de costo de oportunidad efectiva.

2) Ganadería

① El costo de oportunidad se calculará en base a la pérdida de productividad a la mitad en zonas afectadas por contaminación y su diferencia con respecto a la productividad promedio.

② El costo de oportunidad efectiva se calculará ídem al caso del sector agrícola.

3) Beneficios

A continuación se muestran los costos de oportunidad efectivos perdidos. En el cuadro 7-2-1 se presentan los detalles del mismo.

(Unidad: US\$1.000)

Clasificación	Agricultura	Ganadería	Total
Cuenca total del río Pilcomayo			
Departamento de Potosí	1.060	511	1.571
Otros departamentos	1.312	2.370	3.682
Total	2.372	2.881	5.253
Cuenca del río Pilcomayo (parcial)			
Departamento de Potosí	162	204	366
Otros departamentos	185	948	1.133
Total	347	1.152	1.499

7-2-5 Cálculo de costos

(1) Costo de inversión

A continuación se presentan los costos de inversión excepto para la planta concentradora integrada.

(Unidad: US\$1.000)

Item	Costo de inversión
Medidas de prevención de contaminación de aguas debida a efluentes de origen minero.	1.670
Reforestación de antiguos depósitos de minerales y colas de procesamiento de minerales.	1.420
Instalación de sistema de monitoreo ambiental.	910
Instalación del centro de investigaciones de asuntos ambientales y seguridad.	2.500
Total	6.500

(2) Costos operativos

A continuación se presentan los costos operativos.

(Unidad: US\$1.000)

Clasificación	Cuenca total del río Pilcomayo	Cuenca del río Pilcomayo en forma parcial
Departamento de Potosí	650	488
Otros departamentos	1.300	650

7-2-6 Resultados de la evaluación

En el cuadro 7-2-2 se muestran los detalles de los resultados de evaluación de los casos proyecto descritos arriba en función a tasa interna de retorno (TIRE). Como se citó en el acápite 7-2-2, la TIRE para el proyecto de construcción de planta concentradora integrada es 14,26%. Los cálculos se adjuntan en el anexo.

En la presente evaluación se analizaron los costos de oportunidad para los sectores agrícola y ganadera. Es decir, los beneficios de contar con agua limpia para estas actividades. También con el fin de comparar dos situaciones se hizo la evaluación para el caso de la cuenca del río Pilcomayo limitándose desde el río De la Ribera y el río Pilcomayo hasta el puente Méndez, y el caso de la cuenca del río Pilcomayo en su integridad abarcando a los departamentos de Chuquisaca y Tarija. Los proyectos caso son:

Proyecto	Item
D-1	La cuenca del río Pilcomayo en su integridad para el Departamento de Potosí
D-2	La cuenca del río Pilcomayo limitado para el Departamento de Potosí
E-1	La cuenca del río Pilcomayo en su integridad incluyendo a los otros departamentos
E-2	La cuenca del río Pilcomayo limitado incluyendo a los otros departamentos

El caso C corresponde al proyecto de construcción de planta concentradora integrada de la evaluación financiera. Los proyectos que se presentan arriba más el caso C para cada proyecto se consideran como proyectos integrales y los proyectos sin considerar el caso C, como proyectos independientes. Para proyectos independientes, el caso D-2 no es factible y el caso D-11 supera la tasa de retorno del 11%. Incluyendo a otros departamentos, caso E-1 resultó

aún más factible. Para proyectos integrales, el peor de casos se presenta limitándose a Potosí (caso D-2); aún para este caso la tasa de retorno superó el 11%. El caso D-1 es ligeramente inferior al caso C.

Finalmente, debido a que esta evaluación se limitó a los sectores agrícola y ganadera, se espera que evaluando todos los sectores, los beneficios al aplicarse las medidas propuestas serían aún mayores. Además, se puede hacer énfasis sobre la relevancia de la planta concentradora integral para los casos proyecto integrales. Es decir, el gran impacto que tendría para Potosí la contribución de los ingenios.

Cuadro 7-2-1 Cálculo del Costo de Oportunidad en los Sectores Agrícola y Ganadero (1/2)

1. Agriculture

	Potosi	Chuquisaca
1) Wide Area of Pilcomayo River		
-Arable Land (10 ³ ha)	116	149
-Difference of Agriculture Production (Bs/ha)	370	434
-Wide Arable Land of Pilcomayo (10 ³ ha)	42.2	89.1
-Amounts of Opportunity Loss (10 ³ Bs, 1993)	15,623	38,669
-Amounts of Opportunity Loss (10 ³ \$, 1993)	3,659	9,056
-Amounts of Opportunity Loss (10 ³ \$, 1998)	4,240	10,496
-Net Amounts of Opportunity Loss (10 ³ \$, 1998)	1,060	1,312
(Contribution Rate)	(25%)	(12.5%)
Limited Basin of Pilcomayo River		
-Existing Arable Land (ha)	1,537 (81%)	3,246 (81%)
-Newly Available Land (ha)	361 (19%)	761 (19%)
Total of Basin	1,898 (100%)	4,007 (100%)
-Amounts of Opportunity Loss (1993)		
-Existing (10 ³ Bs)	569	1,409
-Newly (10 ³ Bs)	622	1,311
-Total (10 ³ Bs)	1,191	2,720
-Amounts of Opportunity Loss (10 ³ \$, 1993)	279	637
-Amounts of Opportunity Loss (10 ³ \$, 1998)	323	738
-Net Amounts of Opportunity Loss (10 ³ \$, 1998)	162	185
(Contribution Rate)	(50%)	(25%)

Cuadro 7-2-1 Cálculo del Costo de Oportunidad en los Sectores Agrícola y Ganadero (2/2)

2. Stock-breeding

1) Wide Area of Pilcomayo River

	Potosi	Chuquisaca	Tarija
-Annual Breeding Production (10 ³ Bs, 1993)	33,807	95,904	59,526
-Basin Area (10 ³ km ²)	43.0	30.8	24.6
	(36.4%)	(59.8%)	(65.4%)
Non-pollution	21.5	15.4	12.3
	(18.2%)	(29.9%)	(32.7%)
Pollution (Assumed as reduction of productivity by half)	21.5	15.4	12.3
	(18.2%)	(29.9%)	(32.7%)
-Out of Basin Area (10 ³ km ²)	75.2	20.7	13.0
	(63.6%)	(40.2%)	(34.6%)
-Available Area (10 ³ km ²)	96.7	36.1	25.3
	(81.8%)	(70.1%)	(67.3%)
-Average Breeding (Bs/km ²)	350	2,657	2,353
-Amounts of Opportunity Loss (10 ³ Bs, 1993)	7,525	40,918	28,942
-Amounts of Opportunity Loss (10 ³ \$, 1993)	1,762	9,583	6,778
-Amounts of Opportunity Loss (10 ³ \$, 1998)	2,042	11,107	7,856
-Net Amounts of Opportunity Loss (10 ³ \$, 1998) (Contribution Rate)	511 (25%)	1,388 (12.5%)	982 (12.5%)

2) Limited Basin of Pilcomayo River

-Polluted Basin (10 ³ km ²) 20% of item 1)	4.30	3.08	2.46
-Average Breeding (Bs/km ²)	350	2,657	2,353
-Amounts of Opportunity Loss (10 ³ Bs, 1993)	1,505	8,184	5,788
-Amounts of Opportunity Loss (10 ³ \$, 1993)	352	1,917	1,356
-Amounts of Opportunity Loss (10 ³ \$, 1998)	408	2,221	1,571
-Net Amounts of Opportunity Loss (10 ³ \$, 1998) (Contribution Rate)	204 (50%)	555 (25%)	393 (25%)

Cuadro 7-2-2 Cuadro Sinóptico de Tasas Internas de Retorno Económico (TIRE)

1. Base Case: Results in case water improvement is completely attained

(Unit: %)

No.	Project Case	Overall Case (TIRE 1)	Single Case (TIRE 2)
C	Integrated Plant	14.26	--
D-1	Wide Area of Pilcomayo in Potosi	13.83	11.42
D-2	Limited Basin of Pilcomayo in Potosi	11.78	Negative
E-1	Wide Area of Pilcomayo in All the Prefectures	19.29	48.77
E-2	Limited Basin of Pilcomayo in All the Prefectures	13.69	9.12

Capítulo 8

Plan de Ejecución de Propuestas

Las medidas que deben adoptarse para el mejoramiento de la situación de contaminación debida a la actividad minera en el Departamento de Potosí, clasificando en corto (medidas que deben adoptarse urgentemente), mediano y largo plazo (medidas que deben adoptarse en forma permanente); de acuerdo al grado de urgencia y capacidad de financiamiento que se requieren. Estas medidas, si bien pueden adoptarse en forma independiente, debido a las relaciones mutuas que existen entre ellas, es posible obtener mejoramientos en forma integral. La consecución de éstos en forma sistemática será posible mediante la instalación del centro de investigaciones de asuntos ambientales y seguridad.

En consecuencia, como conclusión del presente estudio, se requiere de la adopción de medidas propuestas de modo permanente y llevarla a cabo de modo sistemático e integrando cada uno de sus componentes. Para ello se recomienda la pronta instalación del Centro de Investigación del Medio Ambiente y Prevención de Contaminación.

8-1 Acciones que se deberán tomar a corto plazo (urgente)

① Erradicación de vertimiento de colas de los ingenios a los ríos (se requiere de instalaciones [H])

Debido a que el impacto sobre la contaminación de aguas es grande, se deberá eliminar el vertimiento de colas de ingenios a los ríos mediante su tratamiento (se encuentra en proceso el proyecto de dique de colas con asistencia Alemana).

② Mejoramiento de procesos en los ingenios (se requiere de tecnología [S] e instalaciones [H])

Consiste en elevar la tasa de recuperación de minerales en los ingenios. En el caso del zinc elevar su tasa de recuperación al 90% del actual que no alcanza al 80%, y del mismo modo para plomo, plata y estaño. A pesar que, lograr la situación idónea es inherente al esfuerzo propio del sector empresarial, se requiere de asistencia técnica internacional de corto plazo hasta alcanzar los niveles deseados.

③ Formación de Sistema de Monitoreo ([S], [H])

- Como parte de la organización de gestión ambiental, se requiere establecer dentro de la estructura de la Prefectura del Departamento de Potosí, una institución para que se haga cargo del sistema de monitoreo, que permita el reconocimiento de la situación de contaminación y acción mediata ante ella (se requiere de tecnología [S]). Es una medida que debe ser adoptada por aparte de Bolivia. Se requiere de asistencia técnica para el establecimiento del sistema.
- Se requiere reforzar las instalaciones de monitoreo y análisis ambientales ([H]).

④ Capacitación y educación de recursos humanos ([S])

Lograr la "conscientización" en toda la población de que es posible el mejoramiento del hábitat de acuerdo a la forma de actuar de sí, mediante capacitación y educación abarcando desde el personal involucrado en gestión ambiental hasta los ciudadanos comunes. El Estado Boliviano y la Prefectura del Departamento de Potosí deben capacitar e instruir a su personal con la finalidad de que éste transmita sus conocimientos en forma permanente. Se debe en primer lugar capacitar e instruir con asistencia de consultoras involucrando Universidades, Escuelas Superiores, Organismos No Gubernamentales y otras organizaciones privadas, empleando medios como la televisión y prensa.

8-2 Acciones que se deben adoptar a mediano plazo

(1) Acciones que se deben adoptar durante la primera mitad del mediano plazo

⑤ Medidas de prevención de contaminación por efluentes ácidos

Al resolver los problemas de vertimiento de colas de ingenios de carácter alcalino, se verá agravar la problemática de efluentes ácidos. En la zona del estudio, es posible clasificar en dos grupos las fuentes de contaminación ácida. Por un lado, el drenaje de aguas de mina y por otro las infiltraciones provenientes de desmontes y "sucos". La variabilidad estacional de aguas de mina es poca con relación a las infiltraciones de desmontes y "sucos", ya que éstos dependen de la cantidad de aguas de lluvias que caen sobre ellos. Como parte del estudio del KfW de Alemania se considera tratar parte de los efluentes ácidos en forma conjunta con las colas de ingenios. Sobre aquellos que no sean posibles el tratamiento en forma conjunta, se requieren tratarlos en forma independiente. En este caso, el método idóneo es la precipitación de

metales iónicos mediante neutralización. Se recomienda la ejecución por la parte Boliviana con asistencia de consultores de amplia experiencia.

⑥ Establecimiento del centro de investigaciones de asuntos ambientales y seguridad

El establecimiento de este centro es la base de las propuestas de solución integral abarcando desde medidas de corto plazo hasta medidas de largo plazo que deben ser aplicados en forma permanente. El centro sería establecido dentro de las instalaciones de la Universidad Autónoma Tomás Frías.

Tendrá como objetivo la capacitación en los temas que se describen a continuación. Sería dirigida por la Prefectura del Departamento de Potosí y estaría compuesta por ésta, la Municipalidad, Universidad Autónoma Tomás Frías y otras organizaciones relacionadas (Asociación de ingenios, Organismos No Gubernamentales, etc.).

La capacitación sería dirigida a los funcionarios de las instituciones mencionadas. Los temas a tratar serían los siguientes:

- Prevención de contaminación debida a la actividad minera (tratamiento de efluentes).
- Procesamiento de minerales (incremento de tasa de recuperación y mejoramiento de calidad de colas).
- Sistema de monitoreo.
- Gestión ambiental.
- Análisis relacionado con asuntos ambientales y prevención de contaminación.

Los objetivos de instalación consisten en mejorar permanentemente la calidad de aguas, en los cauces de los ríos desde la Ciudad de Potosí hasta el río Pilcomayo y otros cauces con similar problemática, mediante prevención de contaminación debida a la actividad minera; mejoramiento permanente del medio ambiente del Departamento de Potosí mediante la aplicación de sistemas de gestión ambiental y de monitoreo por parte de la Prefectura y logrando la "conscientización" de la población en asuntos relacionados a protección ambiental. Asimismo tendría las funciones de ser el centro de investigación en el ámbito nacional, especializado para problemas de contaminación del sector minero.

⑦ Establecimiento de sistema de gestión ambiental, normas de calidad de emisiones y sanciones

Se requiere establecer una organización que conduzca en forma permanente, eficiente y con autoridad la gestión ambiental de la región. Además debe contar con sistemas de monitoreo. Por un lado, se requiere establecer un sistema de control ambiental que ejecute con eficiencia la legislación y normas ambientales (normas de emisiones y sanciones). Con la finalidad de acondicionar la integración de los ingenios, se requiere instruir con firmeza y aplicar sistemas de subvenciones.

- Se realizaría por la parte Boliviana con asesoramiento de expertos en gestión ambiental (consultoría).

⑧ Reforestación de antiguos depósitos de colas

Se requiere realizar reforestación sobre antiguos depósitos de colas de minerales que se encuentran en los alrededores de la Ciudad de Potosí, como los de la zona de San Miguel, con la finalidad de prevenir la generación de efluentes ácidos en contacto con aguas de lluvias; mejoramiento del panorama y rehabilitación del hábitat. Especialmente, para la Ciudad de Potosí, en donde es posible observar actividades mineras abandonadas y requiere fomentar la actividad turística, la prevención de contaminación debida a la actividad minera y protección del panorama son factores de vital importancia. Debido a que las colas están formadas con compuestos inorgánicos, plantar sobre ellas es muy difícil, requiriendo cubrirlas con tierras fértiles que significan altos costos. Sin embargo, es una tarea importante para prevenir infiltraciones de agua.

- Se debe iniciar investigaciones sobre métodos de vegetación adecuados, con asistencia de expertos (consultores) que tengan conocimiento sobre prevención de contaminación debida a la actividad minera.

(2) Acciones que se deben tomar durante la segunda mitad de mediano plazo

⑨ Instalación de planta de tratamiento de colas y planta de reciclaje de agua de rebose

Instalación de una planta de 1.500 toneladas/día de capacidad, para tratar las colas provenientes de los ingenios aguas arriba del punto alimentación al Dique de Colas de San Antonio, con la finalidad de recuperar metales económicamente valiosos remanentes.

Esta planta se diseñaría de modo que se pueda adaptarla al proceso de la futura planta concentradora integrada. Con la instalación de esta planta se lograrían los siguientes objetivos:

- Extensión de vida útil del dique de colas.
- Mejoramiento de calidad de colas que se descarguen al dique de colas.
- Cobertura de costos ambientales mediante recuperación de metales económicamente valiosos.
- Estabilidad y mejoramiento de calidad de aguas de reciclaje.
- Estabilidad de operaciones de los ingenios que usen aguas de reciclaje.

8-3 Acciones que se deben adoptar a largo plazo

Ⓜ Relleno de galerías con colas de ingenios

Con el objeto de retornar a su propia naturaleza, se recomienda retornar las colas de los ingenios como relleno para galerías de mina. Para ello se requiere tecnología relacionada con transporte de lodos y métodos de relleno.

Ⓜ Instalación de planta concentradora integrada

- Instalación de una planta concentradora integrada que permita procesar en un sólo lugar (en la parte superior de la zona proyectada para DCSA) la totalidad de los minerales (1.500 toneladas/día) del Cerro Rico de Potosí que son procesados actualmente en los ingenios.
- Para su diseño se deberá considerar la adaptación de la planta de tratamiento de colas como parte de su proceso. Con la instalación de esta planta los minerales del Cerro Rico de Potosí serían procesados bajo técnicas que permitan tasas de recuperaciones del orden internacional sin generar contaminación.

Al plasmar todo lo descrito arriba, se contaría con una zona industrial específica para procesamiento de minerales en la parte superior al Dique de Colas de San Antonio, situación que permitiría tomar con eficiencia las medidas de prevención de contaminación minera y protección ambiental.

Por otro lado, desaparecerían los ingenios de la Ciudad de Potosí, mejorando el hábitat y aspecto panorámico de la zona urbana.

Con la ejecución de todo lo anterior, se contaría con una zona industrial en el lugar programado para construir DCSA. Con ello, se facilitarían la prevención de contaminación debida a la actividad de los ingenios y la protección del medio ambiente.

Por otro lado, al desaparecer los ingenios de la ciudad, habrá mejoramiento de la calidad de vida de la población y se tendrá un mejor panorama en la zona urbana. Adicionalmente, se facilitará el tratamiento de residuos gracias a la clasificación de efluentes.

⑫ Establecimiento de sistema de monitoreo para la cuenca del río Pilcomayo

Con la finalidad de mantener el mejoramiento de la calidad de aguas en la cuenca del río Pilcomayo desde el río De la Ribera, se debe establecer un sistema de monitoreo para la totalidad de la cuenca del río Pilcomayo que permita en forma permanente, reconocimiento de la situación y reacción mediatos.

8-4 Sumario

En el cuadro 8-2 y figura 8-1 se da el ejemplo para el caso de carga contaminante debida al cadmio. Aquí se hace notar los resultados de aplicar las propuestas ① al ⑫ que se presentaron en los acápite que anteceden.

La figura 8-1 es un estimado de la acumulación de contaminación por cadmio al año 2015, en caso se mantienen las condiciones actuales hasta esa fecha. En ella se puede observar que la cantidad de cadmio que se vierte al río De la Ribera será aproximadamente 610 toneladas; si se aplicaran las medidas mencionadas, ésta cifra podría bajar a 230 toneladas.

Este esquema se puede ampliar para los demás elementos contaminantes de aguas de la región. En el cuadro 8-3 se presentan los presupuestos requeridos para ejecutar las propuestas del presente estudio.

Cuadro 8-1 Plan de Ejecución de Propuestas

	Propuesta	Corto Plazo	Mediano Plazo	Largo plazo
1. Plan de prevención de contaminación minera	① Suspensión vertimiento de colas ② Mejoramiento proceso: ingenios ③ Tratamiento de efluentes ácidos ④ Reforestación depósitos de desechos mineros ⑤ Planta tratamiento de colas ⑥ Planta concentradora integrada ⑦ Recuperación metales valiosos/desechos ⑧ Organización, sistema monitoreo ⑨ Revisión legislación, normas ambientales ⑩ Sistema monitoreo Pilcomayo			
2. Plan de gestión ambiental	① Organización, sistema monitoreo ② Revisión legislación, normas ambientales ③ Sistema monitoreo Pilcomayo			
3. Actividades en el Centro de Investigaciones	④ Capacitación e instrucción Plan de prevención de contaminación			
Plan de gestión ambiental	⑤ Análisis técnico financiero planta tratamiento colas y sistema reciclo de agua ⑥ Análisis técnico financiero procesamiento de minerales ⑦ Análisis técnico financiero tratamiento de efluentes ⑧ Análisis técnico financiero reforestación ⑨ Análisis técnico financiero tratamiento de colas ⑩ Análisis técnico financiero planta integrada ⑪ Análisis técnico financiero recuperación metales valiosos/desechos ⑫ Introducción sistema de monitoreo y técnicas de simulación (incremento progresivo) ⑬ Verificación de legislación ambiental, elaboración de informe ambiental, aplicación de indicadores ambientales, organización ejecutiva, capacitación (incremento progresivo) ⑭ Establecimiento y mejoramiento progresivo del sistema de monitoreo para la cuenca del Pilcomayo			

Origen	Originante	Mecanismo	Contaminante	Caudal	Carga de Cd	Forma de Cd	pH	Medidas
1	Planta concentrad. Colas	Mineral no liberado Reactivos flotación	Lodos con metales Reactivos y álcalis	6.000ton/día*1 69lit/seg	67,5kg/día*2	S.S.	11 a 12	1.Mejora proceso 2.DCSA (KFW) 3.Equipo análisis amb. 4.Equipo monitoreo 6.Centro investigación 7.Retramiento colas 8.Reciclaje efluente 11.Planta conc. Integral
2	Bocamina	Lluvia, filtración Generación ácido Lixiviación metales	Metales disueltos Agua ácida	777ton/día*3 9lit/seg	7,8Kg/día*4 (10mg/lit)	ion	1 a 2	5.Tratamiento agua ácida 2.DCSA (KFW) 3.Equipo análisis amb. 4.Equipo monitoreo 6.Centro investigación
3-1	Desmontes	Lluvias Generación ácido Lixiviación metales	Metales disueltos Agua ácida	Estiaje: 4.320ton/día*5 50lit/seg	9,5kg/día*6 (2,2mg/lit)	ion	2 a 3	5.Tratamiento agua ácida 9.Forestación 10.Relleno mina/colas 2.DCSA (KFW)
3-2	Diques antiguos Sn gravimetría	Lluvias Generación ácido Lixiviación metales	Metales disueltos Agua ácida	Lluvias				3.Equipo análisis amb. 4.Equipo monitoreo 6.Centro investigación
3-3	Diques antiguos Pb, Zn flotación	Lluvias Generación álcali	Metales remanentes Agua alcalina					12.Recuperac. Metales x.Trat. Efluentes (KFW)
4	Población	Desagües Desechos	Orgánicos, bacteria Amonio, etc.	13.478ton/día 156lit/seg				
	Total (San Antonio)				99Kg/día*7 (2,53mg/lit)	Principal. S.S.	6 a 12	
	Estándar Ambiental				(0,005mg/lit)			

*1 6.000ton/día=1.200ton/día(tratamiento en planta)x5 (unidades)

*2 67,5kg/día=1.200ton/día x 3/4 (proporción de colas/mineral crudo)

x0,1 (ley de Zn en mineral crudo)x1/200 (relación Zn/Cd en mineral crudo)x15/100 (relación contenido Zn mineral crudo/colas)

*3 777ton/día=9lit/segx60(seg/min)x60(min/hora)x24horas

*4 7,8kg/día=10mg/litx777.600lit/día

*5 4.320ton/día=50lit/segx60x60x24

*6 9,5kg/día=2,2mg/litx4.320.000lit/día

*7 99kg/día=2,53mg/litx39.130.000lit/día

Cuadro 8-2 Situación de Contaminación en Potosí y Medidas de Solución

Medidas	Costos		Beneficios
	Inversión inicial	Costo operativo/año	
1 Mejoramiento procesos	1 a 10 millones yen/Ingenio	240 millones yen	Disminución de pérdida de metales valiosos en 1/3 Eliminación de S.S. en los efluentes
2 DCSA	1.000 millones yen/KfW	1.000 millones yen	Eliminación de S.S. en colas de Ingenios Disminución de efluentes de Ingenios
3 Equipo análisis ambiental	100 millones yen	110 millones yen	Estudio de situación de contaminación Retoolimentación para gestión ambiental
4 Equipos de monitoreo	10 millones yen parcialmente donación JICA	Se incluye en 3	Política de medidas para prevención de contaminación Retoolimentación para gestión ambiental
5 Tratamiento efluentes	2 a 50 millones yen/unidad	200 millones yen	Eliminación de metales pesados en disolución en 95%
6 Centro de Investigación	200 a 300 millones yen	300 millones yen	Investigación integral Coordinación, capacitación y educación integral
7 Planta retratamiento colas	1.300 millones yen	3.600 millones yen	Disminución de pérdida de metales valiosos en 1/3
8 Recicleje de efluentes	50 millones yen		Eliminación de efluentes de planta concentradora
9 Forestación	5 millones yen	Más de 170 millones yen	Eliminación de agua ácida en dique Vegetación y estabilidad de diques abandonados
10 Relleno mina c/colas	100 millones yen		Eliminación de requerimiento de construcción de diques Eliminación de riesgo de ruptura de diques
11 Planta integrada	1.200 millones yen 2.500 millones c/retrat. Colas	5.830 millones yen	Separación zona urbana/industrial, economía de escala Capacidad de cobertura costos ambientales
12 Recuperación Ag	300 millones yen		Apreciación de dique y disminución de tamaño Mejoramiento de panorama

Cuadro 8-3 Costos de Aplicación de Propuestas y sus Beneficios

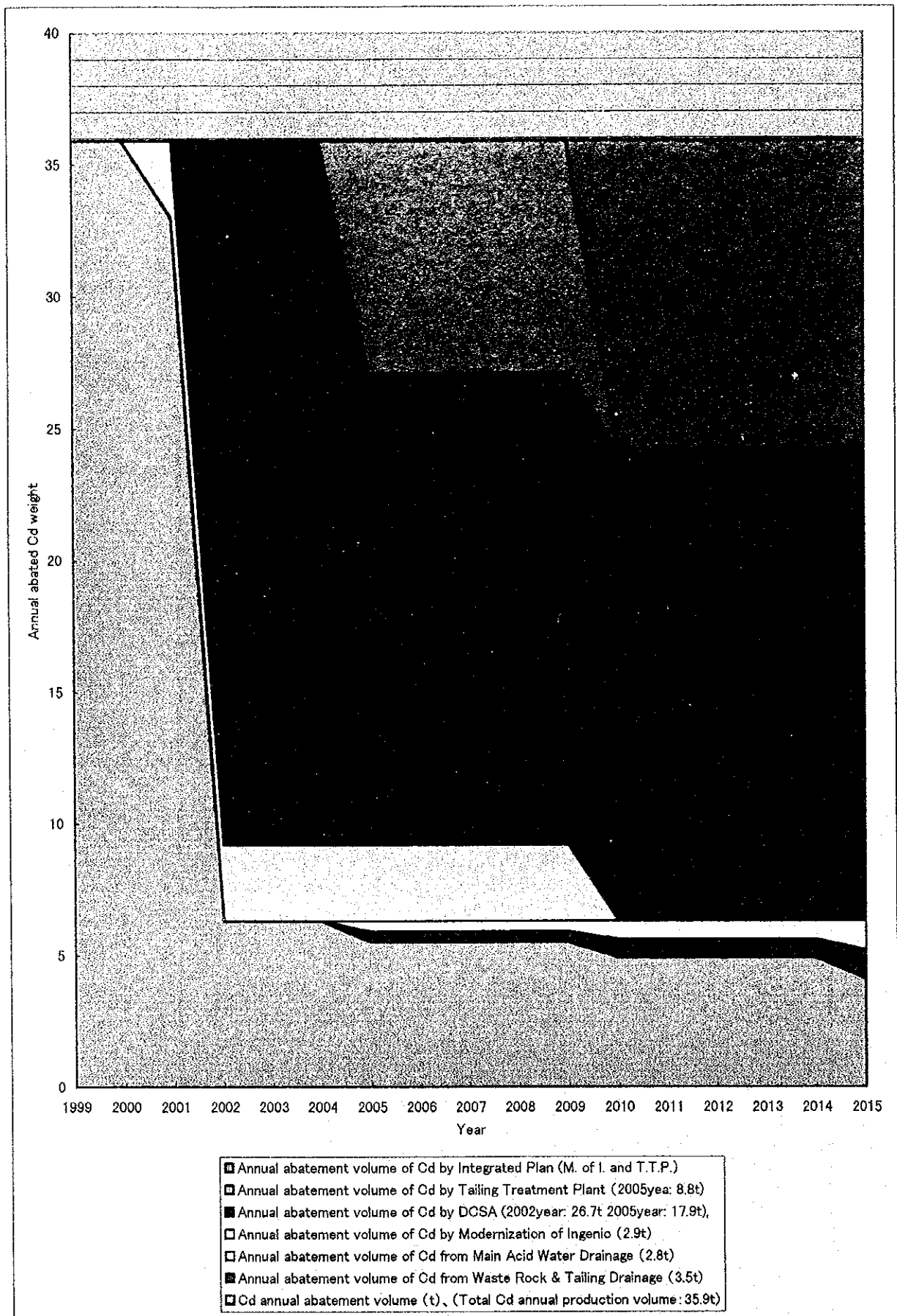


Figura 8-1 Eficiencia de Aplicación de Medidas contra Contaminación de Aguas

Relación de Cuadros y Figuras

Figura 1-1-1	Ubicación de la zona de estudio
Figura 1-1-2	Area de estudio
Cuadro 1-2-1	Programa de actividades
Figura 1-2-1	Cuenca de la zona principal del estudio
Figura 1-2-2	Contexto del estudio
Figura 1-2-3	Diagrama de la zona de estudio
Cuadro 2-2-1	Nomenclatura de minerales
Cuadro 2-2-2	Reseña histórica de procesamiento de minerales
Cuadro 2-2-3	Investigación sobre ingenios
Cuadro 2-2-4	Eficiencia de operaciones en ingenios
Cuadro 2-2-5	Reactivos de flotación usados por los ingenios
Figura 2-2-1	Geological Map of Cerro Rico de Potosí
Figura 2-2-2	Perfil geológico del Cerro Rico de Potosí
Figura 2-2-3	Ubicación de yacimientos, minas y plantas de beneficio en la cuenca del río Pilcomayo
Figura 2-2-4	Ubicación de ingenios y ríos en la ciudad de Potosí
Figura 2-2-5	Diagrama de flujo de proceso en ingenio
Cuadro 3-1-1	Presupuesto del Ministerio de Desarrollo Sostenible y Planificación
Cuadro 3-1-2	Presupuesto del Departamento de Recursos Naturales y Medio Ambiente
Figura 3-1-1	Organigrama del Ministerio de Desarrollo Sostenible y Planificación
Figura 3-1-2	Organigrama de la Prefectura de Potosí
Figura 3-1-3	Esquema de supervisión cualitativa del medio ambiente
Figura 3-1-4	Marco institucional del MDSP
Figura 3-1-5	Organigrama del sector minero de Bolivia
Cuadro 3-2-1	Cuadro Comparativo de estándares de Bolivia y Japón
Cuadro 3-2-2	Delito y sanciones a la ley de medio ambiente

Figura 3-2-1 Legislación y reglamentos de protección ambiental

Cuadro 4-1-1 Puntos de toma de muestras de calidad de aguas y suelos en los ríos de Potosí y zonas colindante

Cuadro 4-2-1 Resultado de análisis de aguas / programa de monitoreo

Cuadro 4-2-2 Resultados de análisis de aguas, S.S. y suelos

Cuadro 4-2-3 Precipitaciones en la ciudad de Potosí

Cuadro 4-2-4 Medición de caudales

Cuadro 4-2-5 Transporte de sólidos en suspensión en los ríos

Cuadro 4-2-6 Carga de contaminación debida a S.S.

Cuadro 4-2-7 Resultados de análisis de aguas y suelos

Cuadro 4-2-7 Resultados de análisis de aguas y suelos

Cuadro 4-2-8 Resultado de análisis de aguas / zona sudeste del departamento de Potosí

Figura 4-2-1 Variación de caudal en el río Tarapaya

Figura 4-2-2 Variación de caudal en el río Pilcomayo

Figura 4-2-3 Variación de transporte de S.S. en el río Tarapaya

Figura 4-2-4 Variación de transporte de S.S. en el río Pilcomayo

Figura 4-2-5 Diagrama de estructura hidrológica de la zona sureste de Potosí

Cuadro 4-3-1 Población en el área de estudio

Cuadro 4-3-2 Migración

Cuadro 4-3-3 Clasificación de ocupación en área urbana

Cuadro 4-3-4 Sistemas de agua potable por población

Cuadro 4-3-5 Enfermedades y mortalidad humana

Cuadro 4-3-6 Enfermedades en área urbana detallada

Cuadro 4-3-7 Contaminación estimada en áreas agrícolas

Cuadro 4-3-8 Areas de pastoreo por población

Cuadro 4-3-9 Enfermedades y mortalidad de animales

Cuadro 4-3-10 Matriz de relacionamiento contaminación – impacto

Figura 4-3-1 Información de contaminación y ubicación de centros mineros en la cuenca del río Pilcomayo

Figura 4-3-2 Zona urbana de Potosí

- Cuadro 5-1-1 Descripción de los puntos de tomas de muestras de potenciales fuentes de contaminación
- Cuadro 5-1-2 Resultados de análisis de aguas de muestras tomadas en potenciales fuentes de contaminación
- Cuadro 5-1-3 Distribución y clasificación de fuentes de contaminación
- Cuadro 5-1-4 Análisis de colas de ingenios
- Cuadro 5-1-5 Evaluación de calidad de colas de ingenios con estándares de emisión de Bolivia
- Cuadro 5-1-6 Colas vertidas a los ríos por los ingenios (porción sólida)
- Cuadro 5-1-7 Colas vertidas a los ríos por los ingenios (porción líquida)
-
- Figura 5-1-1 Ubicación de punto de tomas de muestra (posibles fuentes de contaminación)
- Figura 5-1-2 Proceso de contaminación en la región de Potosí
-
- Cuadro 5-2-1 Mecanismo de contaminación de ríos
- Cuadro 5-2-2 Comparación de contenido de iones en solución y en S.S.
-
- Figura 5-2-1 Mecanismo de contaminación de aguas
- Figura 5-2-2 Variación de contenido de S.S. a través del cauce (Tarapaya)
- Figura 5-2-3 Variación de S.S. por épocas (Tarapaya)
- Figura 5-2-4 Variación de S.S. por épocas (Pilcomayo)
- Figura 5-2-5 Variación de pH entre De la Ribera y Pilcomayo
- Figura 5-2-6 pH vs. concentración de As
- Figura 5-2-7 pH vs. concentración de Sb
- Figura 5-2-8 pH vs. concentración de Cd
- Figura 5-2-9 pH vs. concentración de Cu
- Figura 5-2-10 pH vs. concentración de Fe
- Figura 5-2-11 pH vs. concentración de Hg
- Figura 5-2-12 pH vs. concentración de Mn
- Figura 5-2-13 pH vs. concentración de Pb
- Figura 5-2-14 pH vs. concentración de Zn
- Figura 5-2-15a Contenido de arsénico en S.S.
- Figura 5-2-15b Contenido de arsénico en sedimento
- Figura 5-2-16a Contenido de cadmio en S.S.
- Figura 5-2-16b Contenido de cadmio en sedimento
- Figura 5-2-17a Contenido de plomo en S.S.
- Figura 5-2-17b Contenido de plomo en sedimento
- Figura 5-2-18a Contenido de zinc en S.S.

Figura 5-2-18b Contenido de zinc en sedimento

Figura 5-2-19a Contenido de estaño en S.S.

Figura 5-2-19b Contenido de estaño en sedimento

Cuadro 6-1-1 Tecnología de prevención de contaminación debida a la actividad minera

Cuadro 6-1-2 Plan básico de prevención de contaminación debida a procesamiento de minerales

Cuadro 6-1-3(1) Eficiencia de ingenios: actual y futuro

Cuadro 6-1-3(2) Eficiencia de ingenios: actual y futuro

Figura 6-1-1 Tecnología de prevención de contaminación debida a la actividad minera requerido en Potosí

Figura 6-1-2 Política de prevención de contaminación debida a la actividad minera

Figura 6-1-3 Medidas de mejoramiento de procesos en ingenios

Figura 6-1-4 Neutralización de aguas ácidas de origen minero

Figura 6-1-5 Diagrama de flujo para flotación de estaño

Figura 6-1-6 Diagrama de flujo de la planta concentradora modelo

Figura 6-1-7 Recuperación de metales valiosos de desmontes de minerales

Cuadro 6-2-1 Equipos de monitoreo para corto, mediano y largo plazo

Cuadro 6-2-2 Antimonio

Cuadro 6-2-3 Arsénico

Cuadro 6-2-4 Cadmio

Cuadro 6-2-5 Cobre

Cuadro 6-2-6 Hierro

Cuadro 6-2-7 Manganeso

Cuadro 6-2-8 Mercurio

Cuadro 6-2-9 Plomo

Cuadro 6-2-10 Zinc

Cuadro 6-2-11 Contexto de evaluación de impacto ambiental

Figura 6-2-1 Diagrama de la estructura del modelo

Cuadro 7-1-1 Detalle de proyectos caso

Cuadro 7-1-2 Detalle de requerimientos de capital

Cuadro 7-1-3 Detalle de concentrados

Cuadro 7-1-4 Detalle de costos operativos

Cuadro 7-1-5 Tendencias de cotizaciones de metales en LME

Cuadro 7-1-6	Detalle de precios de venta
Cuadro 7-1-7	Cálculo de precios F.O.B. de concentrado de Pb incluido Ag
Cuadro 7-1-8	Cálculo de precios F.O.B. de concentrado de Zn incluido Ag
Cuadro 7-1-9	Síntesis de resultados financieros
Cuadro 7-1-10	Perfil de proyecto (Caso A)
Cuadro 7-1-11	Perfil de proyecto (Caso B)
Cuadro 7-1-12	Perfil de proyecto (Caso C)
Cuadro 7-1-13	Resultados de tasa interna de retorno financiero
Cuadro 7-2-1	Cálculo de pérdida del costo de oportunidad en los sectores agrícola y ganadera
Cuadro 7-2-2	Cuadro sinóptico de tasas internas de retorno
Cuadro 8-1	Plan de ejecución de propuestas
Cuadro 8-2	Situación de contaminación de en Potosí y medidas de solución
Cuadro 8-3	Costos de aplicación de propuestas y sus beneficios
Figura 8-1	Eficiencia de aplicación de medidas contra contaminación de aguas

JICA