

J13468

W. Eberle

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)

**EL DESARROLLO HISTORICO Y LOS PASIVOS DE LA
EXPLOTACION MINERA EN EL CURSO MEDIO Y
ALTO DEL VALLE DE COPIAPO,
III REGION, CHILE**

AUTOR DEL INFORME : Dr. Walther Eberle
COLABORADORES : Carmen Espejo, René Rojas

COMITENTE : MINISTERIO FEDERAL DE
COOPERACION ECONOMICA (BMZ)

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

1. Introducción y resumen

1.1 Introducción

Dentro del marco de los estudios realizados en la región del proyecto bilateral chileno-alemán "Proyecto Ambiental Geológico-Minero", se analizaron, de acuerdo a las prioridades, los aspectos relevantes de la explotación minera para el medio ambiente en el valle de Copiapó. Este estudio no incluyó la Fundición "Videla Lira" de Paipote que está siendo reestructurada y que además dispone de un plan de monitoreo ambiental propio.

El objetivo de este estudio era obtener informaciones importantes respecto del impacto ambiental a causa de la explotación minera, en la zona del proyecto, y mostrar, en base a este ejemplo, de que manera pueden realizarse estudios similares en otras regiones.

En un detallado informe, H. TEICHERT (1996) muestra ante todo, los aspectos de la explotación minera activa (minas y plantas de beneficio) relevantes para el medio ambiente, que hasta ahora siempre se ha considerado posible causante principal de los daños provocados a éste. Sin embargo, una serie de indicios demostraron que existían contaminaciones posibles o reales, de las cuales no podía responsabilizarse a la explotación minera activa: grandes zonas de explotación minera abandonadas, ruinas de plantas de beneficio, áreas de relaves exentas de vegetación, mercurio en sedimentos del Río Copiapó.

En efecto, los estudios ulteriores del proyecto permitieron constatar y documentar los riesgos ambientales causados por pasivos mineros. Para este fin hubo que revisar y analizar la historia del desarrollo de la minería en la zona de Copiapó y reconstruir, en parte, los procedimientos técnicos de esa época.

1.2 Resumen y recomendaciones

Con el fin de formarnos una visión sobre el tema y obtener información coherente, se realizaron las siguientes actividades:

- se recorrieron los distritos mineros abandonados, se hicieron descripciones de éstos respecto a posibles daños causados al medio ambiente y respecto a la seguridad, y se documentó la información mediante fotos;
- se describieron las plantas de beneficio de plata abandonadas en Pabellón, Totoralillo y Potrero Seco y en parte, se analizó el contenido de Hg en el suelo de éstas y se reconstruyeron los procesos de concentración;
- se tomaron muestras del material proveniente de botaderos de escoria de las antiguas fundiciones de cobre de Nantoco y Tierra Amarilla, y se hicieron análisis químicos de las muestras ;
- toda la información adecuada se documentó en mapas.

En el „Mapa de Uso de Suelo,, en la escala 1:50.000 se describen en forma detallada no sólo las áreas cultivadas y habitadas y los pozos más importantes, sino también y especialmente las áreas y lugares aprovechados para la explotación minera y el beneficio de minerales, de acuerdo al criterio si eran plantas abandonadas, activas o en planificación. Este mapa puede utilizarse como modelo para otras regiones y constituye especialmente una base para todas las medidas de planificación regional de la gestión de recursos en zonas de actividades mineras activas y abandonadas. Los mapas fueron confeccionados digitalmente, por lo que es posible utilizar las informaciones (layers) por separado.

En resumen, el estudio de los pasivos de la explotación minera demostró lo siguiente:

- todas las faenas de explotación minera abandonadas tienen piques abiertos (en parte, de hasta 300 m de profundidad) sin medida de seguridad alguna, socavones, calicatas, en parte rajos, en la mayoría de los casos también botaderos de escombros y ruinas. En muchos casos, las plantas abandonadas están distribuidas

en varios km² de zonas más o menos contiguas. En ninguno de los casos se observó desagües de socavones; en algunos casos se sospecha que en el fondo de los pozos hay agua acumulada. Un caso especial es la explotación a rajo abierto del Cerro Imán, cuyo nivel más profundo está inundado.

Como casi todas las minas abandonadas están situadas en lugares muy apartados, a éstas llegan generalmente sólo mineros y profesionales interesados, que están muy conscientes de los peligros que allí se esconden. Cuando de todas maneras, una y otra vez se producen accidentes de mineros independientes en estas plantas antiguas, es porque éstos sobrepasan los límites de los riesgos de su profesión; esto no es posible supervisarlos ni tampoco controlarlos.

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

- Las plantas abandonadas de cianuración y amalgamación de plata de Pabellón, Totoralillo y Potrero Seco resultan ser riesgos especialmente dignos de atención para el medio ambiente. En los relaves de Pabellón y Totoralillo se constataron grandes contenidos de mercurio. Con leyes entre 200 y 1800 g Hg/t podemos suponer que los relaves de Pabellón contienen de forma diseminada por lo menos 34 t de mercurio mientras en Totoralillo la cantidad es al mínimo de 135 t de mercurio. En Potrero Seco no pudieron localizarse los relaves.

Actualmente el material pulverizado contaminado es arrastrado por el viento; en las cercanías se ven afectados por ello, parronales, las plantas de empaque de uvas y el personal que allí trabaja, además de algunos temporeros que viven cerca de allí con sus familias.

Las áreas donde están situados los relaves de Pabellón y Totoralillo deberían

segurarse primero que nada, y luego dejarse de utilizar. En Pabellón debe evitarse a toda costa que sigan penetrando en el Río Copiapó relaves contaminados, como sucedió la última vez en junio de 1997 (fotos 40 a y b). Como paso siguiente, se recomienda hacer un muestreo más detallado con sondajes someros hasta el subsuelo, para determinar con exactitud el contenido de Hg y As. Solamente a través esta medida podrá determinarse el potencial de peligro y planificarse y poner en práctica medidas definitivas de seguridad o de saneamiento, en caso necesario. Al realizar estos trabajos deberán considerarse las medidas de protección para evitar la aspiración del polvo. Paralelamente a ello deberían analizarse las inmediaciones del lugar con un instrumento para medir gas de mercurio con el fin de constatar el transporte eólico y el arrastre del metal pesado, en caso de que existiese, y documentarlos en mapas; especialmente en el caso de Potrero Seco debería utilizarse este método. Se recomienda revisar y cuantificar las anomalías geoquímicas obtenidas con este procedimiento, mediante muestreo de suelos y análisis químicos. Según los resultados que se obtengan, habrá que orientar las medidas posteriores a tomar .

- 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 constatar la ubicación de estas plantas con una sola excepción, ni tampoco residuos de concentración que contuvieran Hg. Como medida de protección para la salud debería intentarse localizar estas antiguas plantas, por lo menos en las zonas pobladas y de la Universidad de Atacama a lo largo del río, y en caso necesario, tomar las medidas de protección apropiadas. También en este caso, el medio adecuado de prospección, podría ser un medidor de gas de Hg. Anomalías de mercurio detectadas con este método deben ser comprobadas mediante muestreo de suelo y análisis químico. Estos estudios deben considerarse también en el marco de la posibilidad de una vulnerabilidad de las napas freáticas, la que en el área urbana del valle de Copiapó es considerada muy alta.

La única planta que en parte aun se mantiene, está situada en el límite occidental de la ciudad (al oeste de la planta Guggiana), en el patio de un restaurante. Se recomienda encarecidamente incluir esta área en el catastro de Hg y, en caso

necesario, tomar medidas especiales de protección, en vista de la afluencia de público.

- En Tierra Amarilla y en Nantoco hay pequeños botaderos de escoria proveniente de antiguas fundiciones de cobre. Debido a que las escorias, bajo las condiciones climáticas de la región de Atacama son consideradas absolutamente estables, no representan ningún peligro en estado intacto y no removido, aún cuando, poseen una alta concentración de As, Cu y otros metales pesados. Mientras que las escorias de Nantoco apenas han sido tocadas, el material de Tierra Amarilla está siendo actualmente transportado con destino desconocido. Antes de someterse a algún tipo de uso, el suelo deste terreno debería ser analizado ante el evento que los restos de polvo de escoria allí residentes constituya un peligro para la salud en caso de su aspiración pulmonar.

Ejemplos típicos de la minería colonial se ven en el distrito "Llano Chamonate" (foto 1), por cierto sobrepasados por los efectos causados por el método de acceso con piques (la segunda mitad del siglo XIX y la primera mitad del siglo XX) lo que produjo la aparición de los botaderos de escombros aún existentes aquí. La existencia de una parte de los botaderos se debió a la trituración a mano del material extraído. De esta manera se evitaba en gran medida el transporte de minerales estériles o minerales antieconómicos para ese entonces.

La explotación minera primitiva, según el modelo español, aún es practicada hoy en día por los pirquineros.

2.2.3 La industrialización de la minería en el siglo XIX y la primera mitad del siglo XX

El encuentro entre los avances industriales (la máquina a vapor) y el aumento de la demanda de materias primas (por ej. el estándar de la plata; la electrotecnia) en Europa y en Norteamérica en el siglo XIX, junto a la localización de yacimientos de plata y posteriormente de minerales de cobre de alta ley (óxidos de cobre y sulfuros de cobre con hasta 15% de cobre y a menudo con contenidos de oro) en la zona de Copiapó, condujo a importantes inversiones en la minería, después de las guerras por la Independencia (a partir de 1818).

Por cierto, tras la victoria de la guerra contra el Perú y Bolivia (1883) fluyeron los recursos principalmente hacia las plantas de explotación de salitre (oficinas), más hacia la nortina Atacama. La eliminación del estándar de plata en los Estados Unidos (1900) tuvo un efecto especialmente negativo para la minería de plata. Después de 1910, se produjeron aislados intentos de explotación de corta duración de esta materia prima.

La caída del cartel del salitre (1918), después de la introducción mundial de la síntesis de amoníaco (a partir de 1908/09), debilitó en forma importante la minería en Chile .

Sin embargo, sí se siguieron encontrando inversionistas para los yacimientos de mena rica en cobre. Las zonas de oxidación de filones auríferos, no raras veces ricos en cobre en las profundidades, también continuaron siendo explotadas en pequeña escala, convirtiéndose

las partes más duras en atractivas y accequibles para la pequeña minería, en la medida que se iba desarrollando cada vez más la técnica de perforación y tronadura.

La explotación de zonas de oxidación de vetas con metales específicos tales como Sb y As en la Pampa Larga, y Hg en la Sierra de la Plata tuvo relativamente poca importancia. De entre las materias primas no metálicas, solo se encontraron compradores para el yeso y la baritina, que se encuentra a menudo con contenidos de oro en la zona. Esta última se encuentra, con frecuencia, mezclada con hematita.

La explotación de cuerpos irregulares, en gran medida verticales, altamente mineralizados con magnetita, en el Cerro Imán (1950 -79), cuyos cuerpos mayores eran de más de 300 m de largo, 100 m de espesor, y extraído de profundidades de hasta 80 m (fotos 2 y 3), continuó siendo un intermedio de cierta importancia regional. Como en ese entonces sólo se vendía el mineral grueso, en los botaderos no sólo se depositaban estériles, sino también el mineral fino.

De la época ^{colonial} hasta mediados del siglo XX, cabe destacar los siguientes descubrimientos y medidas de desarrollo en la zona del valle de Copiapó:

- Descubrimiento de los yacimientos de plata Chañarcillo (1832), Elisa de Bordos (1862), Lomas Bayas y muchos otros.
- Construcción del primer ferrocarril de Sudamérica (1851) de Caldera a Copiapó y luego a Godoy (Chañarcillo 1857), San Antonio (1867) y Puquíos (1871).
- Construcción de campamentos e instalación de otras infraestructuras para unas 100 personas y más en faenas mineras alejadas.
- Mecanización de la explotación minera mediante instalaciones de piques con extracción mediante huinches, rieles y desagüe a través de socavones, bombas, etc., con el consecuente aumento de la extracción y de los botaderos.
- Construcción de plantas de fundición de hierro y cobre en Nantoco y una de cobre en Tierra Amarilla, en la segunda mitad del siglo XIX.

- En el siglo XIX existían en el valle de Copiapó por lo menos 14 pequeñas plantas de amalgamación (Au/Ag) y de éstas, 8 en la ciudad de Copiapó.
- Puesta en marcha de tres plantas de cianuración y amalgamación de plata (Potrero Seco, Pabellón y Totoralillo) en el valle de Copiapó, aproximadamente a partir de 1875. Aprovechando el agua del río, se utilizó, hasta aproximadamente 1908, el método desarrollado por el cónsul alemán en Copiapó, W. Kröhnke, 1862.
- También aprovechando la energía hidráulica, se construyó en 1890 una planta cribadora para la separación por gravedad de los minerales de cobre de Amolanas. En 1923 aun estaba en funcionamiento.
- Construcción del "Embalse Lautaro" (1939) para regular el agua de los afluentes del Río Copiapó: el Río Jorquera, el Río Pulido y el Río Manflas.

2.2.4 La modernización de la minería de cobre y oro y la explotación de grandes yacimientos de baja ley (segunda mitad del siglo XX)

El aumento de la demanda de materias primas con el agotamiento a la vez de los yacimientos de alta ley, se vió enfrentado cada vez más a nuevas y mejoradas técnicas de explotación y extracción, métodos de concentración y medidas de evacuación de desechos, lo que permitía explotar de manera provechosa los grandes yacimientos de baja ley (yacimientos de sulfuro de cobre en torno al 1% de cobre; yacimientos de oro en torno a 1 g/t), a partir de 1994. Se ha hecho posible cumplir de alguna manera con las exigencias cada vez mayores que impone la protección del medio ambiente.

En esta zona, la adaptación tecnológica a yacimientos de minerales de cobre de alta ley, con contenidos de cobre de menos de 2%, se produjo en los años 50. Recién en ese entonces se construyeron allí plantas de flotación y lixiviación con ácido sulfúrico, con una gran demanda de agua y aditivos de complejos orgánicos para la flotación. Para los procesos de concentración y lixiviación se construyeron tranques de relaves y depósitos de ripios respectivamente. De esta manera más del 96% del mineral extraído, la parte sin valor, se

almacena molido. (A modo de comparación: en El Teniente ya en 1909 y en El Salvador en 1927 se habían puesto en funcionamiento plantas de flotación).

Las siguientes plantas de beneficio, comenzaron a funcionar en los años cincuenta:

- Ojancos (Cía. Minera Sali Hochschild) con lixiviación de óxidos de cobre, flotación de sulfuros de cobre (inicio 1936), cianuración de minerales de oro y la primera planta de contacto de ácido sulfúrico de Sudamérica para el autoabastecimiento (70t/d).
- Elisa de Bordos (Cía. Minera San Andrés), flotación y lixiviación de minerales de cobre de la mina Jardín; aquí ya existía una planta de cianuración de oro desde antes de 1930.

Posteriormente fueron construidas numerosas pequeñas y medianas plantas de beneficio para sulfuros de cobre (con y sin Au, foto 4), óxidos de cobre y minerales de oro. En el área del yacimiento "Punta del Cobre" se establecieron alrededor de 10 minas subterráneas (sulfuros con hasta 2% de cobre), las que actualmente extraen alrededor de 10.000 toneladas diarias (foto 5).

En la década de los noventa entraron en explotación en zonas cordilleranas sobre los 3.500 metros sobre el nivel del mar los yacimientos de oro: La Coipa, Marte, Refugio (fotos 6 y 7) y Aldebarán, los últimos dos con una extracción diaria de 30.000 t de mineral; y en Tierra Amarilla el yacimiento de sulfuros de cobre Candelaria (con una ley en torno al 1%) El conjunto de la explotación a rajo abierto, el tranque de relaves, los depósitos de estériles y la planta de concentración, el yacimiento Candelaria requiere y transformará el paisaje de un total de 24 km².

Contrariamente a este desarrollo, la explotación minera pequeña y artesanal (cobre y oro) muestra una fuerte tendencia al retroceso - si se mide en relación al total de la zona de estudio. También el distrito minero de oro "Jesús María" en el que hasta hace unos pocos años trabajaban por lo menos 200 mineros, funciona hoy en día con no más de 50 personas. Los afectados dan como razones de esta situación la baja de los precios de las materias primas y la falta de créditos. No es raro ver que se extraigan contenidos de oro de menos de 5 g/t; al restarle los gastos de producción, transporte y concentración, lo que le queda al minero como salario mensual es menos de 150.000 pesos (US\$ 350,- aproximadamente).

El problema social que se produce en la región se debe también a que los mineros "independientes" de tradición antigua están cesantes.

2.2.5 La fundición de cobre de Paipote

La explotación minera de cobre experimentó un gran impulso en 1951 a través de la puesta en marcha de la fundición "Videla Lira" en Paipote, impulso que sobrepasó los límites de la zona. La fundición se convirtió en principal comprador de los concentrados de sulfuro de cobre de pequeñas y medianas plantas de flotación y de precipitados de cobre de plantas de lixiviación. Uno de los más importantes suministradores de concentrados es Chuquicamata, conocidos por su contenido de arsénico relativamente alto. La siguiente descripción breve sobre la fundición es una cita de la SONAMI (1983, p g. 383):

"Paipote está compuesta esquemáticamente de un horno de reverbero con capacidad de fusión de 16.000 TM/mes de carga fresca (concentrados precipitados y minerales de fundición directa de cobre) y una ley media de cobre en la carga de 32 a 36%.

La nave de conversión cuenta con 2 convertidores Hoboken de 3 m x 6,2 m y 1 convertidor Pierce Smith de iguales dimensiones.

El blíster producido se refina a fuego en un horno basculante, moldeándose en forma de ánodos, que son enviados a la refinería Las Ventanas para ser refinados electrolíticamente.

Los gases originados por el proceso de conversión con 8 a 10% de SO₂ son enviados a una fábrica de ácido sulfúrico con capacidad para producir 120 ton/día de ácido de 98% de concentración.

El agua se obtiene de napas subterráneas y se extrae de pozos situados en las inmediaciones".

Así como está , el funcionamiento de la fundición ha demostrado ser insatisfactorio desde el

punto de vista técnico (grandes emisiones de SO₂ en la planta) e intolerable si se consideran las condiciones para la protección del medio ambiente, debido a la alta emanación de SO₂ y As₂ O₃ a través de la chimenea (foto 8), lo que afecta principalmente a las comunas de Tierra Amarilla y Copiapó.

Actualmente la Fundición Hernán Videla Lira (Paipote) se encuentra ejecutando su Plan de Descontaminación, debido a que fue declarada zona saturada por SO₂ en 1993. Este plan se ejecutará hasta el año 2005.

3. Instalaciones mineras y plantas abandonadas (pasivos mineros)

Haciendo referencia al Capítulo 2 "Desarrollo histórico", describiremos a continuación aquellas faenas que fueron cerradas antes de la modernización de la explotación minera, en general, antes de 1950. Se trata de minas de plata, oro y cobre, de plantas de beneficio y plantas de extracción de oro y plata y de escorias provenientes de la fundición de cobre y hierro. Para localizar los nombres de los lugares recomendamos utilizar los siguientes mapas

- Mapa de uso de suelo (1 : 50.000)

- Hoja de Copiapó
- Hoja de Elisa de Bordos
- Hoja de Embalse Lautaro

- Mapa de Actividades Mineras del Siglo XIX en el Valle de Copiapó (1 : 250:000)

3.1 Distritos mineros

Todos los distritos mineros, cuya historia data de los siglos XVIII o XIX tienen características en común. Casi siempre se trata de restos de conjuntos de varias minas que están esparcidas a menudo en varios km².

En la ubicación de las instalaciones para explotación a rajo abierto, se refleja la geometría de los yacimientos. En su mayoría se trata de mineralizaciones en forma de filones o grupos de vetas predominantemente verticales con un espesor raras veces mayor de un metro, los

que a menudo se extienden por varios kilómetros. En los cruces de los filones y en fallas se encuentran mineralizaciones de forma tubular e irregulares, a menudo interpretados como brechas eruptivas turmalinizadas. En algunos casos (Elisa de Bordos, Jardín) la mineralización se encuentra en posición estratiforme en capas de tobas.

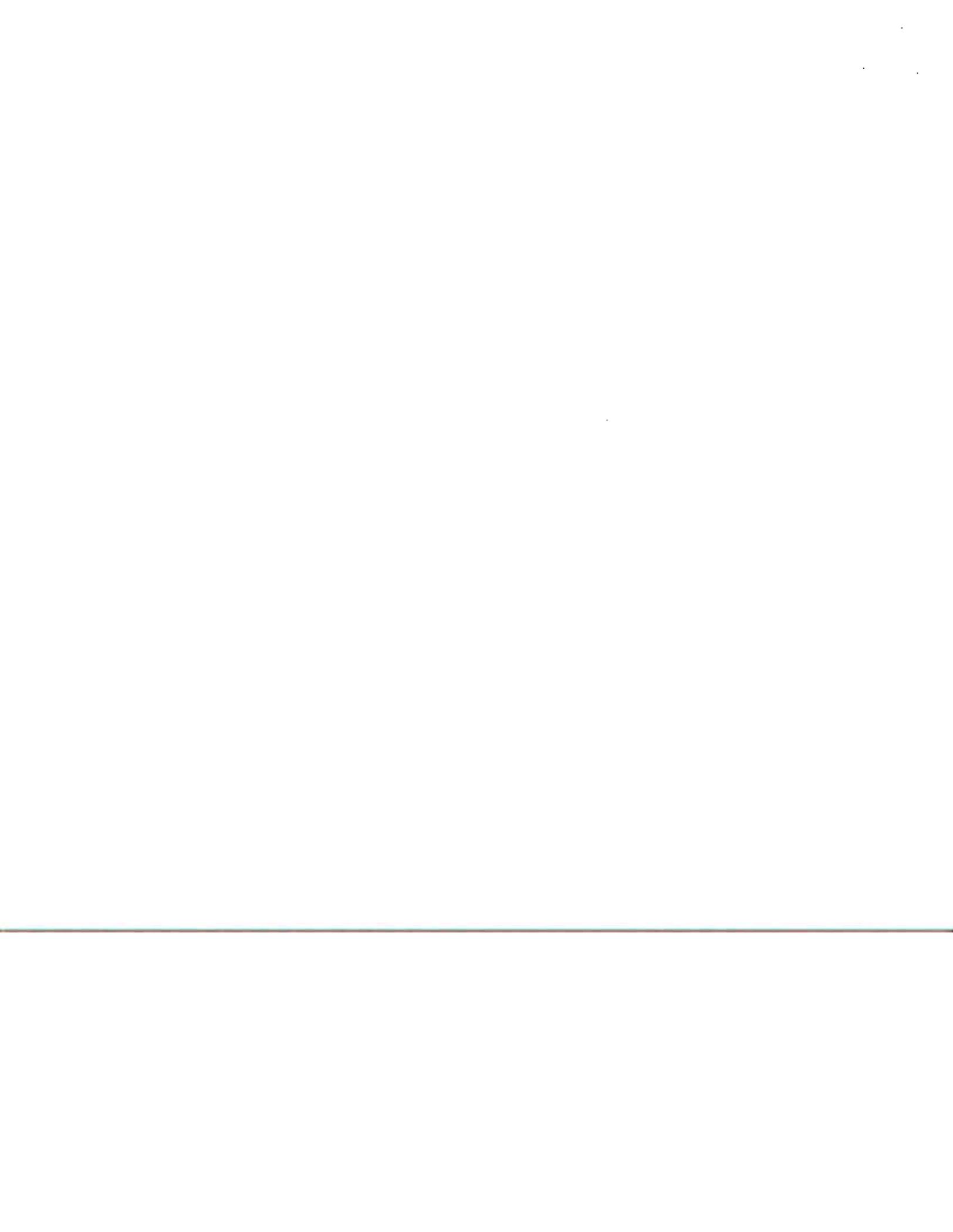
En general se explotaban las zonas de oxidación, que en parte tienen hasta más de 200 m de profundidad. Estas áreas del yacimiento se destacan no sólo por los altos contenidos de Au, Ag, y Cu sino también por la relativa facilidad con la que se puede extraer el mineral (mineral poco duro y poco resistente). Según la morfología de los yacimientos aflorados, éstos eran alcanzados y explotados directamente mediante socavones o calicatas por lo que se producían relativamente pocos desmontes. Recién a mediados del siglo pasado se construyeron minas mecanizadas con socavones y piques, lo que trajo consigo depósitos de desmontes más grandes.

A menudo se construían en un distrito o en un solo filón varias plantas independientes y de distintos dueños. En la mayoría de los casos éstas estaban situadas una detrás de la otra. Por cierto, en las pendientes habían diferentes minas, una encima de la otra, en una sola veta.

Al cerrar la planta, generalmente se retiraban todas las piezas de madera (los revestimientos de los piques y socavones, los techos y las puertas) y de metal (maquinarias, equipos para el transporte). En ninguna parte se tomó medidas de seguridad.

A las minas que no fueron cerradas siempre llegan pirquineros con la esperanza de encontrar vetas de mena rica que allí quedaron. En parte, se dedican a destruir "puentes " y "pilares " pertenecientes a antiguas fases de producción, así como también zonas débiles mineralizadas, lo que provoca una considerable disminución de la seguridad estática. Los botaderos de las antiguas minas también despiertan el interés de los mineros independientes.

A continuación describiremos brevemente los distritos recorridos en el marco de este estudio, considerando los criterios relevantes para el medio ambiente:



- El distrito Checo de Cobre era ya en el siglo XIX un importante productor de cobre con por lo menos 15 minas (foto 32). Por sobre todo se explotaban, hasta a unos 60 m de profundidad, las zonas de oxidación de las vetas y filones cupríferas, con cavidades de hasta 20 m de ancho. En parte, la explotación alcanzó los minerales de sulfuros. Una gran cantidad de socavones , piques, algunos rajos abiertos, botaderos y ruinas conforman hoy día el cuadro de este impresionante paisaje minero. Actualmente se realiza allí explotación minera artesanal de vez en cuando.

Hoja Copiapó

En la mayoría de los antiguos distritos de la Hoja Copiapó, siguen funcionando aun hoy en día algunas minas; esto ocurre en los distritos Sierra Los Lirios, Ojanco Nuevo y Viejo, y Jesús María.

El distrito Punta del Cobre, activo, sin interrupciones, desde el siglo XIX, ha sido reactivado en los últimos 20 años, y junto con la nueva faena Candelaria, ha pasado a convertirse en el productor de cobre más importante del valle de Copiapó. Todas las minas activas aparecen descritas por TEICHERT (1996)

Los pasivos mineros se concentran en los siguientes distritos:

- Ojanco Viejo y Nuevo: Varios importantes yacimientos de mena rica de cobre (San Francisco, Carmen Alto, Tránsito), principalmente en prolongados filones, se explotaban ya en el siglo XIX a través de socavones y piques de hasta 200 m de profundidad. En las minas mencionadas trabajaban a veces, varios cientos de mineros. En parte, aún se conservan las barracas del personal y de administración (foto 33). En Tránsito éstas fueron convertidas en museo (foto 34).

Los yacimientos de oro, especialmente el "Botón de Oro", fueron de gran importancia en el siglo XIX y hasta mediados de este siglo. La explotación de los filones se realizaba al comienzo, desde la superficie, más tarde a través de socavones y piques. En Leticia ("Botón de Oro"), se generaron grandes botaderos que permanentemente están siendo revisados por pirquineros.

- La explotación de minerales auríferos, argentíferos y cupríferos en los distritos Cerro Bodega, Chancoquín y Llano Chamonate empezó en el siglo XVIII.
 - En Cerro Bodega, lo normal son las calicatas de los filones de mineral de oro. Los intentos en este siglo para una explotación a través de socavones no dieron resultado.
 - En el distrito Chancoquín que está situado en la sierra inmediatamente al norte de la ciudad de Copiapó, existían varias minas con socavones; en la última (Bellavista), se habría trabajado aun hace 10 años atrás en pequeña escala, con un trapiche. Además existía una serie de calicatas abiertas. La ciudad de Copiapó se extiende hasta los pies del distrito, habiéndose aplanado o rellenado ya antiguas instalaciones (muros, calicatas) para la obtención de terrenos edificables.
 - En el distrito Llano Chamonate existen numerosas galerías abiertas que a menudo soportan varios cientos de metros. Además, parece ser que en el yacimiento La Piojenta (foto 1), aun en el siglo XIX, se abrió un pique. La particularidad de este distrito es que algunos puntos de extracción abierta fueron cubiertas con arenas provenientes de dunas.
- Los pasivos mineros más grandes de la zona en estudio, provienen de las faenas de explotación de magnetita a rajo abierto del Cerro Imán (fotos 2 y 3), que con una profundidad de 80 m, ocupa una superficie de alrededor de 0,25 km². La parte más profunda del rajo está llena de aguas freáticas cristalinas. Junto con el gran botadero y las ruinas de la planta de beneficio, la mina ocupa una superficie total de más de 1 km².

3.2 Plantas de beneficio y fundiciones en el valle Copiapó

Hasta a mediados del siglo XX, el procesamiento de minerales se limitaba casi solamente a la molienda y concentración de mena rica pre-seleccionada (óxidos de hierro, óxidos y sulfuros de cobre; galena con alto contenido de plata), que eran introducidos directamente en la fundición y/o en los procesos hidrometalúrgicos (cianuración), en el caso de minerales de oro y otros minerales de plata, y/o en la amalgamación. Especialmente para los minerales ricos en plata, "exóticos" desde el punto de vista metalúrgico, (cloruros,

amalgamas de Ag/Hg y otros) se desarrollaron nuevos métodos de extracción, a menudo utilizándose para ello cantidades considerables de mercurio.

No obtuvo informaciones sobre el procesamiento de los minerales de Sb, As y Hg que se explotaban en menor escala en los Distritos Pampa Larga, Cerro de la Plata y Cerro Blanco. Sin embargo en la literatura (SONAMI, 1905) podemos leer que en algunas plantas de beneficio y fundiciones se realizaron experimentos metalúrgicos. A menudo había que juntar primero una cantidad suficientemente grande de tipos de minerales poco comunes (por ej. minerales de Pb-Ag) para que valiera la pena la concentración y fundición.

Los restos de las plantas de ese entonces y sus residuos (relaves, escorias) se consideran hoy día pasivos que, especialmente por los elementos allí contenidos, (Hg, As, Pb, Mo, Cu, etc.) deben :

- estar sujetos a un control de uso y
- protegerse contra la erosión por inundaciones, viento, etc..

Cabe destacar los siguientes lugares de pasivos mineros (plantas), cuyas localidades pueden verse en los mapas anexos.

3.2.1 Plantas de beneficio mecanizadas

- En la Quebrada Carrizalillo (Hoja Elisa de Bordos), en las cercanías de Maray (foto 35) y más hacia arriba del valle (Planta Victoria) (foto 36) están los restos de muros de dos instalaciones de trituradoras y molinos de minerales, cuya finalidad y edad no pudo determinarse. No se pudieron constatar relaves de concentración. Se dice que aun hace 50 años las napas freáticas afloraban en las cercanías de Maray, y posiblemente se aprovechaba para la molienda. Actualmente el nivel del agua está entre 4 y 5 m por debajo de la superficie de la tierra.
- Debajo del muro del Embalse Lautaro se encuentran los restos de una planta cribadora de la mina de cobre Amolanas, la que hoy día se ha convertido en un monumento nacional. La planta fue construida en 1890 y en 1923 aun estaba en funcionamiento. Lo

que aun se mantiene es el viaducto del agua de alimentación de dos turbinas para la transmisión mecánica de la fuerza hidráulica.

Tanto ahora como en ese entonces era habitual seleccionar en la mina los minerales de oro y plata a mano, para ahorrar gastos de transporte. Los métodos para la concentración mecánica de estos minerales fueron aplicados recién en conexión con la amalgamación posterior (ver abajo).

3.2.2 Plantas de amalgamación

En el siglo XIX existían en el valle de Copiapó, a partir de San Antonio, 14 plantas de amalgamación, de las cuales tan sólo 8 estaban situadas en la ciudad de Copiapó. No logramos conseguir información sobre el tipo, la capacidad y la ubicación exacta de éstas, con una excepción:

Aproximadamente a 200 m al oeste de la Planta Guggiana, en la parte oeste de la ciudad, se encuentran, en el patio de un restaurante, los restos de una planta del siglo XIX (fotos 37 a y b). Aun se mantienen: una rueda de rayos hidráulica de aproximadamente 3 m de diámetro y un canal de agua superior, restos de una transmisión por engranaje, un maray mecánico (un molino de piedras naturales talladas) de alrededor de 1,5 m de diámetro y diversas piedras de molino, como también restos de una construcción de adobe alargada.

La capacidad del maray era con seguridad de menos de 10t/d. No podía ponerse en funcionamiento un segundo molino simultáneamente con la rueda hidráulica. Algunas piedras pertenecen posiblemente a un trapiche. Los relaves eran depositados probablemente en las orillas del río, directamente al oeste de la planta. Indicio de ello es la coloración rojiza del „suelo“.

Cabe suponer que los altos contenidos de Hg en los sedimentos del Río Copiapó en el área urbana provienen, por lo menos en parte, de estas plantas de amalgamación. Como las ocho plantas estaban situadas con seguridad cerca del río por depender de la energía hidráulica, hay que partir de la base, que en el largo terreno donde está ubicada la Universidad, por lo menos había una planta.

la pérdida de Hg en 1903 llegaba a aproximadamente 4,9 t en Totoralillo y aproximadamente a 4,7 t en Pabellón, en relación a la cantidad de Ag extraída. Si se toma por base el contenido de Ag del mineral, las pérdidas de Hg son de alrededor de un 20% mayor, en proporción a las pérdidas de Ag.

3.2.3.1 Pabellón

Descripción

Los restos de la planta se extienden aproximadamente por sobre 500 m de largo (ver fig. 2) en dirección S-N. Se ha conservado un embalse (piscina) que se alimenta del Río Copiapó, ruinas y cimientos de la planta de beneficio (fotos 38 y 39), canales de descarga para los relaves y la superficie abierta de aprox. 250 x 150 m ocupada por relaves secos, que en este momento está a la venta (foto 40). El embalse es utilizado como piscina de un camping ubicado al sur de la planta. Desde 1994, las cavidades de las ruinas se están llenando de basura de todo tipo.

La parte sur de la superficie abierta de los relaves se utiliza como cancha de fútbol. El tercio norte de la superficie fue inundada y arada profundamente. Se trata de intentos de aprovechar esta "tierra" para la agricultura.

Al norte de esta superficie abierta hay una plantación de parronales. Hacia el E los relaves están demarcadas por el Río Copiapó; mas hacia el E, entre el Río Copiapó y la carretera, hay casas sencillas de campesinos, y más hacia el sur, se encuentran las instalaciones de una empresa exportadora de uvas.

Estudios (metodología) y resultados

Con el fin de indagar las sospechas de una contaminación de los relaves secos con Hg, se tomaron muestras de orientación con una sonda para suelo (ver fig. 2 y tabla 2). Debido a la dureza del material, sólo fue posible una penetración máxima de 40 cm, y en parte de sólo 20 cm. La serie de muestras EBT 06 fue tomada, como muestra de canaleta de una calicata existente, de la cual ya otras personas habían tomado muestras.

Las muestras fueron depositadas en una bolsa de plástico y ésta a su vez fue introducida en otra bolsa y sellada con cinta adhesiva. El tratamiento posterior se realizó en el laboratorio de SERNAGEOMIN en Santiago, de acuerdo al esquema de la fig. 3 y 4.

Se analizaron los elementos Hg, Ag y As (ver tabla 2)

A modo de control del Hg, se analizaron , según el mismo método, en el laboratorio del INTEC duplicados de muestras cuarteadas. Las variaciones de los resultados están por debajo del 10%.

Evaluación

La superficie ocupada por los relaves es de $150\text{ m} \times 250\text{ m} = 37.500\text{ m}^2$. El espesor del material se calcula en 2 m, lo que da un total de 75.000 m^3 . Si consideramos un peso específico de 1,5, esto nos da una masa de aproximadamente 112.500 t.

Los resultados analíticos de la químicos de las muestras (EBT 2/7 está fuera de los relaves) de los 20 cm superiores permiten suponer un contenido mínimo de Hg de 300 g/t. En base a esto debe deducirse que el contenido de Hg de estos relaves tiene una magnitud de por lo menos 34 t. Sin embargo, existen indicios de que los contenidos de Hg en las profundidades son mayores (EBT 2/6 y 2/8). Además, si se hiciera un cálculo regresivo de las pérdidas de Hg en la producción de alrededor de 30 años, se obtendría una suma mucho mayor.

Lo que llama la atención son los altos valores de arsénico que posiblemente están en correlación con los altos contenidos de Hg. Aquí debe considerarse en principio que en todos los sedimentos de concentración, provenientes de cargas relativamente pequeñas de diversos yacimientos, la composición varía en forma horizontal en torno a pocos metros y verticalmente en torno al centímetro. A esto hay que agregar que durante todo el tiempo de aplicación del método de KRÖHNKE, se experimentó mucho en la planta de beneficio. Probablemente fue esto lo que provocó la gran variación de la composición de los relaves.

3.2.3.2 Totalillo

Descripción

De la planta original sólo se conserva la superficie árida de los sedimentos de concentración, al este de la ruta principal del valle de Copiapó (foto 41). Esta superficie es de alrededor de 500 m N-S y 300 m E-O. Paralelamente a la calle, hay un canal de riego abierto de aprox. 1 m de profundidad, que atraviesa la parte frontal de la superficie (fig. 5).

Al norte, a la orilla de esta área, hay casas sencillas y luego una plantación de parronales. Hacia el E y hasta el borde de las montañas sigue una zona angosta cubierta de arbustos. Al sur, en el lugar donde estaba la antigua planta de concentración, hay una empresa de empaque de uva. Durante la construcción del casino de ésta, se encontraron muros contruidos con ladrillos refractarios con inscripciones en inglés.

Estudios y resultados

En dos lugares distintos se tomaron muestras de orientación de los 20 cm de la capa superior de los relaves (fig. 5), cuyos resultados confirman la sospecha de una contaminación con Hg. (tabla 2).

Evaluación

La superficie ocupada por los relaves es de 500 m x 300 m = 150.000 m². Si partimos de la base de un espesor de 2 m y un peso específico de 1,5, obtendríamos una masa de 450.000 t.

Si también aquí suponemos un contenido mínimo de 300 g Hg/t, tendríamos un contenido de Hg de estos pasivos de una magnitud de por lo menos 135 t, pero que por las razones análogas descritas en el caso de Pabellón, debería ser considerablemente mayor.

3.2.3.3 Potrero Seco

Los únicos testigos visibles de la antigua planta Potrero Seco son grandes ruinas (foto 42), al norte de la planta abandonada de amalgamación de Au, Marambio (Potrero Seco 2). No pudo probarse la existencia de relaves de concentración; probablemente éstos fueron retirados o se encuentran debajo de las plantaciones de parronales, más al norte. La zona sin vegetación entre la planta Marambio y la carretera, no contiene relaves.

Al costado de las ruinas se tomaron dos muestras de un material similar al relave; éstas no arrojaron resultados analíticos utilizables para una interpretación (tabla 2).

3.3 Escorias metalúrgicas

En el valle de Copiapó existen en Nantoco y Tierra Amarilla botaderos de escorias metalúrgicas del siglo XIX y comienzos del siglo XX. El carácter del material de Tierra Amarilla es claramente de escoria de cobre, mientras que en Nantoco, existe la posibilidad de que se haya depositado tanto escoria de cobre como también de hierro en un mismo escorial. De ambos depósitos se tomaron muestras que fueron analizadas con el ICP, con detección de 34 componentes, en el laboratorio de SERNAGEOMIN (tabla 3/fig. 6).

Nantoco

El escorial de Nantoco (foto 43) cubre una superficie triangular, directamente al este de la ruta que une Copiapó con Los Loros, al costado de las antiguas instalaciones del Fundo Nantoco. Las coordenadas son las siguientes:

Hoja Nantoco, 1 : 50.000

0374761/6953304

0374795/6953164

0374977/6953268

El escorial tiene una superficie total de aprox. 12.600 m², y calculando un espesor de 3m, un contenido de alrededor de 37.800 m³, que corresponden a aprox. 110.000 t.

Existen escorias completamente diferentes; las hay desde obsidianas, pasando por un material parcialmente desvitrificado hasta escorias completamente mineralizadas, en las cuales los anfíbolos sintéticos están orientados y agrupados en forma de gavillas. Considerando este aspecto, se puede deducir que el proceso metalúrgico se realizó bajo condiciones muy variables.

Los resultados del análisis químico (EBE 1/1-7) confirman esta impresión. Ya a través de los componentes principales puede reconocerse un amplio abanico de variaciones y son además un claro indicio del origen absolutamente diferente de los minerales utilizados. Poco clara es la imagen al observar los componentes secundarios y trazas. Llama la atención los valores especialmente altos de Cu, Zn, As, Sb, Ba y Pb, que entre ellos también varían; con excepción de una clara correlación de los altos valores de Zn, As, Pb y Ag.

En general, da la impresión que los empresarios de las fundiciones no tenían una buena visión respecto a la composición de los minerales que procesaban, probablemente no contaban con un laboratorio y por consiguiente, dominaban el proceso metalúrgico sólo de manera aproximada, aun cuando para ellos era suficiente.

De entre los metales valiosos llama la atención ante todo que en algunas cargas, la plata se pasaba a la escoria. Esto significa que por lo visto no se sabía que estos minerales contenían mucha plata. Similar es el caso del cobre, del cual se perdía una parte considerable. Los altos valores de Pb, Zn, As y Sb sugieren el origen de los minerales en vetas polimetálicas o, lo que también es posible en esa zona, en yacimientos de tipo skarn.

Considerando los posibles riesgos para el medio ambiente o la salud, debe observarse en primer lugar, los valores de Pb y As, pero luego también todos los otros elementos anteriormente mencionados, que sobrepasan muchísimo el valor de tolerancia BW III (ver Informe Técnico de Pedología por H.-W. Müller et al, 1996). Como las escorias, especialmente bajo las condiciones climáticas en el valle de Copiapó, se mantienen prácticamente estables ante la alteración natural, no existe peligro con este material, mientras no se les de otro tipo de uso. En Nantoco se ha comenzado a transportar escoria, por cierto, a baja escala. No fue posible averiguar hacia donde ni con qué fin.

Tierra Amarilla

El depósito rectangular de escoria está situado al final de la parte norte del lugar, directamente en la ruta que lleva a la mina Santos. Además, en la parte norte-sur, aproximadamente en el centro, el depósito es atravesado por una calle cuyos puntos de inicio y final tienen las siguientes coordenadas respectivamente:

Hoja Copiapó, 1 : 50.000

0375240/6960528

0375260/6960339

A partir de esta línea, el depósito se extiende 160 m hacia el este y hacia el oeste respectivamente, de tal manera que ocupa una superficie total de alrededor de 60.000 m². Actualmente se están despejando las escorias por orden de los dueños (foto 44).

Como en este caso sólo se analizaron tres muestras (EBE 2/1-3), no puede hacerse una afirmación generalizada. Los valores de cobre parecen moverse dentro de márgenes constantes, pero con aprox. 5.000 ppm siguen siendo muy altos y por lo tanto las escorias podrían ser un buen aditivo al proceso metalúrgico de la fundición de cobre . As también se presenta con valores, que no permiten la utilización del material sin reparo alguno. Se recomienda retirar de la superficie donde estaba el botadero, el polvo de la escoria que posiblemente haya quedado, ya que en esta forma los metales pesados nocivos pueden penetrar en la circulación del cuerpo humano a través de las vías respiratorias.