

Nº 13467



Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales

Proyecto Ambiental Geológico - Minero • Cooperación Técnica Chileno - Alemana

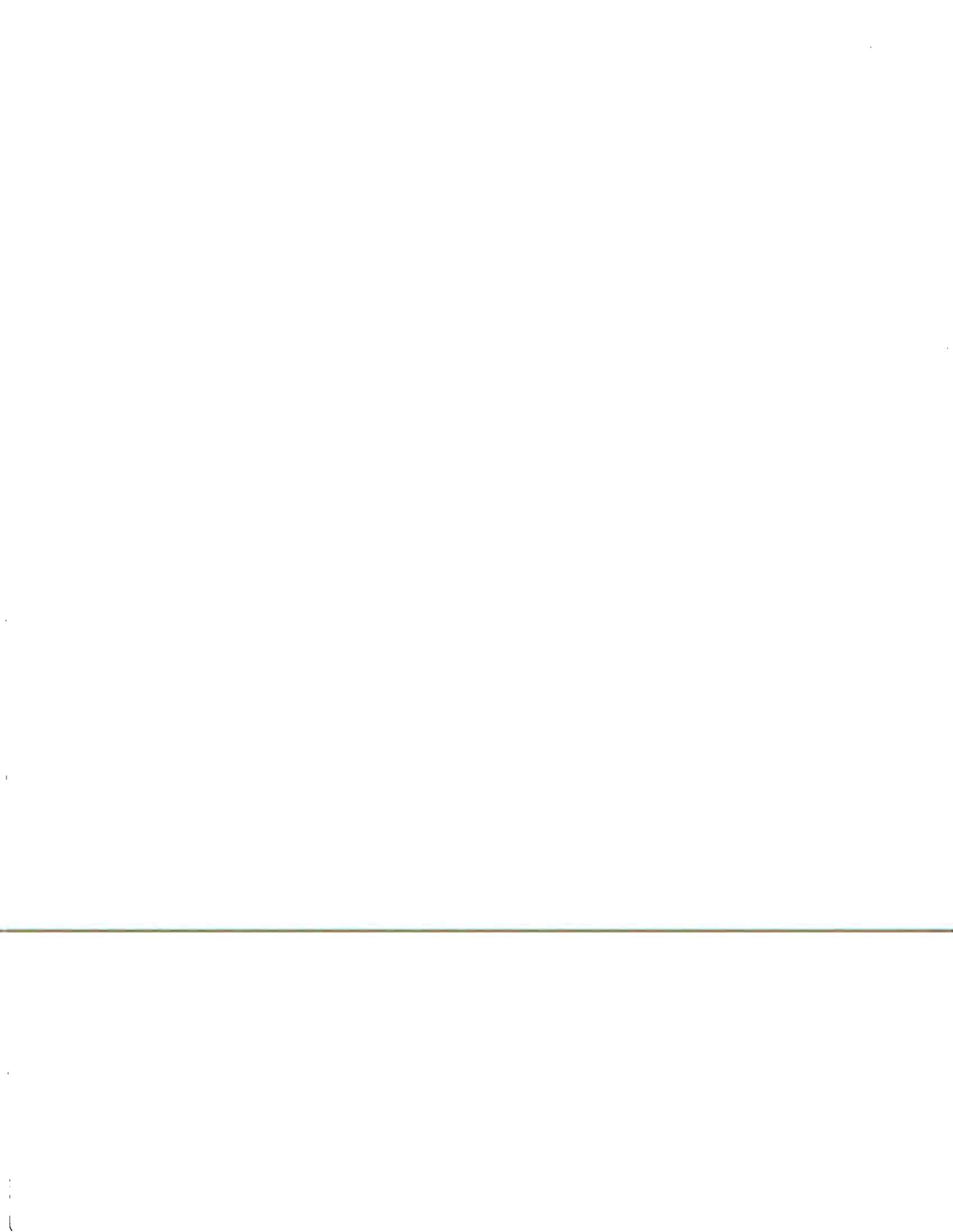


## PROYECTO

→ Fortalecimiento del Departamento de Ingeniería y Gestión Ambiental de SERNAGEOMIN  
PN 92.2027.8

LA INFLUENCIA AMBIENTAL DE LA MINERIA PASIVA Y ACTIVA  
EN EL AREA DE COPIAPO, III REGION, CHILE,  
INCLUYENDO ASPECTOS GEOLOGICO AMBIENTALES

*particular*



*ja - Wvz*

BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE (BGR)

(INSTITUTO FEDERAL DE GEOCIENCIAS  
Y RECURSOS NATURALES)  
HANNOVER

SERVICIO NACIONAL DE GEOLOGIA Y MINERIA  
SANTIAGO DE CHILE

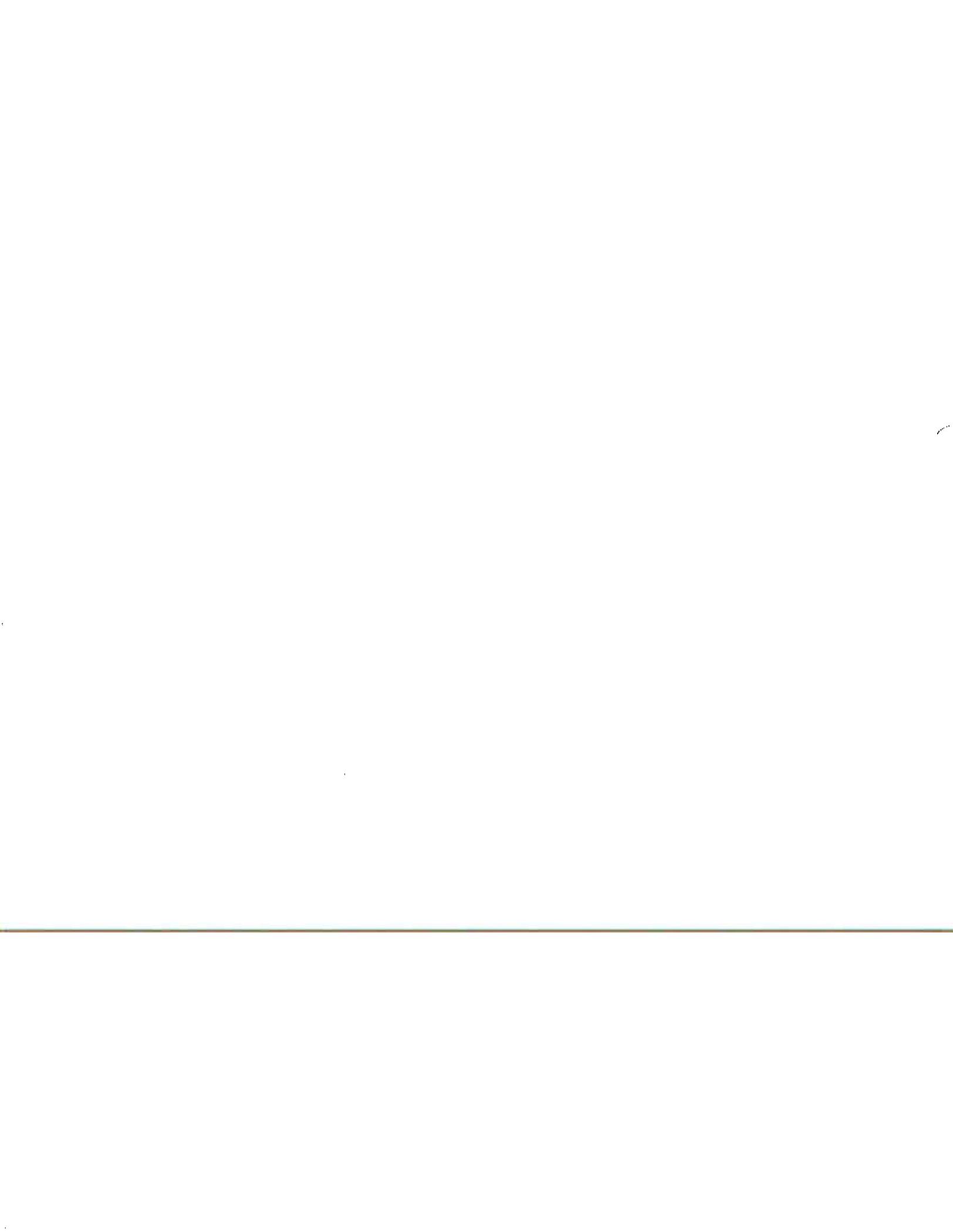
PROYECTO  
CREACION DE UN DEPARTAMENTO DE MEDIO AMBIENTE EN EL SERVICIO  
NACIONAL DE GEOLOGIA Y MINERIA (SERNAGEOMIN)

LA INFLUENCIA AMBIENTAL DE LA MINERIA PASIVA Y ACTIVA  
EN EL AREA DE COPIAPO, III REGION, CHILE,  
INCLUYENDO ASPECTOS GEOLOGICO AMBIENTALES

AUTOR DEL INFORME: Dr. Walther Eberle  
COLABORADORES : Igor Aguirre, Horst Aust  
Silvia Defranchi, Arturo Hauser  
Hans-Werner Müller, Gilia Robledo  
Beate Schwerdtfeger

COMITENTE : MINISTERIO FEDERAL DE  
COOPERACION ECONOMICA (BMZ)

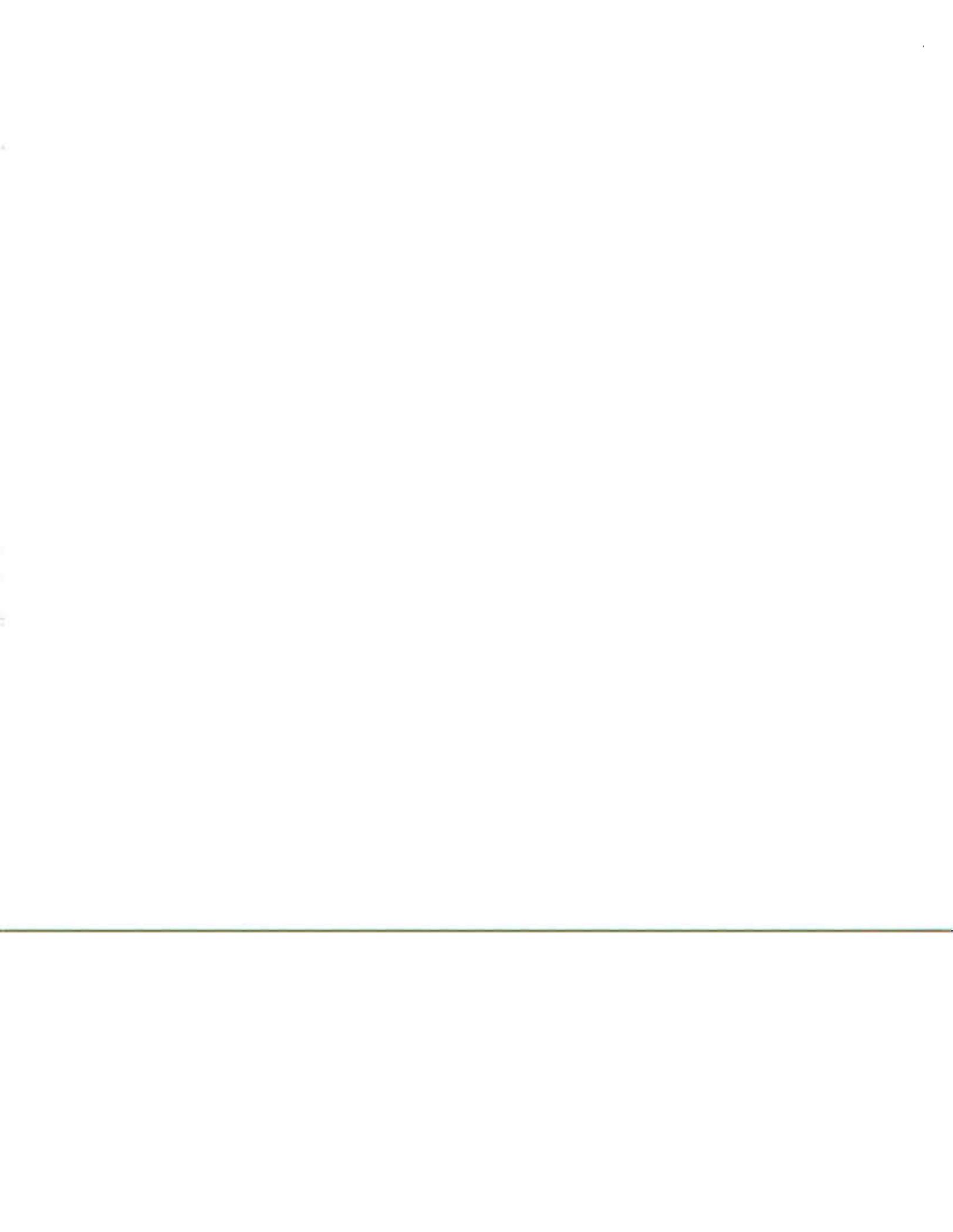
FECHA : Marzo de 1998  
PROYECTO DEL BMZ N° : PN 92.2027.8



## Contenido

1. Prefacio
2. Resumen ejecutivo
3. La minería y el medio ambiente
  - 3.1 Introducción
  - 3.2 Amenazas ambientales de la minería histórica (oro, plata, cobre)
  - 3.3 Amenazas ambientales de la minería activa
    - 3.3.1 Faenas mineras grandes y sus plantas de concentración (cobre y oro)
    - 3.3.2 Faenas mineras de tamaño mediano y pequeño y plantas de flotación
      - 3.3.2.1 Faenas mineras con plantas de concentración
      - 3.3.2.2 Faenas mineras (minas de cobre)
      - 3.3.2.3 Plantas de concentración
  - 3.4 Tratamiento de minerales de oro de minas pequeñas /amalgamación
  - 3.5 El transporte minero por caminos públicos
  - 3.6 Materias primas no metálicas
    - 3.6.1 Calizas
    - 3.6.2 Extracción de áridos
    - 3.6.3 Extracción de arcillas
4. Geología ambiental - Geología aplicada
  - 4.1 Suelos, lugares públicos y áreas de recreación
  - 4.2 Aguas (hidrogeología / hidroquímica)

## Bibliografía



## Anexos

- Tablas sinópticas (área de Copiapó)

- 1 Efectos ambientales características de la minería extractiva activa y pasiva
- 2 Efectos ambientales características de plantas de beneficio
- 3 Efectos ambientales de tranques de relaves activos y pasivos
- 4 Características ambientales de depositaciones y sitios mineros abandonados
- 5 Características del impacto ambiental de la minería
- 6 Características de residuos mineros de plantas y de la fundición

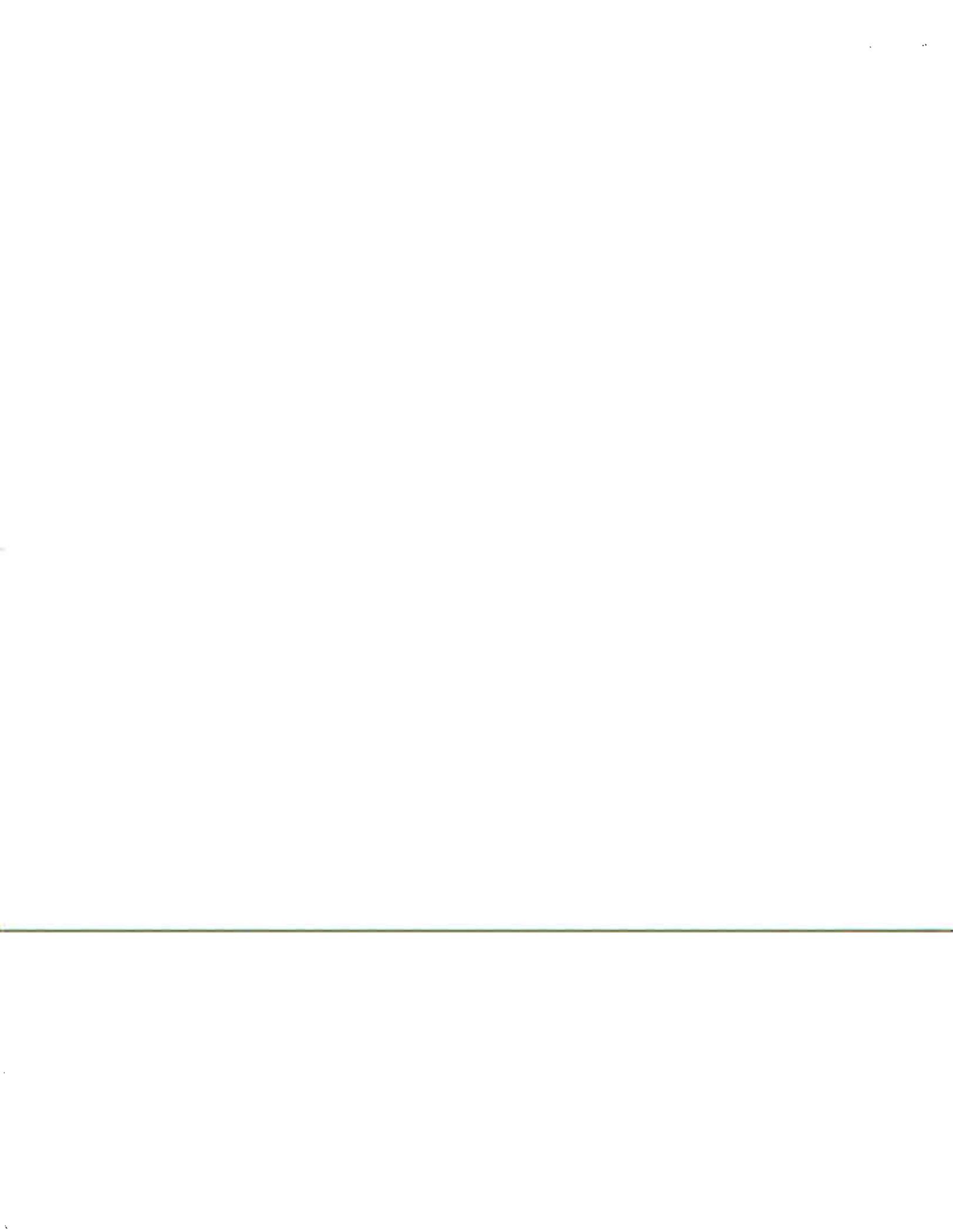
- Mapas

Mapa Provincial de Minería Antigua y de Ubicación , 1:250.000

Mapa de uso de suelo, 1:50.000

- Area de Copiapó
- Area de Elisa de Bordos
- Area de Embalse Lautaro

Esquema de flujos de masa - Minería de cobre



## 1. Prefacio

Desde febrero de 1994 hasta mayo de 1997 se ejecutó la primera fase del Proyecto Chileno-Alemán de cooperación técnica denominado: "Proyecto Ambiental Geológico Minero". Esta tarea fue asignada al Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN) por el Gobierno Chileno y al Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales (BGR) por el Ministerio Federal de Cooperación y Desarrollo (BMZ) del Gobierno Alemán.

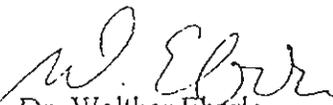
En la Primera Fase, el Proyecto se encargó de la tarea de asesorar al SERNAGEOMIN en la creación y la organización de un Departamento de Ingeniería y Gestión Ambiental (DIGA), al interior de la Subdirección Nacional de Minería; como proyecto piloto se investigó y caracterizó la situación del Medio Ambiente con relación a las actividades mineras en el Valle de Copiapó en la III Región de Atacama, en una extensión longitudinal de aproximadamente 100 km.

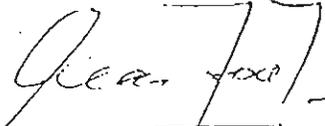
En este informe se presenta, en forma concentrada los resultados técnicos de las investigaciones realizadas en la cuenca del río Copiapó, complementados por recomendaciones para el mejoramiento de la protección ambiental en la Región; estos estudios fueron realizados en forma conjunta por expertos alemanes en cooperación con sus contrapartes chilenos (BGR / SERNAGEOMIN).

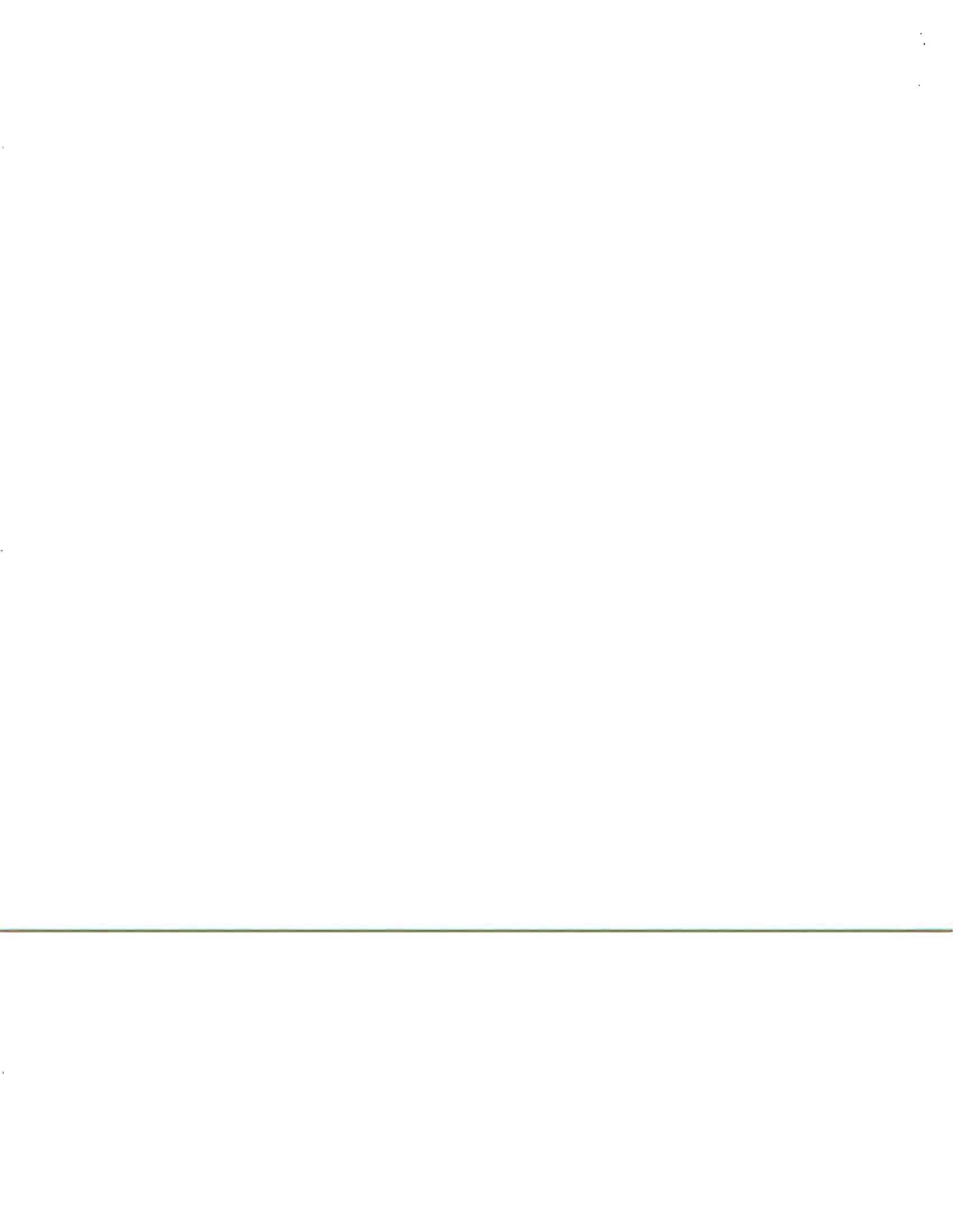
En parte, los resultados del Proyecto Chileno-Alemán, demuestran en forma clara que los residuos de las plantas abandonadas de la minería antigua de plata y oro, que contienen sustancias tóxicas, merecen nuestra especial atención en el uso del suelo y en la planificación territorial, como también podemos señalar que de los análisis efectuados en el área de estudio, no se ha detectado traspaso de contaminación a las aguas y productos agrícolas del valle. Este documento nos permite proponer a las autoridades correspondientes, alternativas de manejo preventivo para evitar impactos negativos de las fuentes de contaminación detectadas.

Por otra parte, los resultados del Proyecto indican un mejoramiento significativo en cuanto al ámbito minero-ambiental en los últimos cinco años, debido a la promulgación de una nueva y adecuada legislación (Decr. Ley 19 300 de 1994 y Reglamento D.S.No.30 de 1997) y al consecuente control por parte de CONAMA / COREMA y SERNAGEOMIN, a través del Departamento de Ingeniería y Gestión Ambiental.

Cabe destacar, que en este progreso colaboran las grandes compañías mineras que se sometieron voluntariamente al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) antes que entrara en vigencia la legislación respectiva.

  
Dr. Walther Eberle  
Jefe de Proyecto I fase, BGR

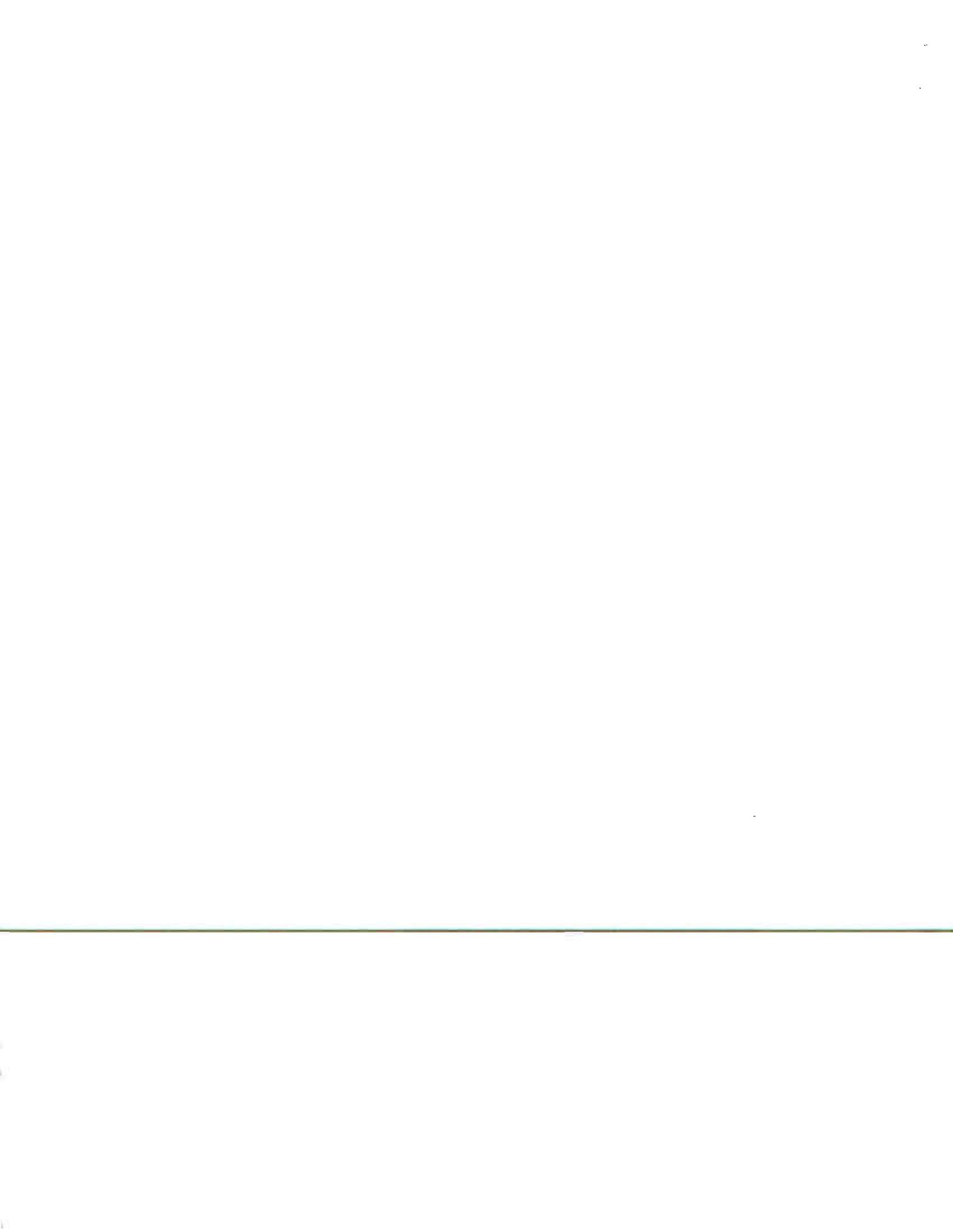
  
Ricardo Troncoso San Martín  
Director Nacional - SERNAGEOMIN



## 5. Bibliografía

### Informes del proyecto

- ADASME A., C. (1996): Aspectos básicos minero-ambientales del área piloto - Valle del Copiapó , Tercera Región.  
Proyecto Ambiental Geológico-Minero; 37 p., 43 fig., Santiago.
- AGUIRRE, I., C. ESPEJO, A. HAUSER y B. SCHWERDTFEGER (1998):  
Investigaciones hidrogeológicas e hidroquímicas en el Valle Copiapó.  
Proyecto Ambiental Geológico-Minero (en preparación).
- EBERLE, W., (con C. ESPEJO, G. ROBLEDO y R. ROJAS) (1998/1):  
El desarrollo histórico y los pasivos de la explotación minera en el curso medio y alto del Valle de Copiapó, III Región, Chile. ←  
Proyecto Ambiental Geológico-Minero; 33 p., 5 mapas, 44 fotos, 6 fig. y 3 tablas; Santiago.
- EBERLE, W., (con C. ESPEJO, G. ROBLEDO, R. ROJAS y K. ZIMMERMANN) (1998/2): ←  
Investigaciones sobre la permanencia del mercurio en el proceso de amalgamación de oro en la pequeña minería de Copiapó, III Región, Chile.  
Proyecto Ambiental Geológico-Minero , 15 p., 2 mapas, 27 fotos; Santiago y Hannover.
- HAUSER, A. (1996): Subsistencia y/o hundimientos conexos a laboreos mineros abandonados o activos.  
SERNAGEOMIN (inf. interno); 3 p., Santiago.
- HAUSER, A. (1997): Consideraciones referidas a aspectos geoambientales / Extracción de áridos y arcillas.  
SERNAGEOMIN (inf. interno); 8 p., Santiago.
- MÜLLER, H.-W. (con I. AGUIRRE, M. VILLALOBOS, F. SCHWARZ) (1996):  
Informe técnico de pedología; Proyecto Ambiental Geológico-Minero, Santiago yBGR / Hannover.
- SRK (STEFFEN, ROBERTSON & KIRSTEN) (1995): Estudio socioeconómico Pequeña Minería - Cuenca Rio Copiapó.  
Estudio por encargo del Proyecto Ambiental Geológico Minero, Santiago



TEICHERT, H. (1996/1): Diagnostico de le organización administrativa del sector  
minero-ambiental ←  
Estudio por encargo del Proyecto Ambiental Geológico Minero ←

TEICHERT, H. (1996/2): Diagnóstico del impacto ambiental de la minería en la  
III Región de Chile (3 tomos).  
Estudio por encargo del Proyecto Ambiental Geológico Minero

XXXXXXXXXXXXXXXXXX

Otras fuentes importantes

ALAMOS & PERALTA (1995): Analisis y evaluación de los recursos hídricos del  
valle del río Copiapó, III Región.

ALVAREZ G., O. (1979): Atacama de Plata, 267 p., Ediciones Toda America

EIKMANN, T. u. A. KLOKE (1993): Nutzungs- und schutzgutbezogene  
Orientierungswerte (für Schad-) Stoffe in Böden.  
In : ROSENKRANZ, D. et al. 1988 - 1996.

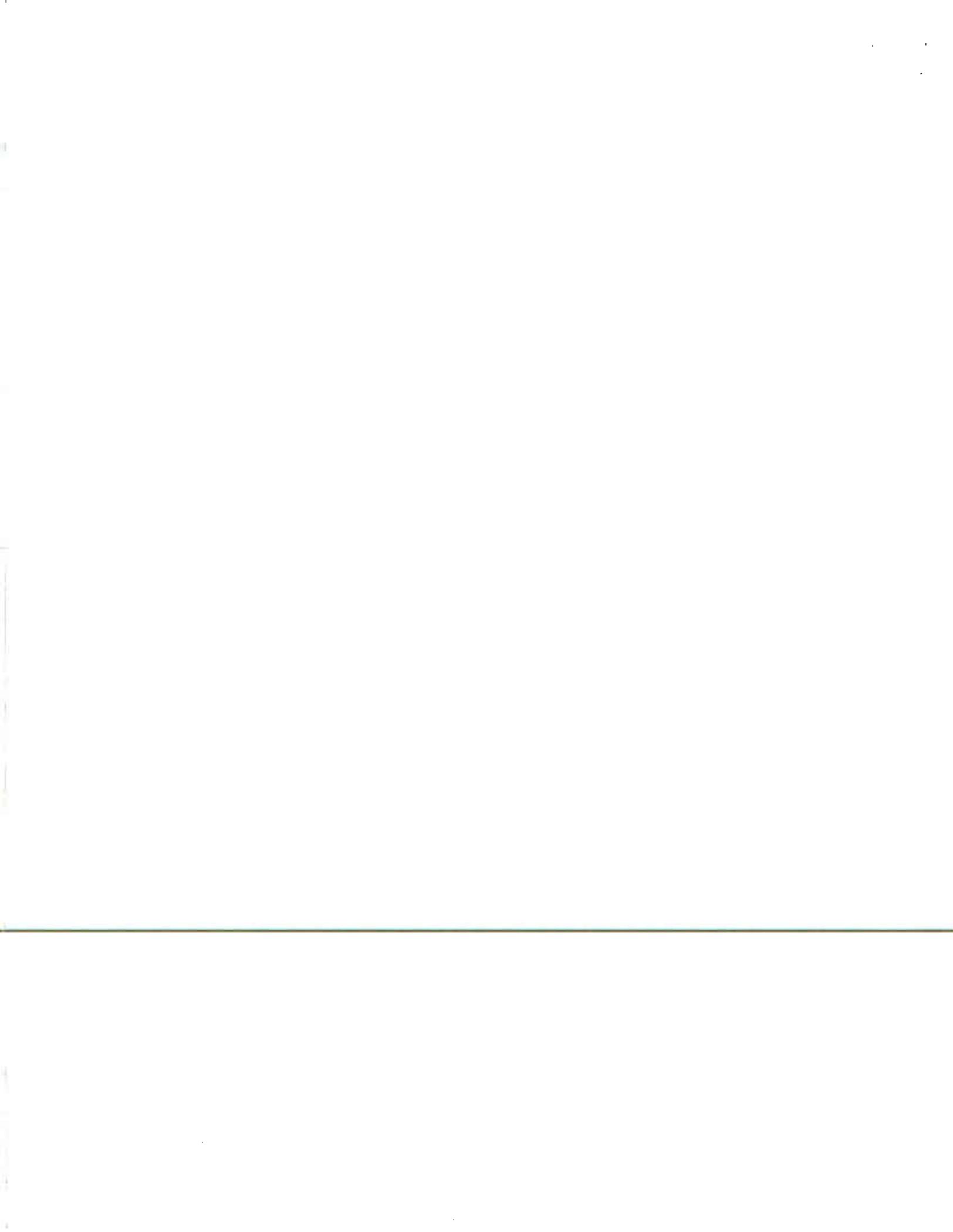
Instituto Geográfico Militar (1989): Geografía de Chile, Tomo III, „De Atacama“.  
206 p., 70 fig., 58 tablas, Santiago.

Ministerio de Agricultura / Servicio Agrícola y Ganadero (SAG) (1989):  
Uso del suelo en el valle de Copiapó; mapas en escala 1 : 20.000.

Ministerio de Vivienda y Urbanismo (1993): Plan regulador comunal Copiapó.  
6 mapas en escala 1 : 5.000.

SAYAGO, C.M. (1973). Historia de Copiapó (cópia de la primera edición 1874);  
XV + 629 p., laminas; Buenos Aires.

SONAMI (Sociedad Nacional de Minería) (1905): Estadística Minera de Chile en 1903  
321 p., 2 mapas, Santiago.



## 2. Resumen ejecutivo

En el acuerdo del Proyecto, se definió como zona modelo, la parte media y superior del valle de Copiapó, entre las áreas donde nacen los afluentes del río Copiapó (con excepción de la Quebrada Paipote) y la localidad de Piedra Colgada río abajo. Se definió como límite la línea divisoria de la cuenca hidrográfica de la zona, que abarca una superficie de aproximadamente 12.000 km<sup>2</sup> (fig.1). Casi todas las actividades mineras se concentran en un área de aproximadamente 3.000 km<sup>2</sup> de la zona del proyecto.

Dentro del marco de los estudios realizados en la zona piloto del Proyecto, se hicieron varios análisis modelos, de acuerdo a las prioridades, sobre los aspectos de la explotación minera ambientalmente relevantes en el curso medio y superior del valle de Copiapó. No se incluyó la fundición "Videla Lira" de Paipote; sobre esta planta y el impacto ambiental provocado por ella, se han realizado y están en desarrollo otros estudios.

**El objetivo de los estudios del Proyecto era obtener información de importancia acerca del posible y real impacto ambiental causado por la explotación minera en el área de trabajo y mostrar, como pueden realizarse estudios similares en otras regiones.**

El valle de Copiapó es un importante centro económico y cultural del norte de Chile. La existencia de yacimientos de cobre, oro y plata justifica su riqueza, a la que en los últimos años se suma el cultivo de parronales de uva para la exportación. La vida, la explotación minera y la agricultura dependen del agua superficial y especialmente del agua subterránea disponible y del suelo de la zona del valle que puede ser cultivada y habitada .

La población necesita agua potable, un aire limpio, una superficie habitable segura y un lugar adecuado para vivir, trabajar y para evacuar residuos, además, de lugares de recreación.

Aparte del suelo desarrollado en un valle fluvial, la agricultura requiere, sobre todo, del agua; tanto el suelo como esta última, deben estar libres de contaminación. Por otra parte, la agricultura aplica abonos y pesticidas al suelo, arriesgando su contaminación y la del agua en caso de aplicación en forma inadecuada y no controlada; cuando el riego se realiza en forma inadecuada, ésta contribuye a la salinización del suelo.

La explotación minera altera y el entorno natural con la explotación a rajo abierto, los tranques de relaves y los restos de plantas abandonadas. La explotación minera necesita del agua para sus procesos, pero al mismo tiempo contribuye a su contaminación con sustancias que se incorporan en las aguas superficiales y posteriormente por percolación acceden a las aguas subterráneas. Por otra parte, cabe destacar que, normalmente, un alto porcentaje del agua de proceso se recicla. Al transportar y triturar las materias primas se produce polvo. Durante la fundición de concentrados de minerales cupríferos se introduce en el aire trióxido de arsénico y dióxido de azufre que posteriormente pueden acceder al suelo como material particulado.

Desde hace 150 años, el mercurio juega un importante papel en la extracción de oro y plata y ha llegado a concentrarse en cantidades considerables en diferentes lugares del valle.

En el escenario hasta ahora descrito, el bien a proteger, de primera necesidad para todos, el agua, se ha tratado siempre como un recurso renovable. El Río Copiapó ha sido canalizado y/o objeto de almacenamiento (Tranque Lautaro) de tal manera, que aguas arriba de la ciudad, sólo en tramos ocurre parcialmente como río natural. La mayor parte del agua fresca para diverso uso proviene de pozos. De un total de aproximadamente 4000 l/s (ALAMOS & PERALTA, 1979) de agua, aproximadamente un 10% se utiliza como agua potable, un 30% en la explotación minera y un 60% en la agricultura. Como no puede descartarse la posibilidad de una escasez de agua en el futuro, resultaría fatal que se inutilizara el agua subterránea por contaminación.

### **Conclusiones y recomendaciones**

Las investigaciones dentro del marco del Proyecto indicaron que las posibles y reales influencias ambientales tienen características mucho más variadas de lo que se sospechaba inicialmente. Se recomiendan los informes técnicos del Proyecto citados en la bibliografía.

**Los pasivos mineros resultaron ser, en parte, una amenaza imprevista y grave para el medio ambiente. Ante la ausencia de archivos históricos, se recomienda como medida eficaz de una investigación regional estudiar documentos y la literatura histórica disponibles; además, es absolutamente necesario identificar, localizar y documentar áreas críticas en el terreno. También resulta indispensable el íntimo conocimiento de tecnologías mineras de antaño para entender mejor el volumen y la calidad de posibles amenazas ambientales.**

Uno de los resultados básicos de este Proyecto consiste en la confirmación de una regla importante en relación con la protección medio ambiental: **solo el análisis integral de todos los aspectos ambientales proporciona una imagen completa de la importancia y del riesgo que generan las actividades mineras.**

Como consecuencia de este conocimiento todas las actividades y proyectos mineros deben ser tratados como elementos del ordenamiento territorial tomando en cuenta especialmente todas las posibles consecuencias para los bienes a proteger: suelo, agua y aire, incluyendo ecología y paisaje y el ser humano.

Sólo este modo de ver garantiza, por ejemplo, localizar y caracterizar a tiempo zonas saturadas y evitar en el futuro daños ambientales irreversibles.

**Como zonas críticas desde el punto de vista ambiental donde hay o existían actividades mineras en el área de estudio pueden citarse: Copiapó con sus 100.000 habitantes que está rodeado por numerosas plantas de concentración en parte con tranques de relaves contaminados con mercurio. Tierra Amarilla, una ciudad de**

alrededor de 6.000 habitantes que está rodeada de 15 faenas mineras y 5 plantas de beneficio. La zona de Totalillo-Pabellón, en donde muy cerca del río, entre cultivos de parronales de uva, están almacenados residuos de concentración altamente contaminados con mercurio desde el sigloXIX (cap. 3.2).

Los resultados de las investigaciones se presentan en forma concentrada en los capítulos 3 (Minería) y 4 (Geología Ambiental). En los anexos 1 a 3 se describen sinópticamente detalles específicos de aspectos ambientales características de la minería de la región investigada, y en los anexos 4 a 6 se presentan los mismos parámetros en forma generalizada con sus posibles interferencias.

En detalle resultan las siguientes recomendaciones:

### ⇒ Minería histórica (pre 1950)

En el campo de la minería histórica las recomendaciones se enfocan en cuatro grupos distintos de posibles problemas ambientales y de la seguridad pública respectivamente (ver capítulo 3.2):

- Minas abandonadas.
  - Relaves con altas cargas de mercurio de antiguas plantas de cianuro-amalgamación de plata.
  - Sitios de antiguas plantas de amalgamación de oro.
  - Sitios de botaderos de escoria de antiguas plantas de fundición de cobre.
- En cerca de 20 distritos mineros se localizaron más de 250 piques y socavones abiertos y centenas de calicatas profundas; todas estas faenas están abandonadas y sin protección.

Como casi todas las minas abandonadas están ubicadas en lugares muy apartados, a ellas llegan generalmente sólo mineros y profesionales interesados, que están muy conscientes de los riesgos que allí se encuentran. Cuando de todas maneras se producen accidentes reiterados de mineros independientes en estas minas antiguas, es porque éstos sobrepasan los límites de los riesgos profesionales y las disposiciones legales. No hay capacidad humana para detectar estas actividades ilegales en áreas remotas.

Distinto es el caso de las minas abandonadas, situadas en las cercanías de lugares habitados. Los habitantes de estos lugares se acercan directamente a ellas o se mantienen en las inmediaciones. Es el caso de los distritos de Chancoquín y Llano Chamonate y el rajo abierto del Cerro Imán que poseen puntos de explotaciones abiertas, en parte, muy peligrosas. En estos casos, sería conveniente adoptar medidas de seguridad eficaces.

- En las localidades de Pabellón y Totalillo, se depositaron al menos 185 t de mercurio distribuidos en relaves de plantas de cianuración-amalgamación de plata del siglo pasado. En la antigua planta de Potrero Seco no se localizaron los relaves.

Las áreas donde están ubicados los antiguos relaves de Pabellón y Totoralillo, deberían cercarse primero y dejarse de utilizar. En Totoralillo es necesario evitar que el polvo de los relaves llegue hasta el canal de riego y continúe esparciéndose. En Pabellón debe evitarse a toda costa que sigan penetrando en el Río Copiapó relaves contaminados, como sucedió en junio de 1997. Como paso siguiente, se recomienda hacer un muestreo más detallado con sondajes someros hasta el subsuelo, para determinar con exactitud el contenido de mercurio y arsénico. Solamente a través de esta medida podrá determinarse el potencial de riesgo, planificar y poner en práctica medidas definitivas de seguridad o de saneamiento, en caso necesario. Al realizar estos trabajos, deberán tomarse las medidas de protección necesarias para evitar la aspiración del polvo.

Paralelamente a ello, se recomienda analizar las inmediaciones del lugar con un equipo para medir gas de mercurio, con el fin de constatar el transporte eólico y el arrastre del metal pesado. Al igual que los análisis de uvas realizados en otros parronales del valle (cap. 4.1) cercanos a minería histórica y activa habría que analizar las uvas allí producidas de acuerdo con la metodología establecida en el marco del Proyecto; en los sitios investigados se pudo comprobar la ausencia de metales pesados en las uvas. Especialmente en el caso de Potrero Seco, donde se desconoce el sitio de los relaves, sería recomendable usar este método.

Se recomienda revisar y cuantificar las anomalías geoquímicas obtenidas con el medidor de gas, mediante muestreo de suelos y análisis químico. Según los resultados que se obtengan, habrá que orientar las medidas a tomar posteriormente.

- En el área de la ciudad de Copiapó había en el siglo XIX ocho plantas de amalgamación de oro cerca del río (ALVAREZ GOMEZ, O., 1979, p.74). Se conoce sólo el sitio de una de ellas.

Como medida de protección para la salud, sería recomendable intentar localizar estas antiguas plantas, al menos en las zonas pobladas y en la zona de la Universidad de Atacama mediante estudios geoquímicos, y en caso necesario, tomar las medidas de protección adecuadas. Estos estudios deben considerar también la posibilidad de una vulnerabilidad del agua subterránea, la que en el centro del área urbana de Copiapó, se considera muy alta.

- En el área de la comuna de Tierra Amarilla actualmente (1997/98) se encuentra un escorial antiguo con valores altos de metales pesados y de arsénico; actualmente se está removiendo el material, quedándose restos particulados en el suelo.

Antes de usar el área nuevamente, los polvos que resultan del desplazamiento de las escorias deben ser analizadas ante el riesgo para la salud, en caso de su respiración .

⇒ Minería activa (materia prima metálica)

Todas las actividades mineras actuales están controladas por SERNAGEOMIN de acuerdo con la legislación ambiental vigente, el Reglamento de Seguridad Minera, y el Reglamento de Construcción y Operación de Tranques de Relaves.

- En algunos sitios habría que combatir eficientemente el polvo asociado a actividades mineras:
  - en algunas plantas de concentración que son conocidas por falta de medidas correspondientes;
  - en todos los caminos de tierra dentro y fuera de las faenas mineras en los alrededores de Tierra Amarilla;
  - en la carretera de tierra del Llano Chamonate, preferentemente, mediante limitación de la velocidad máxima de los camiones;
  - en todos los tranques de relaves (activos y también los pasivos bajo responsabilidad de compañías activas) en los alrededores de las comunas Copiapó y Tierra Amarilla.
- Con respecto a la posible contaminación de aguas subterráneas por filtraciones de tranques de relaves las compañías mineras involucradas deberían instalar pozos de monitoreo que además deberían mantenerse un tiempo adecuado después del cierre de la planta.
- En el caso de proyectos de nuevas plantas y/o tranques deberían definirse lugares alternativos, excluyendo sitios dentro del valle o en quebradas inmediatamente encima del valle, especialmente en el área de Copiapó - Tierra Amarilla. Con esta medida podría evitarse la contaminación de aguas superficiales y subterráneas en el caso de erosión o colapso de un tranque.
- Todas las plantas y tranques del proceso de amalgamación de oro y los laboratorios de reducción de amalgama merecen atención específica, especialmente los que están situados dentro u cerca de Copiapó y que pueden entrar en conflicto con medidas de urbanización, especialmente:
  - en la planificación de nuevas urbanizaciones de Copiapó debe considerarse la eventual presencia cercana de tranques contaminados de mercurio. Esto vale especialmente para los barrios en Viñita Azul y en las faldas de la Sierra de Chancoquin; en este último habría que tomar medidas urgentes para estabilizar el tranque de relaves de Bellavista, parcialmente erosionado durante las lluvias del mes de junio de 1997;
  - habría que elaborar un catastro y establecer una revisión periódica de los laboratorios de reducción del amalgama de oro (pella) dentro del perímetro

urbano, para un mejor control de posibles emisiones de mercurio y óxidos nitrosos. Se recomienda imponer el uso de retortas cerradas y mejorar la captación de polvos residuales.

⇒ Minería activa de material no metálico

El sector ambientalmente más afectado es la explotación artesanal de áridos en el cauce del río Copiapó entre Copiapó y Tierra Amarilla.

Respecto a esta actividad recomendamos proceder a su inmediata regulación; basada en facultades municipales, destinadas a minimizar el actual impacto ambiental que ella provoca ( ver cap. 3.6.2).

⇒ Suelos, lugares públicos y áreas de recreación

Como uno de los resultados importantes se detectó la presencia de altas concentraciones de metales pesados en suelos de parronales cerca de plantas de concentración, los que no alcanzan a concentrarse significativamente en las uvas; recomendamos, sin embargo, completar estas investigaciones en parronales en los alrededores de depósitos de relaves con altas leyes de mercurio. X

Medidas urgentes (cap. 4. 1) se recomiendan en el caso de algunas plazas públicas y áreas de recreación, donde se registraron valores no tolerables de metales pesados, especialmente de cobre y arsénico; además recomendamos repetir como medida de monitoreo los mismos muestreos y análisis químicos preferiblemente al mínimo una vez al año. S

⇒ Aguas

Con respecto a posibles contaminaciones de aguas subterráneas por líquidos filtrados de tranques de relaves se recomienda (ver arriba) medidas de monitoreo.

Para poder completar las recomendaciones se sugiere los siguientes trabajos adicionales (cap. 4. 2):

- Analizar las sustancias orgánicas (aditivos de flotación) en el agua de tranques de relaves seleccionados y de pozos cercanos a los tranques y, en caso necesario, demostrar la relación y el origen de una posible contaminación.
- Mediciones geofísicas del espesor del relleno del valle que deberán servir de aporte para la realización de un balance cuantitativo del agua subterránea, con el que a su vez puedan crearse en el futuro las bases para una mejor gestión del agua subterránea.

### 3. La minería y el medio ambiente

#### 3.1 Introducción

En el área del proyecto que abarca 12.000 km<sup>2</sup>, se analizó el posible y real impacto y amenaza ambiental por parte de faenas mineras y plantas de concentración abandonadas y activas repartidas en 3.000 km<sup>2</sup> de superficie.

En este estudio no se incluyeron los yacimientos de oro con explotación a rajo abierto y sus plantas de lixiviación situados en la parte alta de la cordillera de los Andes que en ese entonces aun no producían, ni tampoco la fundición "Videla Lira" de Paipote.

En la evaluación del impacto minero-ambiental se distinguió entre la minería extractiva y el proceso de concentración mediante flotación y el proceso de amalgamación. Estos dos tipos de plantas son claramente diferentes entre sí, no obstante, van estrechamente ligadas en el proceso. Por otra parte, teniendo en cuenta criterios ambientalmente relevantes, debe distinguirse entre la explotación minera histórica y/o abandonada y la activa, ya que en el pasado se explotaba y concentraba otros tipos de minerales con métodos diferentes, por lo que los pasivos mineros que se producían, también eran distintos. El límite cronológico entre la minería histórica y la minería moderna en el área de Copiapó, se encuentra entre los años 1950 y 1960, aproximadamente.

En la descripción de las características ambientalmente relevantes de la minería activa se escogieron grupos de faenas de determinados tamaños que, a menudo, presentan características ambientales comunes. Se le dio especial importancia al uso de mercurio en la amalgamación de oro. Para completar el cuadro, se hace también una breve descripción sobre el transporte relacionado con la explotación minera.

#### 3.2 Amenazas ambientales de la minería histórica (oro, plata, cobre)

En el área de Copiapó se explotan los minerales de oro y plata desde 1706 y la producción de plata tuvo su auge en la segunda mitad del siglo XIX. En ese entonces también comenzó la explotación de minerales de cobre de alta ley que, en parte, se fundían en el mismo valle.

Hasta mediados del siglo XIX los yacimientos, en su mayoría vetas mas o menos verticales, se explotaban en calicatas abiertas y a través de socavones. Posteriormente, con la llegada de la máquina a vapor, comenzaron a construirse piques.

En los aproximadamente 20 distritos mineros de la zona del Proyecto se conocen más de 250 piques y socavones abandonados y una cantidad no contabilizada de calicatas profundas. La concentración de los minerales brutos (Au y Ag) se realizaba principalmente mediante la trituración y posterior selección a mano; en el caso de los minerales de cobre de alta ley, mediante la separación por gravedad. No se empleaban aditivos químicos.

Desde los comienzos de la minería en Copiapó (1706) se utilizaba mercurio en la fase final de la extracción de metales preciosos, para la amalgamación de oro y plata y, a partir de mediados del siglo XIX, cianuro de sodio para la extracción de oro. En parte fue necesario desarrollar nuevos métodos para los minerales específicos de la región.

Resumiendo, la investigación de las zonas históricas de explotación minera y de las plantas de concentración, demostró lo siguiente:

- Todas las faenas mineras abandonadas tienen piques abiertos (en parte de hasta 300 m de profundidad), sin medidas de seguridad alguna (socavones, calicatas, en parte rajos) y, en la mayoría de los casos, también botaderos de escombros y ruinas. En muchos casos, las plantas abandonadas están distribuidas sobre varios km<sup>2</sup> de las zonas más o menos contiguas. No se observaron desagües de socavones, pero se sospecha que en el fondo de algunos de los piques hay agua acumulada. Un caso especial es la explotación a rajo abierto de magnetita en el Cerro Imán, cuyo nivel más profundo está inundado por aguas subterráneas. Atenúa esta situación la ausencia de población en estas zonas.
- Las plantas abandonadas de cianuración y amalgamación de plata de Pabellón, Totalillo y Potrero Seco resultan ser riesgos para el medio ambiente especialmente serios y dignos de atención. En los relaves de Pabellón y Totalillo se constataron grandes contenidos de mercurio; en Potrero Seco no pudieron localizarse los relaves. Haciendo una estimación conservadora a base de un valor medio de 300 g Hg/t, se puede partir de la base, que en Pabellón se encuentran diseminadas por lo menos 34 t y en Totalillo por lo menos 135 t de Hg, con contenidos de entre 200 y 1800 g/t.

Actualmente el material pulverizado contaminado es arrastrado por el viento valle arriba y en menor escala valle abajo. En las cercanías hay parronales y plantas de empaque de uvas.

En el siglo XIX existían en el valle del río Copiapó 14 pequeñas plantas de amalgamación; 8 de éstas, estaban ubicadas en la ciudad de Copiapó. Dentro del marco del Proyecto, no fue posible determinar la ubicación de estas plantas, ni tampoco la existencia de residuos de concentración que contuvieran Hg; con una excepción.

En Tierra Amarilla y en Nantoco hay botaderos de escorias provenientes de antiguas fundiciones de cobre. Como bajo las condiciones climáticas de la Región de Atacama, las escorias se consideran absolutamente estables; no representan ningún peligro, aun cuando actualmente poseen una alta concentración de Arsénico, Cobre y otros metales pesados (EBERLE et al., 1997/1). Mientras que las escorias de Nantoco apenas han sido removidas hasta ahora, el material de Tierra Amarilla es transportado hoy en día con destino desconocido. Antes de someterse a algún tipo de uso, el suelo de esta área debería analizarse ante el evento de que los restos de polvo de escoria allí existentes constituyan un riesgo para la salud humana via aspiración En el anexo 4 „Depositaciones y Sitios

Mineros Abandonados en el Area de Copiapó" se muestra un cuadro generalizado con los diferentes tipos de pasivos mineros en la zona del proyecto.

### 3.3 Riesgos ambientales de la minería activa

La diferencia más importante entre la minería histórica y la minería activa u actual es que en la filosofía laboral de esta última se han incorporado, cada vez más, medidas para la mitigación de posibles efectos que el trabajo pueda tener sobre la salud del ser humano.

En el anexo 5 se describen de manera generalizada los efectos ambientales posibles y reales a causa de la explotación minera activa en la zona de Copiapó y el anexo 6 da una visión esquemática sobre los posibles y observados tipos de residuos y emisiones de este sector de la industria. No están incorporados en este análisis las minas de oro con explotación a rajo y plantas de lixiviación Marte, Refugio y Aldebarán, situadas en el altiplano, que en ese entonces aun no producían.

#### 3.3.1 Faenas mineras grandes y sus plantas de concentración (cobre y oro)

La minería en escala grande está representada en el área del Proyecto por la extracción a rajo de minerales de cobre y oro de baja ley. Los minerales de oro contienen alrededor de 1g Au/t y los de cobre, aproximadamente, un 1%. Aparte de las tres plantas de explotación de minerales de oro que extraen diariamente 30.000 toneladas cada una, hay que destacar en forma especial el yacimiento de cobre Candelaria. Esta mina está ubicada a pocos kilómetros al oeste de Tierra Amarilla e inició su explotación en 1994 con una extracción diaria de 30.000 t y que pretende doblar su producción, aproximadamente, en 1998.

Las grandes faenas se caracterizan por lo siguiente:

- Cercanía entre la explotación y la concentración como también la evacuación de estériles (botaderos) y de relaves (tranques); todos los transportes de minerales se realizan dentro del recinto de la faena.
- Modificación del entorno natural y utilización de grandes superficies; en Candelaria son alrededor de 24 km<sup>2</sup>.
- Utilización de la red vial pública para el transporte de concentrados de minerales de cobre. Transporte de reactivos y compuestos químicos a las plantas: gasolina y aceites como también cianuro de sodio, este último para la extracción de oro.

- Utilización de grandes cantidades de agua subterránea para la concentración (Cu) y lixiviación (Au) de minerales; una parte considerable del agua se recicla para el proceso de concentración.
- Estas compañías tienen departamentos propios encargados de la seguridad y de la protección del medio ambiente, garantizando el riguroso cumplimiento de normas y disposiciones legales sobre esta materia.

Aparte de las modificaciones del entorno natural mencionadas anteriormente, no se han constatado en las grandes faenas otros peligros ambientales directos. En las regiones habitadas (Tierra Amarilla) no se han registrado grandes vibraciones o la presencia de polvo a causa de tronaduras.

Al momento del cierre de la mina Candelaria, será de suma importancia tomar medidas de seguridad y de preservación del medio ambiente. Cabe destacar aquí el monitoreo del secado de agua y el sellado de la superficie del tranque de relaves de aproximadamente 5 km<sup>2</sup>, como protección contra el polvo.

### **3.3.2 Faenas mineras de tamaño mediano a pequeño y plantas de concentración**

De esta categoría existen en el área de estudio tres diferentes tipos de faenas:

- Faenas mineras con plantas de concentración
- Faenas mineras (casi sin excepción con explotación subterránea) cuyo mineral se transporta por caminos públicos y
- Plantas de concentración

#### **3.3.2.1 Faenas mineras con plantas de concentración**

La mina Santos, con la planta de concentración Aguirre Cerda y los proyectos de Bronce de Atacama y de la planta de concentración Pucobre, con las minas Trinidad y Socavón Rampa, poseen una extracción y concentración real o prevista estimada en 5.000 t de mineral de cobre por día cada una.

Las faenas de la mina Santos/ planta Aguirre Cerda se caracterizan por lo siguiente:

- Las minas actuales son subterráneas.
- Los minerales se transportan desde la mina hacia el lugar donde se realiza el proceso de concentración en camiones de gran capacidad por caminos de propiedad de la compañía. Si bien no siempre puede evitarse la presencia de una notable cantidad de polvo, debiera controlarse por lo cercana que está la ciudad de Tierra Amarilla.

- Los relaves resultantes de la concentración se bombean a través de ductos que atraviesan la ciudad de Tierra Amarilla, hacia tranques que a menudo están bastante alejados de las plantas.

Planta	Longitud del ducto planta - tranque km	Parte del ducto situado en el valle Copiapó km
Aguirre Cerda	2	2
Pucobre (proyecto)	10	3
Bronce (proyecto)	16	11

Un accidente ocurrido en octubre de 1996 puso en evidencia que este tipo de ductos puede tener fugas. Como estos relaves, aparte de contener principalmente lodo de roca estéril, contienen también partículas de sulfuros y restos de reactivos de flotación, hubo que limpiar el cultivo de parronales de uva que en ese entonces, se había inundado.

- Las faenas y plantas de este tamaño cuentan con especialistas para la protección del medio ambiente y para la seguridad de trabajo. Las condiciones al respecto de la planta Aguirre Cerda constituyen un ejemplo.

El mineral in situ se explota mediante tronaduras subterráneas. Debido a la cercanía de la minas a Tierra Amarilla es indispensable controlar las vibraciones provocadas por éstas.

La mina Santos sufrió inundaciones que la obligaron a cerrar los niveles inferiores. Como consecuencia de esta medida disminuyeron notablemente las vibraciones de tronaduras anteriormente percibidas en Tierra Amarilla. También se evitó de esta manera el peligro de una repetición de hundimientos, últimamente ocurrido en el año 1993.

\* ~~La ciudad de Tierra Amarilla se ve afectada en forma especial por varios tranques de relaves secos de la Sociedad Ojos del Salado, que están ubicados al este de la ciudad. El material particulado, que contiene restos de sulfuros, es arrastrado a menudo por el viento sobre la ciudad. Para mejorar esta situación la Cia. Minera Ojos del Salado por iniciativa propia desarrolla un proyecto denominado "Mejoramiento ambiental de los tranques abandonados en el sector Trinidad".~~

### 3.3.2.2 Faenas mineras (minas de cobre)

En la zona de estudio, este grupo abarca 17 faenas con un volumen de extracción diaria de entre 10 y 1500 t, en total 4.000 t/d. Con excepción de una sola (Amolanas), todas son minas de explotación subterránea que extraen minerales con contenidos de 1,2 a 3,5% de cobre, que a menudo son auríferos.

El impacto ambiental de estas faenas es limitado. En general, se trata principalmente de modificaciones del entorno natural a causa de caminos y botaderos e instalaciones de transporte y carga. Durante la fase activa de las minas esto es inevitable y éstas afectan donde la explotación minera se realiza a pocas centenas de metros de zonas pobladas como en el caso de Tierra Amarilla. Hasta ahora no era habitual, después del cierre de una planta, integrar en el entorno natural botaderos y rampas de carga.

Los minerales de estas minas se transportan en camiones grandes por la red vial pública a las plantas de concentración, que a menudo están ubicadas a más de 30 km de distancia.

### 3.3.2.3 Plantas de concentración

Aparte de una sola planta de lixiviación de minerales de óxido de cobre cerrada actualmente (Amolanas, 1997, última producción: 5 t/d), se trata de plantas de flotación para minerales de sulfuro con una capacidad instalada total de aproximadamente 9.000 t/d.

Conviene describir las observaciones ambientalmente relevantes hechas en las plantas de flotación, haciendo una distinción entre las diferentes unidades operacionales.

- \* Trituración del mineral (chancado, molienda)
- \* Flotación (flotación, secado del concentrado)
- \* Transporte de los relaves
- \* Tranques (sedimentación de los relaves)

El siguiente resumen describe ejemplos típicos de situaciones ambientales conflictivas, especialmente de plantas de concentración.

- La trituración de los minerales

En las plantas más grandes el mineral se tritura en chancadores y molinos en varias etapas, mientras que en las plantas más pequeñas, el material es pretriturado fuera de éstas, para

luego ser vertido directamente en los trapiches. Las deficiencias en la pequeña minería son:

- \* Gran presencia de polvo en los chancadores y en las cintas transportadoras. El personal que allí trabaja no usa ni mascarillas ni protectora.
- \* En general, no se toman suficientes medidas para impedir la difusión del polvo tanto en la planta misma o en sus alrededores.

#### • Flotación

Junto con la molienda, la flotación es la etapa del proceso en la que más cantidad de agua se consume y en la que se utilizan aditivos químico-orgánicos, que hoy en día son en su mayoría biodegradables.

Como el agua y especialmente los aditivos de flotación son sustancias caras, los responsables de las plantas se preocupan generalmente de que los ductos no tengan fugas.

Los concentrados de sulfuro se dejan secar en patios cementados antes de ser despachados, evaporándose allí una parte de los aditivos de flotación que aun contienen y gran porcentaje del agua.

#### • El transporte de relaves

Los residuos de la flotación (96% del mineral original) se bombean en calidad de relaves a través de ductos y se depositan en tranques. En el caso de las plantas aquí analizadas, el tranque está generalmente dentro del recinto de la planta. Sólo tres de las plantas más grandes (San Esteban, Ojancos y Cerrillos) transportan sus relaves a tranques ubicados a hasta dos km de distancia.

Con especial cuidado deben controlarse las tuberías que atraviesan el valle del Río Copiapó (San Esteban) o las que van paralelas a éste (Ojancos), ya que, en estos casos, la posibilidad de que en el caso de una eventual fuga que contamine el agua subterránea es muy grande.

#### • Los tranques de relaves

Los tranques de relaves son una de las instalaciones de la explotación minera mejor controladas por la actual legislación chilena desde el punto de vista de su diseño, construcción y operación. De acuerdo al nuevo reglamento para la aplicación de la Ley Base del Medio Ambiente, en el futuro está también previsto la obligación al monitoreo del agua.

En efecto, cada tranque de relaves tiene, de acuerdo a su ubicación y tipo de construcción, una capacidad máxima de carga permitida por SERNAGEOMIN. Además su construcción debe ser asísmica.

Muchas veces en estas plantas no se cumplen las normas con respecto a su vida útil o su manejo en general:

- \* En reiteradas oportunidades no se respetaron en el pasado los plazos otorgados para la utilización de los tranques de relaves o éstos volvieron a utilizarse sin autorización alguna. En uno de los casos se desbordó uno de ellos y el agua contaminada llegó hasta los parronales de uva cultivados cerca de allí (Elisa de Bordos).
- \* En un caso especialmente extremo, la planta Tania, que hoy se encuentra paralizada, evacuó sus relaves durante muchos años en la vega del río Copiapó, ya que se había cumplido el plazo máximo de uso del tranque de relave.

### **3.4 Tratamiento de minerales de oro de minas pequeñas/ El proceso de amalgamación**

En numerosas minas ubicadas en lugares apartados de la zona de estudio se explotan minerales argentíferos de oro con contenidos promedio de alrededor de 5-10g Au/t. La producción de estas minas es generalmente de entre pocas decenas de t/día y algunas t/semana, que a menudo son transportadas a las plantas de concentración ubicadas muchas veces a más de 30 km de distancia y cerca del agua disponible.

El mineral contiene el llamado "oro libre" que se extrae amalgamándolo durante el proceso de molienda en los trapiches y oro integrado en los sulfuros de cobre (oro fino). Los sulfuros corresponden aproximadamente a un 8% del mineral en bruto. Durante el proceso de amalgamación se introduce una cantidad de mercurio varias veces mayor que el contenido de oro.

Generalmente el oro amalgamado se reduce en laboratorios en Copiapó mediante un proceso de sublimación de mercurio, y se separa la plata no deseada con ácido nítrico. Sólo puede venderse el oro puro. En algunos casos se hace la reducción en la misma planta, o peor, en casa.

El concentrado de sulfuro aurífero (Cu/Au) se vende a la Empresa Nacional de Minería (ENAMI) y generalmente se continúa tratando en la fundición Ventanas (V Región) de la misma empresa.

Los relaves se depositan en los tranques situados cerca de la planta de concentración.

## Estudios

Actualmente, hay alrededor de 20 plantas instaladas en las inmediaciones de la ciudad de Copiapó que poseen una capacidad de concentración para minerales de oro de un total de aproximadamente 450 t/día; la capacidad individual oscila entre las 5 y 60 t/día, el grado de utilización varía bastante de una planta a otra, pero el promedio debe ser actualmente de un 70% aproximadamente, es decir un total de 315 t/d. De éstas le corresponden a los concentrados de sulfuro aproximadamente un 8%, es decir 25 t/d y un 92%, es decir 290 t/d a los residuos de flotación.

Los concentrados de sulfuros auríferos analizados contienen entre 450 y 7.300 g de mercurio por tonelada. Haciendo una estimación conservadora, puede partirse de un valor promedio de 800 g Hg/t, del que resulta una cantidad de 20 kg Hg/d en 25 t de concentrados que abandonan la zona de estudio de Copiapó, hacia la fundición Ventanas.

En los relaves se constató un valor promedio aproximado de 35 g Hg/t, del que resulta una cantidad de 10 kg Hg/d en los 290 t/d que se depositan en los tranques en las inmediaciones de Copiapó o en la ciudad misma. Calculando 300 días de trabajo por esto corresponde a 3 t de mercurio por año. Si se hace un cálculo sobre 20 años de vida productiva en el pasado, esta cantidad de Hg depositado correspondería a una cantidad calculada de por lo menos 60 t. A esta cantidad habría que agregar al menos 10 t de mercurio de tranques ya abandonados.

Desde el punto de vista ambiental, debe considerarse lo siguiente:

- En efecto, por su baja altura y su pequeña capacidad, los tranques de relaves de las plantas de amalgamación no corren tanto peligro en caso de sismos, pero debido a las fuertes lluvias caídas en junio de 1997, pudo observarse erosiones en tranques y arrastres de material.
- \*◦ De los viejos tranques de la planta Guggiana que no tienen ningún sistema de retención las aguas de lluvia movilizaron cantidades no calculables de relaves al río Copiapó.
- \*◦ Desde la planta abandonada Bellavista que está ubicada a menos de un kilómetro al norte de urbanizaciones nuevas de la ciudad de Copiapó, fueron arrastrados hacia la ciudad varias toneladas de relaves con contenidos de alrededor de 35 g Hg/t.
- \*◦ La directa coexistencia de zonas pobladas y plantas de concentración, tranques contaminados con mercurio y laboratorios para la reducción de la pella, representa un serio peligro para la salud y requiere de un control adecuado por parte de las autoridades competentes.
- \*◦ Dentro de la futura planificación urbana de Copiapó, está prevista la construcción de urbanizaciones en la zona de Viñita Azul, lo que significa que éstas quedarían en las

inmediaciones de plantas de concentración con amalgamación de oro y tranques de relaves, activos y abandonados (Victoria, Papapietro, Porvenir, San Juan, Castellón).

- En el estudio socioeconómico realizado por el proyecto (SRK, 1995) se llega a la conclusión de que los pequeños mineros no aceptan la sustitución de la amalgamación por un proceso de cianuración cerrado. Con el fin de poder aprovechar al máximo el rendimiento de la planta y por razones técnicas, habría que mezclar una cierta cantidad de minerales, lo que para los mineros es una condición inaceptable.

Como alternativa, en este estudio se propone mejorar el método tradicional de amalgamación, especialmente en el proceso de reducción de la aleación. Existe la posibilidad de utilizar para este proceso una retorta cerrada que permite la separación del mercurio casi sin pérdida.

### 3.5 El transporte minero (cobre) por caminos públicos

Copiapó y Tierra Amarilla son las ciudades más afectadas en la Región por el transporte minero. El material que se transporta podría en caso de accidente y contaminar el suelo y el agua subterránea.

En el "Esquema de Flujos de Masa - Minería de Cobre" ( mapa en el anexo) se presenta el flujo cuantitativo de los minerales, concentrados, residuos de concentración y metales que son transportados en la zona de estudio. Para los dos sitios mas afectados por el transito pesado valen los siguientes datos, considerando camiones con una capacidad de 20 toneladas:

Material transportado	<u>Copiapó</u>		<u>Tierra Amarilla</u>	
	Cruce Ruta 5/Copayapu		Travesía de la ciudad	
	t/día	n°.camiones por día	t/día	n°. camiones por día
Mineral de cobre	3.450	175	2.250	113
Concentrado de mineral de cobre	1.060	53	215	11
Anodos de cobre	175	9	-	

Aquí no se incluyó el transporte de plantas pequeñas y de la planta Matta (capacidad: 2500 t/d), que reciben sus minerales de diferentes minas, en parte de lugares fuera de la zona de estudio. Lo que quiere decir que el porcentaje de transportes de mineral de cobre es considerablemente mayor y que en Copiapó representa más de un 75% de los transportes de materias primas. Aparte de los concentrados que contienen sulfuros y restos de aditivos de

flotación, el contenido de este tipo de transportes no constituye una amenaza potencial para el medio ambiente.

Diferente es el caso de los transportes de aceite, bencina, otros reactivos y componentes químicos, ácidos, cianuro de sodio y sustancias explosivas que en caso de un eventual accidente, podrían poner en gran peligro el medio ambiente y la salud de las personas involucradas. Se recomienda a las autoridades competentes analizar minuciosamente el flujo de masas a transportar.

Lo que cabe destacar aquí es que el punto de mayor densidad de transportes pesados mineros es el cruce entre la Ruta 5 y la Avenida Copayapu. En esta misma área se concentra también la máxima vulnerabilidad a la contaminación del agua subterránea en esta parte del valle de Copiapó.

### 3.6 Minería de materias primas no metálicas

En tres sitios del área de estudio se explotan calizas y en uno de ellos se produce además cal. En el valle del río Copiapó se explotan entre Copiapó y Tierra Amarilla en muchos sitios gravas y arenas como material de construcción. En dos sitios, cerca de Viñita Azul, se producen ladrillos con las arcillas que allí se encuentran.

#### 3.6.1 Caliza

Con la excepción de la fábrica de cal en la Quebrada de Cardones (al sur de Copiapó), que está depositando el polvo sobre sus alrededores, todas las críticas se dirigen al campo de la seguridad minera; esto vale especialmente para las pequeñas minas subterráneas de San Juan (Hoja Elisa de Bordos/Quebrada Carrizalillo) y de Reventón (Hoja Copiapó/ al sur de la Quebrada Las Pintadas).

##### Planta „Cal“

La falta casi total de medidas de protección hace que el polvo de cal se esparza sobre todos los alrededores; constituye una molestia para el personal de los trapiches cercanos y una amenaza para la salud de los trabajadores de la propia planta de cal.

##### Mina San Juan

Las minas tienen una producción muy ocasional y presentan el aspecto de cavernas abandonadas; por falta de agua se perfora en seco y no se observan medidas de

seguridad suficientes contra posibles derrumbes de los techos. Salud y vida de los mineros están en peligro en esta mina.

### Mina Reventón

En la mina subterránea que tiene una producción de 60 t/d , no se usa agua para las perforaciones ni tampoco en las vías de transporte. El polvo que abunda durante las actividades extractivas pone en peligro la salud de los mineros.

### 3.6.2 Extracción de áridos

La creciente demanda de materiales granulares para la construcción (gravas, arenas y otros) se satisface explotando los depósitos fluviales, marginales al actual cauce del río Copiapó. Actualmente la explotación industrial, con una producción diaria en el rango de 800 a 900m<sup>3</sup>, se concentra entre Tierra Amarilla y salida de la quebrada de Paipote.

Las extracciones artesanales se concentran en el cauce seco del río en los sectores de Viñita Blanca y Viñita Azul. El número permanente de artesanos fluctúa entre 45 y 60, con una producción individual diaria entre 3 a 4 m<sup>3</sup>.

Estas actividades dan lugar al desarrollo de voluminosas excavaciones, las que con mucha frecuencia se utilizan como posteriores receptáculos para albergar la depositación clandestina de residuos domiciliarios, transformándose en activos y permanentes focos de contaminación. Como efecto directo las excavaciones artesanales favorecen la erosión de tierras utilizadas para la agricultura.

### 3.6.3 Extracción de arcillas

La extracción de arcillas se concentra en torno al cauce seco del río Copiapó, en las inmediaciones del puente de acceso al sector de Viñita Azul. La producción de ladrillos se realiza a partir de hornos piramidales utilizando como material energético carbón o leña. La actual producción satisface las demandas para la construcción de la ciudad de Copiapó.

Las actividades descritas se realizan prescindiendo de consideraciones ambientales.

## 4. Geología ambiental - Geología aplicada

### 4.1 Suelos, lugares públicos y áreas de recreación

Se analizaron en forma selectiva muestras de suelos en cultivos de parronales, lugares públicos y áreas de recreación para investigar su posible contaminación por emisiones originadas de actividades mineras ( metales pesados, arsénico, compuestos orgánicos).

#### Metodología

La clasificación de posibles contaminaciones del suelo se basa, en el marco de este estudio, en el concepto de la orientación de los valores, en el tipo de uso del suelo y de acuerdo a los bienes a proteger (valores de suelo I a III) con respecto a los elementos tóxicos contenidos en los suelos. Este "Sistema de Tres Clases" creado por EIKMANN & KLOKE (1993) "nació de la experiencia generalizada de que para los diferentes bienes a proteger existen distintos niveles de tolerancia y toxicidad".

Las tres clases del suelo (BW I a BW III) cuyos valores para una selección de elementos potencialmente nocivos se resumen en Anexo 7 se caracterizan de la siguiente manera:

- BW I : uso de suelo posible sin restricciones
- BW II : valor de tolerancia; a pesar de influencias sobre los bienes a proteger, no produce efectos negativos en la calidad de vida de quienes serán sus usuarios a largo plazo
- BW III : valor de intervención; contenidos de sustancias nocivas excediendo este valor pueden causar daños en los usuarios

Las tres clases dependen del tipo de uso del suelo; es decir para un parque de juegos infantiles son válidos otros valores límites que por ejemplo para áreas cultivadas o industriales. Esta diferencia se debe a las distintas vías de absorción de las sustancias nocivas que existen.

Los valores correspondientes, resumidos en Anexo 7, sin embargo, no deben entenderse como valores fijos, sino más bien, al hacerse las evaluaciones, deben considerarse las condiciones locales y el contenido natural de las rocas y del suelo.

Como se constataba un aumento de la concentración de elementos en los suelos, también se tomaron muestras y analizaron uvas.

La clasificación del suelo se realizó de acuerdo al sistema chileno de clasificación del uso de suelos, con las categorías del 1 al 8 - correspondientes a "no cultivable" hasta "cultivable sin limitación alguna".

## Resultados

De entre los numerosos estudios y resultados, cabe destacar los siguientes:

### ◦ Muestreos en parronales

En cinco empresas productoras de uva se tomó un total de 308 muestras de suelo en línea en distancias de aproximadamente 30 a 50 m entre las muestras.

En los suelos de dos de las empresas que están situadas en las inmediaciones de plantas activas de concentración y en una empresa cerca de un tranque abandonado (seco) de relaves de flotación de sulfuros de cobre, se constataron valores elevados de Cu y As entre las categorías del BW II y BW III, algunos por encima de BW III.

**Por cierto no existe peligro alguno para cultivar estas zonas con parronales de uva.**

Considerando las condiciones pedológicas y ecológicas existentes no hay actualmente una amenaza directa para las plantas y el agua subterránea.

**A pesar de que en las muestras de uvas analizadas se logró constatar una correlación entre valores de metales pesados en el suelo y en la fruta misma, puede recomendarse el consumo de éstas sin riesgo alguno, ya que los valores absolutos medidos en las uvas son muy bajos; en parte están por debajo del límite de detección analítica.**

### ◦ Áreas de recreación

Las áreas investigadas de recreación, como parques, plazas de juegos y canchas de deportes de Copiapó y Tierra Amarilla, fueron seleccionadas de tal manera que se abarcara un amplio espectro de uso y/o una distribución pareja de las áreas en el perímetro de la ciudad.

Hacemos hincapié sobre el hecho de que las concentraciones de elementos en el suelo han sido analizadas tomándose en cuenta el uso del suelo y el bien a proteger. Esto queda especialmente en evidencia en este capítulo, ya que, por ejemplo, en la misma área deben aplicarse diferentes criterios, que con los mismos valores, arrojan resultados distintos. ~~Por ejemplo, un contenido de arsénico de 75 mg As/kg de suelo en un área utilizada como parque (p.e. prados) está aún dentro de la categoría del BW II y, por lo tanto, es tolerable.~~ Para una cancha de fútbol hasta 90 mg As/kg de suelo son tolerables, mientras que para una plaza de juego el valor de intervención (BW III) se reduce a 50 mg As/kg de suelo. Esto muestra las diferentes (y principales) vías de absorción; en un parque, que está cubierto con césped casi por completo y en donde hay poca presencia de polvo, la vía de ingestión es predominantemente inhalativa. En una cancha de fútbol, relativamente polvorienta es

principalmente inhalativa y en una plaza de juegos, los niños aspiran polvo y comen tierra, por lo que el valor de tolerancia debe ser aquí más bajo. Por consiguiente, la comparación aquí también se hace tomando en cuenta el "Sistema de Tres Clases".

### Copiapó

En la zona de la plaza de juegos del parque "René Schneider", algunos valores de As se encuentran por encima del margen de tolerancia de la categoría del BW II.

**Se recomienda tomar medidas de protección para la vía de ingestión más sensible. El área podría cubrirse con material "inerte" o césped.**

En la plazoleta de juegos "Villa Arboleda", el contenido de As está en la clase del BW III. El contenido de Hg está cerca del BW III. Por ejemplo, una mezcla de suelo de ambas profundidades analizadas, permitiría un equilibrio tolerable de As.

En la cancha de fútbol "Universidad de Atacama" no se registraron contenidos elevados.

En la plazoleta de la "Población Paipote" no se constataron valores preocupantes.

En las muestras tomadas en el parque "El Pretil", no se registró contaminación.

Lo que resulta curioso es que los contenidos de Hg son frecuentemente más altos en el césped que en los cuadros de flores (posiblemente por el efecto de dilución que se produce al remover el suelo). Es posible, que a través del césped y/o riego por lluvia se acumule una mayor cantidad de Hg en el aire. Considerando la propagación de laboratorios de amalgamación en la ciudad, sería recomendable documentar la calidad del aire en sus alrededores.

### Tierra Amarilla

En las muestras tomadas en los siguientes lugares no se registraron contenidos elevados de metales pesados:

- Plazoleta Punta del Cobre
- Plazoleta al lado de la Plaza de Podellios
- Plazoleta Cancha de Carrera
- Estadio Eladio Rojas Díaz
- Piscina Municipal



En la plaza de juegos del "Liceo C 10 Jorge Alessandri R." existen contenidos relativamente altos de As. Con 65 y 75 mg As/kg de suelo encontrados en algunas muestras tomadas en profundidades de 0 a 15 cm y de 5 a 19 cm, los contenidos se encuentran por encima del BW II que tolera 50 mg de As para plazas de juegos infantiles. Sin embargo, si el área se utiliza como cancha de deportes, 90 mg As se consideran tolerables. En cambio, los valores de Cu tienen, con 1403 a 4718 mg/kg de suelo, más de 15 veces por sobre el valor de tolerancia de 300 mg Cu/kg de suelo.

Aquí también se recomienda tomar medidas de protección para la vía de ingestión más sensible (vía bucal o respiratoria). El área podría cubrirse o sellarse con material "limpio" o simplemente con hormigón o césped.

En el parque "Rafael Torreblanca", los valores de Cu son el doble más altos que lo tolerable para plazas de juego de niños. Aquí se recomienda tomar medidas de protección para la vía de ingestión más sensible. El área podría cubrirse con material "limpio" y otra alternativa sería revestirla por completo con césped.

En Tierra Amarilla se encontraron áreas de juegos y de recreación con contenidos de Cu de > 4000 mg/kg de suelo. Estos valores exceden más de la cuenta los límites de tolerancia de acuerdo al uso y al bien a proteger.

No es posible comprobar en base al presente estudio, si el material fue traído y aplicado o si ello es producto de una mineralización natural. Es necesario buscar una solución por el bien de los niños, ya que por ejemplo si el material se sedimenta en los pulmones, la reabsorción de éste es de un 100%. Para estos casos podría proponerse cubrir las áreas con suelo no contaminado o simplemente cambiar el suelo. En todo caso es necesario detener esta vía de contaminación

#### 4.2 Aguas (hidrogeología / hidroquímica)

Con el fin de contribuir al mejoramiento del manejo del recurso hídrico y al conocimiento de su vulnerabilidad se realizó un estudio hidrogeológico que se centró en los aproximadamente 100 km del valle del río Copiapó entre el sector de Piedra Colgada y el embalse Lautaro y se extendió a los principales tributarios, los ríos Pulido, Jorquera y Manflas.

## Resultados

### Hidrogeología

El resultado básico principal es el Mapa Hidrogeológico del valle Copiapó entre Piedra Colgada y el Embalse Lautaro, escala 1:25.000, en cuatro hojas. En este mapa se documentan y caracterizan ocurrencia, comportamiento y calidad del agua subterránea.

Segun la evaluación del informe de ALAMOS & PERALTA (1995), en el año 1995 la extracción de aguas subterráneas en el valle alcanzó 3.965 l/s (125 Mm<sup>3</sup>/a) mientras los ingresos totales de agua al valle en sus cabeceras tanto en forma superficial como subterránea se calcularon en 3.250 l/s (102 Mm<sup>3</sup>/a). Al mismo tiempo los Derechos de Aprovechamiento Concedidos más los en trámite alcanzan 18.169 l/s. Las reservas embalsadas se han calculado a 1.400 Mm<sup>3</sup>, asumiendo un espesor saturado de 125 m de relleno y un rendimiento específico de 20%.

En el año 1960 empezó el registro histórico de variaciones de niveles estáticos del agua subterránea en los acuíferos del valle de Copiapó. En este registro puede apreciarse que entre los años 1960 y 1981 se produjo un descenso de niveles casi continuo interrumpido por pequeños ascensos entre 1966-67 y 1973-75 que no lograron revertir la tendencia general. A partir del año 1981 y como resultado de las lluvias del período de 1980-87, los niveles comenzaron a subir llegando a su nivel inicial (1960) al final de 1985 e incluso sobrepasando los niveles de 1960. Desde 1988 se observa una situación de descensos hasta la fecha, sin ser mayores que la situación de 1960.

**Después de las fuertes lluvias del año 1997 sería imprescindible un monitoreo del balance de agua de la cuenca del río Copiapó destinado a verificar la eventual recuperación de los niveles estáticos.**

### Hidroquímica

Las aguas superficiales, tomadas del río Copiapó, son fuertemente sulfatadas, calcico-sódico-magnésicas, relativamente duras, dulces, de pH neutro; hacia el sector de Piedra Colgada son duras y salobres.

**Las aguas superficiales superan las normas de agua potable en SO<sub>4</sub> a lo largo de todo el valle, y TSD en Piedra Colgada.**

Todas las muestras de agua subterránea presentaron un pH neutro a ligeramente básico. En general, y en el sentido de escurrimiento, las aguas exhiben un aumento gradual en sus concentraciones de elementos mayores, junto con una disminución en sus contenidos de oxígeno disuelto. En el sector de Juntas de Manflas y Nantoco, la composición química es bastante homogénea. Las aguas son sulfatadas-bicarbonatadas a sulfatadas, cálcicas-sódicas-magnésicas a cálcicas-sódicas, dulces; con el sentido de escurrimiento de las aguas su dureza aumenta de relativamente dura a dura. Entre Nantoco y San Pedro las aguas

subterráneas presentan una mayor variabilidad en sus componentes iónicas. Son sulfatadas a sulfatadas-bicarbonatadas; algunas son levemente cloruradas, especialmente hacia los flancos del valle; son dulces y salobres hasta Copiapó y salobres desde Paipote a San Pedro. Desde la descarga de aguas servidas en Bodega se presentaban valores levemente elevados de  $\text{NO}_3$  y un exceso en TSD,  $\text{SO}_4$  y Cl, ello considerando, que en la actualidad (1998) tales aguas servidas son objeto de tratamiento.

**Las aguas subterráneas superan las normas de calidad de agua potable en :**  
 **$\text{SO}_4$  en todo el valle, en TSD desde Nantocó a San Pedro, regularmente en Cl desde Copiapó a Piedra Colgada, puntualmente en Fe desde el Embalse Lautaro a San Pedro, e individualmente en Mn, Mg y Pb.**

### Vulnerabilidad

El término **vulnerabilidad a la contaminación de un acuífero**, indica su sensibilidad a ser afectado por una carga contaminante impuesta accidentalmente o a largo plazo.

Se determinó la vulnerabilidad de los principales acuíferos radicados en el relleno sedimentario del valle del río Copiapó usando un sistema de puntaje elaborado por los Servicios Geológicos de la República Federal de Alemania (1994). En las dos hojas del **Mapa de Vulnerabilidad** en escala 1:50.000 se presenta la extensión de áreas de diferentes categorías de vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos.

**En general la vulnerabilidad está controlada principalmente por la profundidad de los niveles estáticos. Esta circunstancia explica porque en los flancos del valle generalmente se registra baja vulnerabilidad. Alta vulnerabilidad se presenta en zonas cercanas al cauce actual del río y en zonas de vegas donde los niveles estáticos son muy someros. La extensión de estas áreas varía considerablemente: se amplían durante períodos con niveles estáticos altos y se reducen como producto de descenso en los niveles estáticos debido a la falta de precipitaciones.**

## 5. Bibliografía

### Informes del proyecto

- ADASME A., C. (1996): Aspectos básicos minero-ambientales del área piloto - Valle del Copiapó, Tercera Región.  
Proyecto Ambiental Geológico-Minero; 37 p., 43 fig., Santiago.
- AGUIRRE, I., C. ESPEJO, A. HAUSER y B. SCHWERDTFEGGER (1998):  
Investigaciones hidrogeológicas e hidroquímicas en el Valle Copiapó.  
Proyecto Ambiental Geológico-Minero (en preparación).
- EBERLE, W., (con C. ESPEJO, G. ROBLEDO y R. ROJAS) (1998/1):  
El desarrollo histórico y los pasivos de la explotación minera en el curso medio y alto del Valle de Copiapó, III Región, Chile.  
Proyecto Ambiental Geológico-Minero; 33 p., 5 mapas, 44 fotos, 6 fig. y 3 tablas; Santiago.
- EBERLE, W., (con C. ESPEJO, G. ROBLEDO, R. ROJAS y K. ZIMMERMANN) (1998/2):  
Investigaciones sobre la permanencia del mercurio en el proceso de amalgamación de oro en la pequeña minería de Copiapó, III Región, Chile.  
Proyecto Ambiental Geológico-Minero, 15 p., 2 mapas, 27 fotos; Santiago y Hannover.
- HAUSER, A. (1996): Subsistencia y/o hundimientos conexos a laboreos mineros abandonados o activos.  
SERNAGEOMIN (inf. interno); 3 p., Santiago.
- HAUSER, A. (1997): Consideraciones referidas a aspectos geoambientales / Extracción de áridos y arcillas.  
SERNAGEOMIN (inf. interno); 8 p., Santiago.
- MÜLLER, H.-W. (con I. AGUIRRE, M. VILLALOBOS, F. SCHWARZ) (1996):  
Informe técnico de pedología; Proyecto Ambiental Geológico-Minero, Santiago yBGR / Hannover.
- SRK (STEFFEN, ROBERTSON & KIRSTEN) (1995): Estudio socioeconómico Pequeña Minería - Cuenca Río Copiapó.  
Estudio por encargo del Proyecto Ambiental Geológico Minero, Santiago

TEICHERT, H. (1996/1): Diagnóstico de la organización administrativa del sector minero-ambiental  
Estudio por encargo del Proyecto Ambiental Geológico Minero

TEICHERT, H. (1996/2): Diagnóstico del impacto ambiental de la minería en la III Región de Chile (3 tomos).  
Estudio por encargo del Proyecto Ambiental Geológico Minero

XXXXXXXXXXXXXXXXXX

Otras fuentes importantes

ALAMOS & PERALTA (1995): Análisis y evaluación de los recursos hídricos del valle del río Copiapó, III Región.

ALVAREZ G., O. (1979): Atacama de Plata, 267 p., Ediciones Toda America

EIKMANN, T. u. A. KLOKE (1993): Nutzungs- und schutzgutbezogene Orientierungswerte (für Schad-) Stoffe in Böden.  
In : ROSENKRANZ, D. et al. 1988 - 1996.

Instituto Geográfico Militar (1989): Geografía de Chile, Tomo III, „De Atacama“. 206 p., 70 fig., 58 tablas, Santiago.

Ministerio de Agricultura / Servicio Agrícola y Ganadero (SAG) (1989):  
Uso del suelo en el valle de Copiapó; mapas en escala 1 : 20.000.

Ministerio de Vivienda y Urbanismo (1993): Plan regulador comunal Copiapó.  
6 mapas en escala 1 : 5.000.

SAYAGO, C.M. (1973): Historia de Copiapó (cópia de la primera edición 1874);  
XV + 629 p., laminas; Buenos Aires.

SONAMI (Sociedad Nacional de Minería) (1905): Estadística Minera de Chile en 1903  
321 p., 2 mapas, Santiago.

Minería de cobre a rajo abierto	Polvo y ruidos molestos causados por perforaciones	Producción de polvo y vibraciones a causa de tronaduras	Poivo y ruidos molestos durante el transporte de minerales en la mina	Vulnerabilidad del agua subterránea	Modificaciones del paisaje	Riesgos para la población civil
Faenas grandes (solamente Candelaria) con una producción de 30.000 Ud	La producción de polvo es controlada y la protección individual es obligatoria y se controla.	Considerable dentro del rajo. En Tierra Amarilla apenas se perciben las vibraciones; no se conocen daños.	Poivo y ruidos durante la carga; la protección individual es obligatoria y se controla.	No es probable que se contamine el agua subterránea.	Considerables. En alrededor de 15 km <sup>2</sup> se ha modificado la naturaleza por la explotación a rajo y los botaderos.	La faena se encuentra vigilada, no existe peligro alguno.
Faenas medianas (solamente los rajos abandonados de Santos y Cerro Imán)	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	No existe; en Cerro Imán el fondo del rajo está inundado.	En ambos casos considerables; en Cerro Imán hay muchos botaderos al lado del aeropuerto.	Santos se encuentra vigilado. En Cerro Imán existe peligro de caída para bañistas desautorizados.
Faenas pequeñas (solamente Amolanas I está activa); por lo demás varios pequeños y muy pequeños rajos abandonados en la montaña	No existe producción de polvo o sólo en pequeña escala; por lo demás, irrelevante.	Poca, debido a pequeña producción; por lo demás, irrelevante.	Poco; ver también Amolanas II (faena de explotación subterránea)	No existe	Cortes en la pendiente escarpada; aquí y en los rajos abandonados no han habido modificaciones considerables; lejos de la civilización.	No hay riesgos; lejos de la civilización.

Minería de cobre subterránea						
Faenas medianas con una producción de alrededor de 5.000 Ud (solamente la mina Santos)	La producción de polvo es controlada; la protección individual contra ruidos y polvo es obligatoria y se controla.	Vías de transporte se mantienen mojadas. En Tierra Amarilla las vibraciones se perciben en forma manifiesta.	Considerables ruidos; la protección individual contra ruidos es obligatoria y se controla.	Como consecuencia de grandes infiltraciones de agua subterránea se sellaron los niveles inferiores; aun después, gran presencia de agua, que se aprovecha en la faena o se evacua.	Modificaciones del paisaje dentro de lo normal; mediante caminos y botaderos (ver abajo, pertenece al conjunto de Punta del Cobre / Tierra Amarilla).	Vigilada, acceso no permitido. En el pasado (8/1993) se produjeron hundimientos al borde de Tierra Amarilla; la situación es controlada.
Faenas con una producción de menos de 3.000 Ud (alrededor de 15 faenas, de las cuales 7 están ubicadas al este de Tierra Amarilla)	Por lo general, se controla la producción de polvo; la protección individual es obligatoria.	La ventilación no siempre es suficiente para la salida rápida del polvo. En Tierra Amarilla apenas se perciben las vibraciones de tronaduras.	Presencia considerable de ruidos y polvo; Normas de protección individual normalmente controladas en las faenas.	Por lo general baja presencia de agua; Excepción: Amolanas II; gran presencia de agua que se utiliza en la planta.	Considerables al este de Tierra Amarilla en Punta del Cobre por la aglomeración de varias faenas (construcciones caminos, botaderos).	Generalmente se encuentran vigiladas y no está permitido su acceso.

Minería subterránea de minerales de oro						
Casi exclusivamente faenas artesanales antiguas sin producción continua (10 a 20 faenas activas)	Considerables. Se perfora en seco. Por lo general no existe la protección individual o ésta es insuficiente.	La producción de polvo es considerable y en la mayoría de los casos, la ventilación es deficiente. Las vibraciones son insignificantes.	En general insignificante.	Probablemente insignificante.	Considerables, ya que en la mayoría de los casos forman conjuntos de muchas faenas; pero lejos de la civilización.	Por lo general, se encuentran vigiladas y no está permitido su acceso. Normalmente en áreas muy remotas.
Minería subterránea abandonada						
Varios cientos de socavones abiertos, piques, calicatas profundas; botaderos y ruinas, a menudo distribuidos en varios km <sup>2</sup>	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Probablemente insignificante.	Considerables, especialmente debido a la aglomeración de botaderos y ruinas de faenas distribuidos en varios km <sup>2</sup> , pero en general, muy lejos de la civilización.	Extremadamente peligroso (pliques abiertos de hasta 300m de profundidad), pero en general inaccesible. Excepción: los distritos Chancoquín y Llano Chamonate, que de vez en cuando reciben visitantes de Copaló.

**Situaciones ambientales características y específicas de las minas activas y abandonadas en el curso medio del valle de Copiapo, III Región, Chile (Ref.: 1997)**

Flotación de minerales de cobre	Producción de polvo durante el transporte de minerales / Utilización de las vías públicas	Polvo y ruido en el proceso de chancado y molienda	Riesgos para la salud debido a sustancias químicas	Protección del suelo en la planta	Producción de polvo durante el transporte de concentrados / Utilización de las vías públicas	Medidas de seguridad en la planta	Transporte de los relaves (continúa en la tabla "Tranques de Relaves")
Planta grande con una producción de 30.000 t/d (sólo Candelaria)	Transporte dentro de la planta sobre caminos de tierra; en su mayoría húmedos.	Reducción de polvo, conforme a las normas. Protección individual contra polvo y ruido, conforme a las normas.	Flotación: riesgos bajos debido a la existencia de grandes galpones con ventilación. El manejo de reactivos químicos corresponde a las normas de salud y de seguridad.	Conforme a las normas, no existe peligro de infiltración de aditivos de flotación e insumos o de relaves.	Polvo controlado en 12 km de camino de tierra (húmedo), luego asfalto; 1000 t de concentrado se transportan en camiones diariamente a través de Copiapó.	Ejemplar	Cerca de la planta y en forma ordenada. 2 km de ductos en el recinto de la planta que conducen al tranque de relaves.
Plantas con una producción de alrededor de 5.000 t/d (actualmente sólo Aguirre Cerda)	Transporte dentro de la planta sobre camino de tierra, paralelo al valle. Tierra Amarilla es afectada considerablemente por las emisiones de polvo.	Reducción de polvo, conforme a las normas. Protección individual contra polvo y ruido, conforme a las normas.	Flotación: riesgos muy bajos por tratarse de una planta abierta. El manejo de reactivos químicos corresponde a las normas de salud y seguridad.	Conforme a las normas. No existe peligro de infiltración de aditivos de flotación e insumos o de relaves.	Producción de polvo considerable en 1 km de camino de tierra hasta Tierra Amarilla, luego asfalto. 120 t/d de concentrado a través de Tierra Amarilla.	Ejemplar	Lejos de la planta; actualmente 2 km de ductos que conducen al tranque de relaves a través del valle de Copiapó/Tierra Amarilla.
Plantas con una producción de menos de 3.000 t/d hasta 100 t/d aproximadamente	Transportes sobre vías públicas de asfalto y caminos de tierra; en el caso de éstos últimos, la producción de polvo es considerable. Se transportan cada día 3.450 t a través de Copiapó y 2.250 t a través de Tierra Amarilla.	Las normas de protección individual se cumplen en parte. Producción de polvo considerable durante descarga y en las cintas transportadoras. En el caso de las plantas San Juan (Tierra Amarilla) y San Esteban I, las inmediaciones, considerablemente afectadas por estas emisiones.	Flotación: riesgos bajos probablemente, ya que en su mayoría, se trata de plantas abiertas. No se sabe de accidentes.	Insuficiente a deficiente. En la mayoría de las plantas no existe protección contra infiltraciones; a menudo hay ductos con fugas (aguas servidas, relaves).	Producción de polvo insignificante en general, ya que la distancia a la calle de asfalto es corta. Diariamente se transportan 60 t a través de Tierra Amarilla y 100 t a través de Copiapó.	A menudo desordenado o deficiente; (depósito de chatarra y de repuestos, recipientes con restos de insumos).	Dos plantas mayores (San Esteban y Ojancos), hasta 2 km de ductos; en las otras, los tranques están cerca de la planta. Evacuación inapropiada muy poco frecuente (antigua planta Tania en Copiapó).
Amalgamación de oro y Flotación de sulfuros auríferos							
Plantas con una producción de entre 10 y 60 t/d. El grado de utilización diaria en Copiapó y en los alrededores es de 300 t/d aproximadamente, repartida entre alrededor de 20 plantas.	Producción de polvo en los caminos de salida de las minas en la montaña.	Producción de polvo pequeña durante la descarga y en los chancadores de las plantas más grandes; por lo general no existe protección individual contra polvo y ruido.	Flotación: riesgos bajos por tratarse de plantas abiertas, en su mayoría. No se sabe de accidentes. El concentrado de flotación contiene una cantidad considerable de mercurio que se separa en el tratamiento ulterior fuera de la región.	Por lo general deficiente: a menudo se ven ductos con fugas (relaves).	Insignificante; cantidad total pequeña (25 t/d aproximadamente).	A menudo desordenado o deficiente; (depósito de repuestos, insumos y chatarra).	Canaleras cortas o ductos que conducen a los tranques de relaves ubicados cerca de las plantas. En algunos casos existe la evacuación directamente al río (antigua planta Marambio en Potrero Seco).
			Amalgamación. Especial riesgo para el personal debido a la manipulación con mercurio.				

Situaciones ambientales características y específicas de las plantas de concentración activas en el curso medio del valle de Copiapó, III Región, Chile (Ref.: 1997)

Relaves de la flotación de sulfuros de cobre	Superficie y / o volumen y tipo de los tranques	Peligro de colapso por movimientos sísmicos (> 6 = mediano a alto); peligro de erosión	Monitoreo del régimen hídrico / balance hídrico Reciclaje del agua de flotación	Molestias por el polvo proveniente de relaves secos Otros riesgos causados por reactivos químicos	Sobrecarga de tranques de relaves
Planta grande, con una producción de 30.000 t/d (solamente Candelaria)	5 km <sup>2</sup> , valle lateral del valle de Copiapó, 100 m sobre el nivel del valle, a 4 km de distancia de Tierra Amarilla.	Corresponde a las normas de seguridad, Compactación conforme a las normas; tranque asegurado con enrocado.	Corresponde a las normas; alto porcentaje de reciclaje, 86%. No está previsto el monitoreo del agua subterránea.	Aun irrelevante	Irrelevante
Plantas con una producción de alrededor de 5.000 t/d (actualmente sólo Aguirre Cerda)	Aproximadamente un millón de m <sup>3</sup> , en quebradas laterales en el mismo nivel del valle de Copiapó.	Corresponde a las normas de seguridad; compactación conforme a las normas.	Corresponde a las normas; alto porcentaje de reciclaje del agua. No está previsto el monitoreo del agua subterránea.	Polvo perceptible en el valle de Copiapó, alrededor de Tierra Amarilla; considerables molestias por el polvo proveniente de tranques de relaves secos abandonados en la parte oriental de Tierra Amarilla.	Irrelevante
Plantas con una producción de menos de 3.000 t/d hasta 100 t/d aproximadamente	Aproximadamente un millón hasta alrededor de 10.000 m <sup>3</sup> a) varios tranques en pequeños barrancos laterales 50 a 100 m sobre el valle del río Copiapó (Ojancos y San Esteban). Un tranque de San Esteban está en funcionamiento. b) un tranque aislado en el valle de Copiapó, 4 km al suroeste de la ciudad (Llaucavén).	Sólo en parte a prueba de sismos; erosiones después de lluvias fuertes. <b>Área de riesgo:</b> Universidad de Atacama y el valle de Copiapó en Viña Blanca.  Sólo en parte a prueba de sismos. <b>Área de riesgo:</b> la pradera del valle; peligro de erosión en caso de inundaciones.	No existe monitoreo; reciclaje generalizado.	Molestias en Copiapó causadas por el polvo proveniente de los tranques de Ojancos.  Molestias causadas por polvo en las inmediaciones, en su mayoría, no pobladas.	Probablemente en el pasado.  Probablemente en el pasado.
	c) Más de 20 tranques de relaves ubicados al pie de la montaña o en quebradas laterales a baja altura (en parte abandonados).	Por lo general a prueba de sismos; de pequeño volumen. <b>Excepción:</b> Puerto Rico y San Patricio, al sur de Copiapó. <b>Área de riesgo:</b> los recintos de las faenas		Las inmediaciones se ven afectadas frecuentemente por emisiones de polvo.	Probablemente generalizada. En Elisa de Bordos, en caso de un colapso, se inundarán los parronales adyacentes.
<b>Relaves provenientes de plantas de amalgamación</b>					
Plantas con una producción de 10 a 60 t/d y con contenidos de mercurio de un promedio de 35 g/t	Aproximadamente 10.000 m <sup>3</sup> hasta alrededor de 1000 m <sup>3</sup> ; más de 30 tranques a diferentes alturas, principalmente en quebradas laterales del valle de Copiapó (en parte, abandonados).	Por lo general, a prueba de sismos; volumen pequeño y baja altura.	No existe el monitoreo; en parte se recupera el agua.	Inmediaciones se ven afectadas por emisiones de polvo. Peligro por aspiración de polvo contaminado con mercurio, por ejemplo en caso de que se continúe construyendo en el barrio Viña Azul de Copiapó.	No conocidas
<b>Relaves provenientes de plantas de clauración y amalgamación abandonadas, del siglo XIX</b>					
Contenidos de mercurio de 100 a 1830 g/t; en promedio más de 300 g/t	<b>Totalillo:</b> alrededor de 50.000 m <sup>3</sup> (300.000 m <sup>3</sup> ) <b>Pabellón:</b> aproximadamente 40.000 m <sup>3</sup> (80.000 m <sup>3</sup> ) <b>Potrero Seco:</b> (desconocido)	A causa de erosiones como consecuencia de lluvias fuertes penetró polvo con contenido de mercurio en el Río Copiapó (Pabellón).	Irrelevante	Inmediaciones (viñas) se ven afectadas por emisiones de polvo; especialmente los temporeros de las plantas de empaque de uvas. El polvo contiene grandes cantidades de mercurio.	Irrelevante

Situaciones ambientales características y específicas de tranques de relaves activos y abandonados en el curso medio del valle de Copiapó, III Región, Chile (Ref.: 1997)

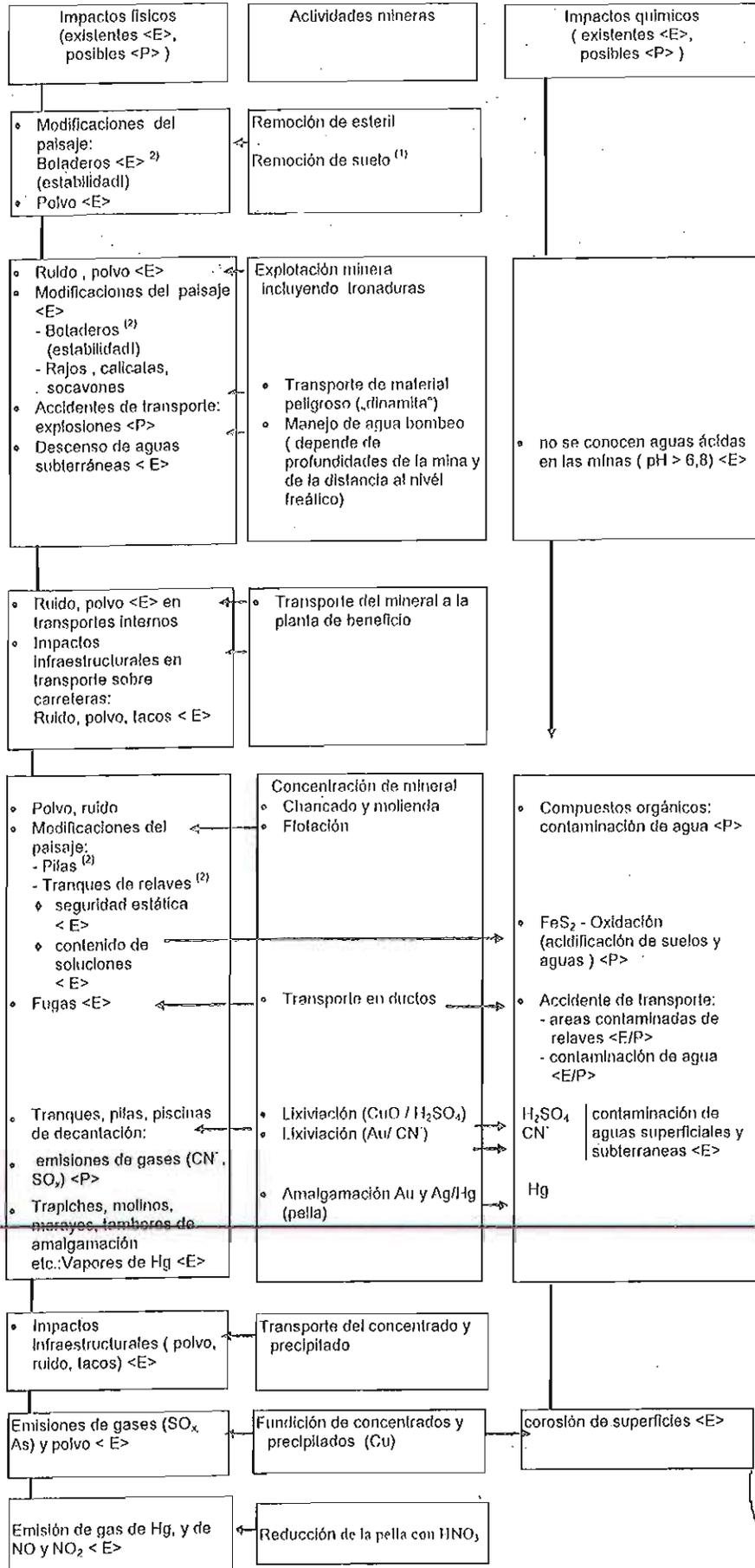
## DEPOSITACIONES Y SITIOS MINEROS ABANDONADOS EN EL ÁREA DE COPIAPÓ

<u>LOCALES (PUNTUALES)</u>	<u>LINEALES</u>	<u>AREALES</u>	<u>TRIDIMENSIONALES</u>
<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ boca de piques <sup>4</sup></li> <li>◦ boca de socavones <sup>1</sup></li> <li>◦ hundimientos de la superficie</li> <li>◦ pilas aisladas <sup>1,2,6</sup></li> <li>◦ piscinas de lixiviación pequeñas <sup>1,3</sup></li> <li>◦ sitios de sondeo <sup>1,3</sup></li> <li>◦ sondeos abiertos <sup>3,6</sup></li> <li>◦ plantas de concentración pequeñas <sup>1,3</sup></li> <li>◦ estaciones de bombeo de ductos de relaves <sup>1</sup></li> <li>◦ vertederos de desperdicios específicos (chatarra minera) <sup>3,4,5</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ vetas explotadas (calicatas) <sup>1,4,7</sup></li> <li>◦ ductos de relaves <sup>1</sup></li> <li>◦ canales de aguas servidas <sup>3</sup></li> <li>◦ caminos para exploración <sup>1,9</sup></li> <li>◦ líneas eléctricas, esp. de alta tensión <sup>1</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ escoriales <sup>1,2,3</sup></li> <li>◦ botaderos de esteril y de mineral <sup>1,2</sup></li> <li>◦ tranques y otras áreas cubiertas de relaves <sup>1,3</sup></li> <li>◦ plantas de concentración y fundiciones <sup>1,3</sup></li> <li>◦ vertederos de chatarra minera <sup>1,3,4,5</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ rajos abandonados <sup>1,4</sup></li> <li>◦ sistemas completos de minería subterránea con sus construcciones en la superficie <sup>3,4</sup></li> </ul>

### INDICE

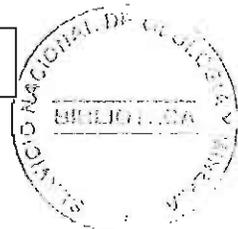
- 1= Daño al paisaje
- 2= Problemas de estabilidad (esp. sísmica)
- 3= Potencial para la contaminación de aguas subterráneas y parcialmente de aguas superficiales
- 4= Peligro para la seguridad pública
- 5= Potencial variable para daños al ambiente
- 6= Parcialmente en grupos
- 7= Verticales hasta inclinados, con profundidades de 100m y más de 100m
- 8= También puede ser definido como vertical - lineal
- 9= Parcialmente varios km de extensión

**IMPACTO AMBIENTAL DE LA MINERÍA EN EL AREA DE COPIAPO  
(MINERÍA SUBTERRÁNEA Y EN RAJO)**



(1) Suelo removido debe ser guardado (conservado) en sitio adecuado para su uso posterior

(2) Terremotos (M > 5) pueden inducir una destabilización de boladeros, tranques etc.



**RESIDUOS MINEROS (P) DE PLANTAS (A) Y DE LA FUNDICION  
( AREA DE COPIAPÓ )**

**(1) Residuos sólidos**

- Esteril (M) → a) contiene minerales frescos y no oxidados = p.e. sulfuros pueden transformarse en ácidos
- Esteril (M) → b) no contiene materia de humus = ninguna sustancia nutritiva como en suelos
- Residuos de concentración → c) como a), pero con leyes más altas de metales pesados y de reactivos de concentración  
( en tranques de relaves y pilas (P))
- Escorias (F) → d) contiene componentes de metales pesados, ligados en forma de óxidos

**(2) Aguas de drenaje de minas. aguas servidas. residuos líquidos (RILES)**

- No se conocen aguas ácidas de drenaje de minas en el área de trabajo
- relaves pueden tener una demanda química y/o bioquímica de  $O_2$  y también leyes altas de metales pesados (ver (1) c): potencial de contaminación de ríos y de aguas subterráneas (P).

**(3) Emisiones de gases**

- Productos de fundiciones: (F) → gases, predominantemente  $SO_2$
- Productos de fundiciones: (F) → partículas sólidas con Cu, Mo, Cd, Pb, As (en polvo)
- Laboratorios de reducción de pelia (P) →  $NO$ ,  $NO_2$ , vapor de Hg

**(4) Otros residuos**

- NaCN ( de la extracción de oro)
  - $H_2SO_4$  ( de la producción de sulfato de cobre)
  - Compuestos orgánicos de flotación (colectores etc.)
  - Aceite, Difeniles policlorurados ( sólo en residuos antiguos)
  - Reactivos químicos de laboratorio, solventes, pinturas ( pigmentos)
- reactivos (P)
- otros insumos (M,P)

Tabla II. Valores de orientación de acuerdo al uso de los suelos y los bienes a proteger para sustancias (contaminantes) contenidas en los suelos, en mg/kg de suelo. El bien a proteger "ser humano" / otros bienes a proteger (según EICKMANN & KLOKE 1993, Tablas 1 -5, en ROSENKRANZ et al. 1988- 1996)

Nr	Tipos de Uso	BW *	As	Ba	Be	Cd	Co	Cr	Cu	Ga	Hg	Mo	Ni	Pb	Sb	Se	Sn	Tl	U	V	Zn	B	B+	F	CN (sol.)	CN total		
0	Possibilidad de uso multifuncional	BW I	20	100	1	1	30 (50)	50	50	10	0.5	5	40	100	1	1	50	0.5	2	50	300	150	25	10	200	1	5	
1	Plazas de juegos infantiles	BW II	20	100	1	2	30	50	50	10	0.5	5	40	300	2	5	50	0.5	2	50	300	300	25	10	200	1	5	
2	Hogar y pequeños cultivos	BW III	40	200	2	2	100	100	250	50	10	25	200	1000	10	20	250	10	10	200	1500	2000	125	30	1000	10	50	
3	Deporte y plazas de juegos	BW II	35	1000	5	5	400	350	200	100	20	50	300	1000	10	10	300	20	2	5	100	500	50	20	500	4	30	
4	Parques y recreación	BW III	90	500	2.5	5	30	150	100	10	0.5	5	100	200	2	5	30	2	2	50	300	300	25	10	200	1	5	
5	Áreas industriales y comerciales	BW II	80	2000	1.5	15	500	600	600	200	15	100	250	2000	4	10	200	5	10	200	1500	2000	125	50	1000	10	50	
6	Áreas de uso agrícola frutas y hortalizas	BW III	200	2500	20	20	600	300	300	500	100	40	200	1000	10	15	200	10	20	200	1000	1000	100	50	5000	50	250	
7	Ecosistemas no agrícolas	BW II	50	1500	5	5	1000	500	200	50	10	20	100	500	5	5	100	2	10	100	500	300	50	30	1000	-	-	
		BW II	40	300	10	5	200	200	30	40	10	20	100	1000	5	5	100	2	10	100	500	600	250	150	5000	-	-	
		BW III	60	1500	20	10	1000	500	200	200	50	100	200	2000	25	10	500	20	50	400	2000	600	250	30	1000	-	-	

BW \* = Valor de Suelo

Los valores entre paréntesis son los que varían de BW I - 6 y 7 son los valores para el tipo de uso.

