

CONCURSO BIENES PÚBLICOS PARA LA COMPETITIVIDAD 2013



**“Identificar elementos de valor en residuos mineros (relaves) y evaluar su  
recuperación como productos comerciales”**

**13BPC3-19021**

**INFORME TECNICO FINAL**

## **INDICE**

	<b>Página</b>
1- Introducción	4
2- Resumen del Proyecto	7
3- Esquema de Funcionamiento del Proyecto	10
4- Comité Técnico del Proyecto	12
5- Lanzamiento del Proyecto	17
6- Búsqueda Sistemizada de Información Sobre Relaves Chilenos	28
7- Viaje de Expertos Alemanes (Co-ejecutor) a Chile	31
8- Reuniones y Mesas de Trabajo en Chile, Definición Criterios de Selección Relaves	33
8.1- Reuniones, Mesas de Trabajo y Definición Criterios Primera Selección	34
8.2- Metodología de Selección	37
9- Visita a Terreno, Viajes de Expertos Alemanes y Chilenos a Depósitos de Relaves	40
10- Viaje a Terreno y Toma de Muestras en Relaves Seleccionados	46
11- Traslado y Caracterización de las Muestras (en Chile y/o en el Extranjero)	66
12- Informe de Resultados de Recopilación de Antecedentes	70
12.1- Recopilación de la Información	72
12.2- Análisis Producción Minera en Chile, Elementos de Valor para la UE	81
12.3- Información de Carácter Geológica	86
12.3.1- Minerales Metálicos	88
12.3.2- Rocas y Minerales Industriales	94
12.3.3- Determinación de los Residuos Mineros	103
12.3.4- Presencia de Elementos de Interés en Residuos Mineros	113

	<b>Página</b>
12.3.5- Recuperación de Elementos de Valor	118
13- Informe de Evaluación de Resultados de las Caracterizaciones 1° Selección	127
14- Mesas de Trabajo para la Segunda Selección, Definición Residuos Objeto Estudio	141
14.1- Los Objetos Seleccionados	142
14.2- Esquemas de Procesamiento	143
14.3- Análisis de Minerales Pesados	146
14.4- Separación Gravitacional Mediante Mesa Húmeda Vibratoria	148
14.5- RDA, Análisis por Difracción de Rayos X	151
14.6- Análisis de Fluorescencia de rayos X	153
14.7- MLA, Análisis de Liberación de Minerales	155
14.8- Informe de Separación Magnética	159
14.9- Lixiviación	165
14.9.1- Biolixiviación	165
14.9.2- Lixiviación Convencional	167
14.9.3- Informe Pruebas de Lixiviación en Chile	175
14.10- Conclusiones	183
15- Evaluación de Disposición de Residuos Generados	185
15.1- Evaluación de Disposición de Residuos Generados	186
15.2- Viaje de Personal de AHK a Alemania	187
16- Confección de Material de Apoyo que Contenga la Información de la Etapa 1	199
16.1- Resultados, Propuestas y Sugerencias para Acciones Futuras	200

	<b>Página</b>
16.2- Metodología Usada Durante las Actividades de la Etapa 1	201
17- Reuniones, Mesas de Trabajo, Talleres de Capacitación, Material de Apoyo	206
18- Difusión del Bien Público a Través de las Páginas Web de Asociados	209
19- Jornadas de Divulgación, Mesas de Trabajo, Participaciones en Ferias y Foros	211
20- Realización de Seminario de Cierre del Proyecto	218
21- Bibliografía	226

## **INTRODUCCION**

Chile se encuentra situado en un ambiente geológico altamente favorable para la formación de importantes y numerosos yacimientos metálicos de carácter poli-componentes. Es así que en Chile, existe una de las mayores mineralizaciones cupríferas del mundo, principalmente como yacimientos de tipo vetiformes, pórfidos cupríferos y estratoligados. En los primeros encontramos básicamente los minerales oxidados de cobre, tales como atacamita, cuprita, crisocola y brochantita. En los pórfidos cupríferos se encuentran los sulfuros; destacando la calcopirita, la cebellina, la bornita, la enargita y la calcocita. Pero además estos yacimientos pueden presentar cantidades variables de Molibdeno, Plata, Oro, y en menor medida Zinc y Selenio, entre otros, junto con un enriquecimiento moderado de tierras raras livianas y una débil anomalía de Europio. Los yacimientos del tipo estratoligados se encuentran en la cordillera de la costa y poseen una importante mineralización de sulfuros de cobre de alta ley.

En general, los esquemas tecnológicos para producir cobre han considerado la recuperación de elementos secundarios como Oro, Plata y Molibdeno. Sin embargo, el resto de los elementos permanecen en calidad de residuos, ya sea relaves, ripios, escorias u otros.

Por otra parte, la producción de cobre en Chile tiene asociada la generación de importantes cantidades de residuos, tales como ripios, escorias y relaves, con importante potencialidad de contener elementos de valor. En los últimos 10 años la industria del cobre ha generado 2.156 millones de toneladas de relaves. De acuerdo a una información publicada por SERNAGEOMIN (2010) se informa que existen 449 depósitos de relaves, de los cuales 125 aún estarían en operación.

El presente proyecto tiene por objetivo principal evidenciar la potencial presencia de elementos de valor en estos residuos, mediante su caracterización química, física y mineralógica. Proponiendo además esquemas tecnológicos básicos, que permitan recuperar estos elementos como productos comerciables, considerando la atractiva demanda internacional por estos elementos.

A manera de ejemplo, se puede mencionar que el valor que le confiere a los relaves el contenido de elementos tales como Galio, Germanio, Plata, Titanio, Cobre, Selenio y Potasio en forma de Cloruro de Potasio, a precios actuales de mercado, asciende a 56,5 millones de dólares por un millón de toneladas de relave.

En esta transferencia de valor de los relaves no están considerados elementos tales como el Hierro, Plomo, Zinc Cobalto, Tierras raras, entre otros. En aquellos relaves donde estos elementos estén presentes, el valor potencial será evidentemente mayor.

Recordar además, que en los últimos 10 años (2002 -2011), se han generado sobre 2150 millones de toneladas de relaves que en general no están siendo tratadas. Además, la generación promedio

de relaves hacia el 2020, ascenderá a más de 380 millones de toneladas año. De acuerdo a proyecciones publicadas por COCHILCO, la generación de relaves aumentará a un 81% hacia el año 2020 respecto al año 2011.

La disposición de los nuevos residuos generados deberá cumplir con la normativa vigente.

## **2- Resumen del Proyecto**

La selección de relaves en los cuales se pudiera realizar un muestreo general, tuvo como base al catastro del SERNAGEOMIN, las plantas de tratamiento de ENAMI y de las medianas empresas agrupadas a SONAMI. Los relaves de grandes empresas, nacionales y extranjeras, no se tuvieron en cuenta, básicamente, porque sus directivos no mostraron mayor interés en participar del Proyecto, otros solicitaron exclusividad de apropiación de los resultados, situación que se contrapone con el carácter público del Proyecto y por último, porque el Proyecto no contaba con los recursos para haber realizado campañas de muestreo de enormes tonelajes, o sea, mayores a 100 millones de toneladas.

Las muestras fueron tomadas manualmente con una sonda que permite tomar muestras de 0 a 1 mt y de 1 a 2 mt. Este método permitió tomar muestras en varios puntos de un relave por día. Esto resulta especialmente importante, toda vez que los relaves son cuerpos heterogéneos, tanto vertical como horizontalmente. En los depósitos en que se construyen las paredes mediante hidrociclones, se encuentra que los taludes están constituidos de material más grueso que en el centro del tranque.

En algunos tranques de relaves se encontraron grietas que permitieron tomar muestras en el sentido vertical a lo alto de la grieta.

En una primera campaña de muestreo se tomaron muestras de 12 relaves, las que fueron caracterizadas químicamente. Todas las muestras fueron analizadas por 57 elementos. Los resultados de las caracterizaciones muestran presencia de varios elementos de interés, tales como cobre, hierro, vanadio, zinc, cobalto, así como algunos elementos de tierras raras como lantano, cerio y niobio. Recordar que muchos de los elementos contenidos de se han convertido en componentes clave y en materias primas estratégicas para el mantenimiento y desarrollo de nuevas y avanzadas tecnologías que permiten o facilitan el bienestar económico de los países industrializados. La mayoría de los países industrializados que pertenecen a la Unión Europea, además de EEUU y Japón, han reconocido explícitamente que la falta de ciertos elementos que están siendo producidos principalmente por China, Rusia, la República Democrática del Congo y Brasil, representan un gran desafío para la gestión de sus economías.

Con las caracterizaciones químicas a la vista, se seleccionaron cuatro relaves para estudios más amplios y profundos. Junto con la presencia de elementos de valor, se tuvieron en cuenta también consideraciones como el tamaño, su situación legal y la accesibilidad como criterios de selección. Los tranques seleccionados fueron: Planta Taltal, El Salado, Minera Carola y Bellavista San Felipe.

De estos cuatro relaves seleccionados, se tomó mayor cantidad de muestra y se enviaron a Alemania para caracterizaciones mineralógicas y pruebas de concentración y lixiviación. El análisis

de minerales pesados fue posible hacerlo sólo a las muestras de Carola y El Salado, ya que tenían una fracción de minerales de tamaño grueso necesarios para este tipo de análisis. Las muestras de Taltal y Bellavista eran muy finas, lo que impidió poder analizarlas por minerales pesados.

Se realizaron pruebas de concentración por densidad en una mesa húmeda de vibración.

Con la muestra de Carola se logró un concentrado con 70 % de pirita y 4 % de calcopirita. Se debiera estudiar la posibilidad de separar el cobre mediante flotación o evaluar la posibilidad de agregar este concentrado a la lixiviación bacteriana de concentrados pobres en azufre.

Las muestras exploratorias de Taltal, y las tomadas para la realización de pruebas mostraron gran diferencia en el contenido de  $Fe_2O_3$  (41,7 % exploratorias y 28 % pruebas). Esto no permitió tener resultados concluyentes en el tratamiento con la mesa de vibración.

Con las muestras de El Salado se logró un concentrado con un contenido de solo el 29 % del cobre inicial, lo cual no hace recomendable este proceso.

Por el alto contenido de finos de Bellavista, no se realizaron pruebas en la mesa de vibración.

Dado el alto contenido de hierro, especialmente en las muestras de Taltal y Carola, se realizaron pruebas de separación magnéticas, para cuantificar la eficiencia de esta técnica para separar hierro magnético.

En la empresa de Ingeniería JRI, se realizaron pruebas de caracterización magnética a muestras de Taltal. Las pruebas consistieron en una evaluación preliminar respecto a cuán magnetizable es la muestra. Para esto se realizó un análisis granulométrico, luego se realizó un ensayo con el tubo Davis (DTT) y se definió la susceptibilidad magnética. Los resultados indican que a diferentes campos magnéticos (1000, 3000 y 4000 Gauss), la recuperación de hierro magnético fluctúa entre 42 a 46 %.

También se realizaron en Chile pruebas de separación magnética manual. Los resultados muestran que el 87,3 % de la muestra de **Taltal** se reportan en la fracción magnética. La muestra de **Carola** se divide en 41 % en la fracción magnética y el 58,9 % la fracción no magnética. **Bellavista** reporta 19,8 % como fracción magnética y 80 % no magnética. **El Salado** reporta solamente 3,7 % magnético y 96,3 % no magnético.

Los análisis químicos de las fracciones magnéticas y No magnéticas muestran resultados sorprendentes. En el caso de las fracciones de la muestra de Taltal tenemos que sobre el 91 % del hierro se reporta en la fracción magnética. Lo sorprendente es que también se reportan en la fracción magnética altas concentraciones de cobre (84,9 %), vanadio (91,5 %), zinc (80 %) y níquel (89,4 %). Esto indica que estos elementos se encuentran ocluidos o cocrystalizados con magnetita. Para su recuperación será necesario liberar los minerales de cobre, mediante por ejemplo una molienda más fina.



En la muestra de Carola el 69,8 % del hierro se reporta en la fracción magnética. El contenido de otros elementos como por ejemplo cobre, lantano y cerio, es de 29,5 %, 40 % y 39,6 % respectivamente en la fracción magnética.

La muestra de El Salado reporta que el 14,2 % del hierro se encuentra en la fracción magnética. En tanto que elementos como el cobre, vanadio, níquel y zinc se encuentran con 3 %, 8,2 %, 9,8 % y 22,3 % respectivamente en la fracción magnética.

La muestra de Bellavista reporta que el 42,6 % del hierro se encuentra en la fracción magnética. En tanto que cobre, telurio y galio se encuentran con 13,3 %, 16,4 % y 16,7 % respectivamente en la fracción magnética.

Complementario a las pruebas de concentración y separación magnética se realizaron pruebas de lixiviación bacteriana y convencional por suspensión.

La lixiviación bacteriana se realizó con muestra original, en la BGR en el grupo de trabajo del Profesor Dr. Axel Schipper.

El tiempo de lixiviación se extendió por 24 días, en condiciones estable de temperatura (30 %) y concentración de ácido.

Las mejores recuperaciones de cobre por muestra fueron: Taltal 70 %, Carola 2,5 %, Bellavista 54 % y El Salado 76 %.

En la empresa **IZB-Salzchemie** de Alemania se realizaron pruebas de lixiviación por suspensión. Se usó ácido sulfúrico al 5 %. El material probado fueron los dos concentrados no magnéticos de minera El Salado, el Concentrado 2 no magnético de Minera Carola y las muestras originales de Taltal y Bellavista.

Los mejores resultados de las recuperaciones de cobre y zinc fueron las siguientes:

**Taltal** 83,9 % de Cu y 7,3 % de Zn, **Minera Carola** 1,2 % de Cu y 15,9 % de Zn, **Bellavista** 66 % de Cu y 15,3 % de Zn y **El Salado** 72 % de Cu y 1,5 % de Zn.

Las pruebas de lixiviación realizadas en Chile, se realizaron en los laboratorios de la empresa BASF.

Se emplearon HCl y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> como medios lixiviantes y Fe<sup>3+</sup> (5 g/l) como medio oxidante. El tiempo de reacción fue de 2 horas a 25 y 70 ° C. las muestras corresponden a las fracciones no magnéticas de cada sitio.

Los mejores resultados de recuperación por muestra fueron: Taltal 97 % Cu con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y 95 % con HCl. Las recuperaciones de Cr, Co, Ni, Zn con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> fueron 74 %, 64 %, 62 %, 72 % y 85 % respectivamente.

En El Salado la recuperación de Cu alcanza con los dos medios lixiviantes, 98 %. También resultan muy interesantes las recuperaciones de Sn, Cd, Te y Ge que alcanzan sobre el 90 %, con los dos lixiviantes. La recuperación de Bi alcanza casi 80 %.

Por su parte Minera Carola, obtiene la mejor recuperación de cobre bajo el sistema con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> con 87 %, en tanto, con HCl alcanza sólo el 65 %. Níquel Ni, Estroncio Sr, cesio Cs, hafnio Hf, Tantalio Ta, así como las tierras raras lantano La, torio Th, alcanzan en el sistema con HCl recuperaciones sobre el 80 %.

En Bellavista las recuperaciones de cobre alcanzan 85 % con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y 81 % con HCl. Interesantes recuperaciones se lograron de Cd, Se, Te, Ge superando los 90 % de rango.

Los resultados muestran que, se han logrado muy interesantes grados de disolución, tanto de Cu como de Zn y otros elementos. En algunas muestras como Carola se han logrado grados de disolución de Ni por sobre 93 % con HCl.

En resumen creemos que se ha cumplido totalmente con uno de los objetivos centrales del Proyecto, el cual era la evidenciación y cuantificación de elementos de valor presentes en los relaves.

El segundo tema al cual creemos haber aportado importantes conocimientos, tiene que ver con saber con qué esquemas tecnológicos y bajo que parámetros es posible lograr disoluciones con altos grados de extracción de elementos de valor. Todo esto junto con importante información respecto a la composición mineralógica, clave para desarrollar esquemas tecnológicos tendientes a la recuperación de elementos de valor.

Las tareas pendientes del Proyecto que no se pudieron abordar por falta de tiempo y fundamentalmente de recursos financieros, son la realización de pruebas que permitan definir procesos (extracción mediante extractantes orgánicos, intercambiadores iónicos, cementación, cristalización fraccionada, osmosis, etc.) de recuperación de elementos de valor desde la matriz acuosa, después de la lixiviación.

En caso de una posible continuación del tema, se recomienda la realización de pruebas tendientes a liberar los minerales de los elementos de valor, de otros minerales, especialmente magnetita y cuarzo.

También la realización de pruebas a mayor escala a objeto por un lado de validar los resultados en este trabajo y por otro lado con el fin de generar cantidad de soluciones que permitan realizar las pruebas aguas debajo de la lixiviación y obtener muestras de productos comerciales.

### 3- Esquema de Funcionamiento del Proyecto

Para el desarrollo de este proyecto se cuenta con la participación y la interacción de las siguientes instituciones (Ver Figura 1):

- Beneficiario: AHK Business Center de la Cámara Chileno-Alemana de Comercio e Industria
- Co-ejecutor: BGR – Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales (Alemania)
- Asociados Mandantes/Oferentes:
  - Ministerio de Minería
  - SONAMI – Sociedad Nacional de Minería
  - COCHILCO – Corporación Chilena del Cobre



Figura 1: Esquema representativo del proyecto

En cuanto a la realización de actividades el proyecto considera su desarrollo según las siguientes etapas:

Etapa 1: Desarrollo del bien,

Etapa 2: Transferencia a los Asociados Oferentes

Etapa 3: Difusión a Beneficiarios Atendidos

#### **4- Comité Técnico del Proyecto**

El día 14 de Agosto del 2013, se realiza reunión constitutiva del directorio técnico del proyecto “Identificar elementos de valor en residuos mineros (relaves) y evaluar su recuperación como productos comerciales”.

Participaron en la reunión:

- Dr. Roberto Mallea, CAMCHAL, Director del proyecto AHK-BGR
- Cornelia Sonnenberg, CAMCHAL, Gerente General CAMCHAL AHK
- Annika Glatz, CAMCHAL, Projekt Manager Centro de Competencia Minera
- Isabel Gutiérrez, CAMCHAL, Ingeniera del proyecto AHK-BGR
- Jorge Martínez Saavedra, Cochilco
- Marcelo Torche, ENAMI Subgerente de Inversiones Gerencia de Desarrollo
- Iván Cerda, Fundación Tecnológica SONAMI, Gerente Técnico
- Fernando Flores, Fundación Tecnológica, SONAMI, Subgerente



**Foto 1: Integrantes Comité Técnico del Proyecto**

En la reunión constitutiva del Comité Técnico para el Proyecto fue abierta por Cornelia Sonnenberg, Gerente General de la CAMCHAL, entregando los antecedentes del Proyecto y el contexto político y estratégico en el cual se generó el proyecto:

- El proyecto nace en un contexto político altamente favorable para profundizar la cooperación entre Alemania y Chile en el ámbito de la minería y los recursos naturales minerales, dado que se firmaron importantes y amplios convenios de cooperación entre ambos países en Enero de este año.
- La misión de la CAMCHAL en este marco político es promover cooperaciones a nivel empresarial e institucional, la transferencia tecnológica y de conocimiento así como el desarrollo de nuevas soluciones. Para el cumplimiento de esta misión, CAMCHAL estableció su unidad de minería dentro de la Cámara, el Centro de Competencias Mineras. Otro importante hito en el año 2013 fue además la realización del Foro Chileno-Alemán de Minería y Recursos Naturales Minerales, en el marco del cual se anunció también el comienzo del Proyecto AHK-BGR durante la segunda mitad del 2013.
- El proyecto constituye una cooperación entre el Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales de Alemania, la BGR (por sus siglas en alemán) con CAMCHAL como institución local que proporciona el housing del Proyecto y facilita su anclaje en las contrapartes chilenas.
- La BGR aporta aprox. el 75 % del monto requerido para la realización de este proyecto. Esto financiará un equipo de 5 investigadores seniors alemanes que trabajarán en la BGR así como en misiones en Chile, la realización de pruebas y mediciones así como el uso de laboratorios especializados en Alemania. El trabajo y las actividades de los expertos contrapartes en Chile contratados por CAMCHAL para el proyecto, Dr. Roberto Mallea e Isabel Gutiérrez, son financiados con aportes de InnovaCORFO.
- Además el proyecto cuenta con el apoyo de SONAMI COCHILCO y ENAMI además del SERNAGEOMIN, como contraparte institucional para la BGR. El gobierno chileno participa en el Proyecto a través del Ministerio de Minería.
- El inicio del proyecto constituye un importante paso para reanudar la cooperación entre ambos países en el ámbito de la minería. Existen en el pasado ejemplos de una fructífera cooperación entre la BGR y el Sernageomin, sin embargo este proyecto permite ampliar el radio de cooperación, involucrando a otros actores públicos y privados.
- El foco es puesto en la generación de conocimiento transferible al mundo empresarial, dado que pretende cerrar brechas de conocimiento y de tecnología para permitir desarrollar un nuevo ámbito de minería secundaria.



**Foto 2: Reunión Comité Técnico del Proyecto**

Dr. Roberto Mallea expuso sobre el contenido del Proyecto, las metas del Comité Técnico y las primeras actividades que se desarrollarán en las próximas semanas:

- Proyecto fue iniciado el 1. de Agosto
- Se destaca algunas características claves del Proyecto:
  - Se evaluarán exclusivamente relaves
  - Los resultados del Proyecto serán públicos
  - Se busca el involucramiento de empresas, lo que significa que la investigación no tendrá un enfoque académico, sino más bien se buscará identificar oportunidades de negocio a través de identificar elementos de valor en los relaves y su recuperación como productos comerciales.
- La primera etapa del Proyecto es “Desarrollar el bien” y tiene una duración total de 18 meses. Por ello, en las próximas semanas hasta Octubre, se llevarán a cabo las siguientes dos actividades:
  - Recopilación de información (ubicación, legal, caracterizaciones, geológica)
  - Definición de criterios de selección (técnico, propiedad, ubicación acceso servicios, etc.)
- Después de Octubre las demás actividades de la Etapa 1 son:

- Selección de acuerdo a criterios definidos
  - Toma de muestras de relaves seleccionados
  - Caracterización muestras tomadas (en Alemania)
  - Definición de elementos de interés (en Alemania)
  - Desarrollo propuesta tecnológica recuperación de elementos de interés
  - Realización pruebas de laboratorio (verificar esquema tecnológico propuesto)
  - Evaluación técnico económica
- 
- El rol del Comité Técnico en relación a estas actividades será velar por el desarrollo del proyecto con los debidos estándares técnicos, con el fin de garantizar una alta calidad técnica y buenos resultados
  
  - El Comité Técnico se reunirá regularmente para discutir los informes de avance/finales antes de la entrega de tales informes a CORFO
  
  - Roberto Mallea destacó que cualquier aporte de parte de los expertos técnicos, en las primeras semanas especialmente la entrega de información, será de gran valor para el avance del proyecto.



**Foto 3: Reunión Comité Técnico del Proyecto**

Los expertos del Comité Técnico entregaron las siguientes observaciones acerca de lo expuesto por Cornelia Sonnenberg y Roberto Mallea:

- El eco de los expertos fue positivo y todos aseguraron su apoyo al proyecto en la medida posible.



- Todos destacaron, que en las primeras semanas del proyecto será clave desarrollar una buena metodología, dado que ella tendrá un efecto directo en la calidad de los resultados.
- La actividad de la toma de muestras fue discutido varias veces, dado que es una actividad costosa y por ende tiene que ser bien planificada para aprovechar bien los recursos disponibles para ello. Se consideró que hay dos formas de hacerlo: Tomar una gran cantidad de pruebas y hacer un análisis más bien a grandes rasgos, o, seleccionar pocos relaves y hacer un análisis profundo. Este punto quedó por ser profundizado y definido.
- Marcelo Torche, ENAMI explicó que la ENAMI sabe que los relaves tienen una gran cantidad de elementos, pero hay falta de conocimiento acerca de las tecnologías disponibles para poder recuperarlos. Por lo tanto fue percibido como muy positivo que el proyecto incluya actividades para incorporar empresas y apuntar al potencial económico de estos elementos.
- En línea con esto Jorge Martínez de COCHILCO destacó la importancia de generar una “apuesta tecnológico” de los resultados que se van generando durante el Proyecto, es decir, identificar cuáles son los caminos para llegar al producto y generar un negocio.
- Fernando Flores destacó en este contexto, que es sumamente importante comunicar bien a posibles empresas interesadas que los resultados serán públicos.

## 5- Lanzamiento del Proyecto

Con fecha 17 de Octubre de 2013 se llevó a cabo el lanzamiento del proyecto “**Identificar elementos de valor en residuos mineros (relaves) y evaluar su recuperación como productos comerciales**”. Esta iniciativa de CAMCHAL a través de su filial AHK Business Center S.A., es apoyada por el Programa InnovaChile de CORFO, y cuenta con la participación y el apoyo del Ministerio de Minería de Chile, SONAMI, ENAMI, COCHILCO, SERNAGEOMIN y el Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe , BGR de Alemania.

La reunión-desayuno se realizó en el Auditorio de SONAMI, Av. Apoquindo 3000, Piso 4, Las Condes, Santiago y contó con la participación de importantes representantes de empresas mineras. La invitación se muestra en la **imagen 1**.



Imagen 1: Invitación Seminario de Lanzamiento

Esta iniciativa, financiada por el Programa InnovaChile de CORFO en su línea de apoyo, Bienes Públicos para la Competitividad, fue presentada en la ocasión por la Sra. Cornelia Sonnenberg, Gerente General de la Cámara Chileno-Alemana de Comercio e Industria CAMCHAL y su filial AHK Business Center S.A (Foto 4). El Jefe del Proyecto, Dr. Roberto Mallea, (Foto 5), explicó los objetivos y alcances de la investigación; también expusieron en el lanzamiento la **Dra. Annette Weerth**, Primer Secretario de Asuntos Económicos, Científico-Tecnológicos y de Cooperación de la Embajada de la República Federal de Alemania (Foto 6). El Prof. Dr. **Sr. Hans-Joachim Kümpel**, Presidente del Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe – BGR (Foto 7), manifestó la alta valoración que Alemania le atribuye al proyecto. **Sr. Conrad Von Igel**, Director CORFO Innova (Foto 8) y el **Sr. Luis Ignacio Silva**, Director Nacional Subrogante, Director de Geología, SERNAGEOMIN (Foto 9), expresaron su satisfacción por la realización y participación activa del SERNAGEOMIN respectivamente.



Foto 4: Sra. Cornelia Sonnenberg, Lanzamiento del Proyecto, Octubre 2013



**Foto 5: Dr. Roberto Mallea, Lanzamiento del Proyecto, Octubre 2013**

La Gerente General de Camchal Sra. Cornelia Sonnenberg destacó que “Trabajamos en conjunto con el Instituto alemán de Geociencias y Recursos Naturales, entidad que posee las capacidades técnicas necesarias para su ejecución, y contamos con el apoyo del Ministerio de Economía de Alemania y de Minería de Chile. Con este proyecto se queremos avanzar hacia el desarrollo de una minería secundaria más allá de la recuperación de elementos tradicionales basada en los residuos de la minería chilena. El impulso industrial que genera el proyecto es de beneficio inmediato para Chile al crear las bases para nuevas empresas, puestos de trabajo de alta calificación, vinculación directa con la industria de alta tecnología a nivel global y una mayor sustentabilidad de la minería. Con esta actividad se demostrará de manera concreta una nueva calidad en la cooperación entre Chile y Alemania en el ámbito minero”, por otra parte Dr. Roberto Mallea, mencionó en su presentación, que el proyecto tendrá una duración de 24 meses y que participa en calidad de co-ejecutor el Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe – BGR de Alemania y como asociados importantes entidades Chilenas cómo Ministerio de Minería, COCHILCO, SONAMI, ENAMI y SERNAGEOMIN, con quienes se realizará una tarea en conjunto para lograr el éxito de la investigación y la posterior difusión del proyecto. Dentro de la información entregada al público, el Dr. Mallea presentó el resumen del proyecto, sus objetivos y el programa de trabajo de éste.



Foto 6: Dra. Annette Weerth, Lanzamiento del Proyecto, Octubre 2013



Foto 7: Sr. Hans-Joachim Kümpel, Presidente BGR, Lanzamiento del Proyecto, Octubre 2013



Foto 8: Sr. Conrad Von Igel, Corfo Lanzamiento del Proyecto, Octubre 2013



Foto 9: Sr. Luis Ignacio Silva, Sernageomin, Lanzamiento del Proyecto, Octubre 2013

En la foto 10, se muestra parte del Grupo de Representantes de las entidades participantes del proyecto.



**Foto 10: Lanzamiento del Proyecto, Octubre 2013**

Foto 10: Sr. Ignacio Silva, director subrogante Sernageomin; Prof. Dr. Hans-Joachim Kümpel, presidente Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales (BGR); Patricio Céspedes, vicepresidente Sonami; Cornelia Sonnenberg, gerente general CAMCHAL; Dr. Roberto Mallea, líder del equipo local, y Reinhard Krause del Ministerio Federal de Economía y Tecnología

El programa de la actividad estuvo distribuido de acuerdo a la Imagen 2:



Cámara Chileno-Alemana  
de Comercio e Industria - CAMCHAL  
Deutsch-Chilenische  
Industrie- und Handelskammer

Proyecto apoyado por



## LANZAMIENTO

Proyecto "Identificar elementos de valor en residuos mineros (relaves) y evaluar su recuperación como productos comerciales"

08:30 - 09:00	Registro de participantes
09:00 - 09:10	Apertura Sra. Cornelia Sonnenberg, Gerente General CAMCHAL - AHK Business center S.A.
09:10 - 09:20	Dra. Annette Weerth, Primer Secretario de Asuntos Económicos, Embajada de la República Federal de Alemania Científico-Tecnológicos y de Cooperación
09:20 - 09:30	Sr. Hans-Joachim Kumpel, Presidente del Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe – BGR de Alemania
09:30 - 09:40	Sr. Conrad von Igel, Director CORFO Innova.
09:40 - 09:50	Sr. Luis Ignacio Silva, Director Nacional Subrogante, Director de Geología. SERNAGEOMIN
09:50 - 10:15	Sr. Roberto Mallea, Director de Proyecto, AHK Business Center S.A. Presentación del proyecto – sus alcances y contenido
10:15- 10:30	Ronda de preguntas y discusión

Imagen 2: Programación de la Actividad

La lista de los participantes se encuentra en **la Imagen 3**, a continuación:



Listado de Asistentes al Evento de Lanzamiento:



Cámara Chileno-Alemana  
de Comercio e Industria - CAMCHAL  
Deutsch-Chilienische  
Industrie- und Handelskammer

**Participantes Lanzamiento del proyecto: "Identificar elementos de valor en residuos mineros (relaves) y evaluar su recuperación como productos comerciales"**

Fecha: 17 de Octubre de 2013

Lugar: Auditorio de SONAMI

Hora Inicio: 08:30 Hora Término:

N°	Nombre	Empresa	Firma
1	Sr. Ricardo Rodríguez Jefe de Estudios	Ministerio de Minería	
2	Sr. Adolfo López Director Dirección Evaluación de Gestión Estratégica	COCHILCO	
3	Sr. Jorge Martínez. Analista de Inversiones y Fiscalización	COCHILCO	
4	Sr. Iván Cerda Bernal Gerente Departamento Técnico	SONAMI	
5	Sr. Patricio Céspedes Vicepresidente SONAMI	SONAMI	
6	Sr. Franz Strube Claramunt. Jefe de Gabinete	SERNAGEOMIN	
7	Sr. Felipe Celedón Gerente General	SONAMI	
8	Sr. Dieter Wunder Manríquez Gerente de Desarrollo, Sustentabilidad y Estudios	ENAMI	
9	Sr. Daniel Smith Cruzat Subgerente de Nuevas Plantas	ENAMI	
10	Sr. Marcelo Torche Subgerente de Inversiones	ENAMI	
11	Sr. Luis Ignacio Silva Director de Geología	SERNAGEOMIN	X
12	Sr. Waldo Vivallo Administración Geología aplicada	SERNAGEOMIN	



Cámara Chileno-Alemana  
de Comercio e Industria - CAMCHAL  
Deutsch-Chilienische  
Industrie- und Handelskammer

**Participantes Lanzamiento del proyecto: "Identificar elementos de valor en residuos mineros (relaves) y evaluar su recuperación como productos comerciales"**

N°	Nombre	Empresa	Firma
13	Sra. Cornelia Sonnenberg Gerente General Camchal	CAMCHAL	
14	Sr. Roberto Hahn Presidente de Directorio Camchal	CAMCHAL	
15	Sr. Enrique Celedón Vicepresidente del Directorio Camchal	CAMCHAL	
16	Sra. Annika Glatz Jefe de Proyectos	CAMCHAL	
17	Sr. Roberto Maileta Director del Proyecto AHK - BGR	CAMCHAL	
18	Sra. Isabel Gutiérrez Ingeniero de proyecto AHK-BGR	CAMCHAL	
19	Sr. Paula Diaz Periodista	EDITEC	
20	Sr. Conrad von Igel Director CORFO	CORFO	
21	Sra. Annette Weerth Primer Secretario de Asuntos Económicos	EMBAJADA ALEMANA	
22	Dr. Prof. Hans Joachim Kumpel	BGR	
23	Dr. Malte Drobe	BGR	
24	Prof. Dr. Axel Schippers	BGR	



### **Difusión de Lanzamiento del Proyecto:**

- "Plataforma de Inversiones Alemanas en el cono sur. Minería Chilena: HYPERLINK  
"http://www.mch.cl/reportajes/plataforma-de-inversiones-alemanas-en-el-cono-sur/"  
http://www.mch.cl/reportajes/plataforma-de-inversiones-alemanas-en-el-cono-sur/
- "Aportes del Instituto de Geociencias y Recursos naturales BGR de Alemania a la Minería Chilena" R. Mallea Camchal. Revista MINERALES del Instituto de Ingenieros de Mina, Edición 276, página 36:
- CAMCHAL impulsa nuevo proyecto en minería secundaria. HYPERLINK  
"http://www.portalminero.com/display/PRENSA/2013/10/23/Identificar+elementos+de+valor  
+en+residuos+mineros"  
http://www.portalminero.com/display/PRENSA/2013/10/23/Identificar+elementos+de+valor+  
en+residuos+mineros

## **6- Búsqueda Sistematizada de Información sobre Relaves Chilenos**

**Proyecto:** Identificar elementos de valor en residuos mineros (relaves) y evaluar su recuperación como productos comerciales

**Código:** 13BPC3-19021

**Etaapa 1:** Desarrollo del Bien

**Actividad 1:** Búsqueda sistematizada de información sobre relaves chilenos (legal, ubicación geográfica, composición)

**Fecha:** Agosto - Octubre 2013

## ETAPA 1

### Actividad 1: Búsqueda Sistematizada de Información sobre Relaves Chilenos

La actividad consistió en recopilar antecedentes de carácter geológico, tipo de faenas que lo generaron, tipo de operación, ubicación geográfica, otros, sobre los relaves generados en la minería de cobre. Los antecedentes recopilados constituyen una plataforma desde la cual se hará la selección de los relaves objeto de estudio en el marco del proyecto “identificar elementos de valor en residuos mineros (relaves) y evaluar su recuperación como productos comerciales” Código 13BPC3-19021.

También se incluye un estudio cuyo objetivo es mostrar la diversidad de residuos que genera la actividad minera, tanto metálica como no metálica. El estudio señala que la composición química de los residuos le transfiere a estos, un inmenso potencial económico, que convierte estos residuos o desechos en “Materias Primas Secundarias”

El objetivo asociado a esta actividad es “Recopilación de información relevante respecto a la composición de los relaves, tanto de carácter químico, geológico así como de operación de las faenas que generaron los relaves de interés”

El resultado de esta actividad fue un Informe de recopilación de antecedentes. Mediante búsqueda sistematizada de información (situación legal, ubicación geográfica, composición, tonelaje etc.) sobre relaves chilenos. El informe respectivo se encuentra en la **Página 70** del presente informe y servirá como base referencial para la preparación de los criterios de selección de objeto estudio.

Dentro de la información relevante encontrada en ésta búsqueda, están las caracterizaciones químicas parciales de relaves, que se encuentran en el catastro de relaves confeccionado por SERNAGEOMIN el año 2010, el cual contiene información de 450 tranques y embalses de relaves de los cuales 324 están inactivos y 125 están activos.

La información que entrega el catastro sobre los depósitos de relaves es la Siguiente:

- Nombre de la empresa que lo generó.
- Nombre de la faena.
- Nombre del depósito.
- Tipo de depósito (tranque o embalse)
- Ubicación geográfica (UTM Norte, UTM este y Cota), Región y Comuna
- Origen (tratamiento de Cobre, Oro, Plata o Fierro)

- Resolución
- Situación actual del depósito (activo o No activo).

También se consideró conveniente confeccionar un estudio que facilite la conversación entre actores, públicos y privados, de diversas áreas de la economía chilena y alemana, tendiente a buscar proyectos y emprendimientos conjuntos. El estudio tiene entre otros objetivos, mostrar la diversidad de residuos que genera la actividad minera, tanto metálica como no metálica, y a partir de su composición señalar el inmenso potencial económico, que convierte estos residuos o desechos en "Materias Primas Secundarias". Otro de los objetivos del estudio consiste, en mostrar tempranamente, lo que podrían ser los resultados del proyecto. En este sentido el estudio ayudará a crear condiciones que permitan materializar de manera más rápida los resultados del proyecto. En consecuencia, el estudio será un complemento importante al proyecto, dicho documento se encuentra a partir de la **página 70** del presente informe.

## **7- Viaje de Expertos Alemanes, Co-ejecutor a Chile**

**Proyecto:** Identificar elementos de valor en residuos mineros (relaves) y evaluar su recuperación como productos comerciales

**Código:** 13BPC3-19021

**Etapas 1:** Desarrollo del Bien

**Actividad 2:** Viaje de expertos alemanes co-ejecutores a Chile, reuniones y mesas de trabajo

**Fecha:** Octubre - Noviembre 2013



## **Actividad 2: Viaje de Expertos Alemanes Co-Ejecutores a Chile, Reuniones y Mesas de Trabajo.**

La delegación Alemana realizó viaje a Chile para presentar el lanzamiento del proyecto y también para reunirse con las empresas e instituciones asociadas al proyecto.

También estuvo presente la delegación en la presentación del proyecto, por parte del director del proyecto Dr. Roberto Mallea, en las IV Jornadas Económicas Alemania – Chile 2013, organizadas por la CAMCHAL, bajo la temática “Industria Minera: una Nueva Mirada al Futuro.

Este evento contó con la participación del viceministro alemán de Economía y Tecnología, Dr. Bernhard Heitzer y su contraparte de Chile, Félix de Vicente. Durante las jornadas se realizaron foros temáticos y workshop en donde representantes de empresas chilenas se reunieron con representantes del clúster del estado de Baviera.

## **8- Reuniones y Mesas de Trabajo en Chile. Criterio de Selección de Relaves**

**Proyecto:** Identificar elementos de valor en residuos mineros (relaves) y evaluar su recuperación como productos comerciales

**Código:** 13BPC3-19021

**Eta 1:** Desarrollo del Bien

**Actividad 3:** Reuniones y mesas de trabajo en Chile (con co-ejecutor). Análisis del informe de recopilación de antecedentes, definición criterio de selección de relaves

**Fecha:** Agosto - Octubre 2013

### **Actividad 3: Reuniones y Mesa de Trabajo en Chile (con Co-ejecutor), Análisis del Informe Recopilación de Antecedentes.**

La actividad 3 tuvo como objetivo principal la definición de criterios de selección y desarrollo de metodología que permita seleccionar depósitos de relaves, desde un universo por definir de acuerdo al análisis de la información existente. En una primera etapa se seleccionará un grupo de relaves que alcance la mejor evaluación respecto a los criterios de selección establecidos. El grupo seleccionado será muestreado y caracterizado. Con los resultados de las caracterizaciones, se realizará una evaluación preliminar de factibilidad técnico económica.

Como resultado de esta actividad se logró confeccionar un informe sobre la metodología y definición de criterios para la primera selección de relaves objeto de estudio, el cual se presenta a continuación:

#### **8.1- Reunión y Mesas de Trabajo en Chile, Definición Criterios de Primera Selección**

En reuniones sostenidas con expertos de BGR, SERNAGEOMIN y SONAMI se definieron los criterios para hacer efectiva la primera selección de relaves objeto de estudio. Gran parte de las reuniones se realizó entre los meses de octubre y noviembre del 2013.

También se realizaron visitas a terreno con los co-ejecutores y se sostuvieron reuniones con representantes de empresas interesadas en participar en el proyecto.

Las reuniones y los asistentes se detallan a continuación:

Fecha	Lugar	Asistentes	Temas relevantes
19 – Agosto - 2013	Reunión Minera Pudahuel	R Mallea (AHK) Daniel Galleguillos (M. Pudahuel). Manuel Bascuñán (M. Pudahuel)	Presentación del proyecto: sus objetivos , programa de trabajo y productos esperados
14 – Octubre - 2013	Visita Terreno Minera Pudahuel	R. Mallea (AHK) Annika Glatz (AHK) Malte Drobe (BGR)	Intercambio de información y visita a relaves que serán objeto de tratamiento por

		Axel Schippers (BGR) Herwing Marbler (BGR).	Minera Pudahuel
17 - Octubre - 2013	Visita Terreno Planta Matta ENAMI	R. Mallea (AHK) Malte Drobe ( BGR) Axel Schippers (BGR) Herwing Marbler (BGR). Juan Carlos Espinoza Planta Matta Enami	Presentación del proyecto: sus objetivos, programa de trabajo y productos esperados. Visita a los relaves de la empresa y toma de muestra
16 - Octubre - 2013	Reunión SERNAGEOMIN	C. Sonnenberg (AHK) R. Mallea (AHK) Annika Glatz (AHK) Hans Joachim Kümpel (BGR). Malte Drobe ( BGR) Axel Schippers (BGR) Herwing Marbler (BGR).	Presentación del proyecto: sus objetivos, programa de trabajo y productos esperados.  Sernageomin expresa formalmente su interés de participar del proyecto
05 - Noviembre - 2013	Reunión SERNAGEOMIN	R. Mallea (AHK) C Sonnenberg (AHK) I.Silva (SERNAGEOMIN) L.Valdebenito (SERNAGEOMIN) R.López (SERNAGEOMIN).	Se analizan los posibles aportes por parte del Sernageomin al proyecto. Se acuerda formar un grupo de trabajo con representantes del proyecto y del Sernageomin, quienes deberán definir los aportes y la forma de participación del Sernageomin.
11- Noviembre - 2013	SERNAGEOMIN	R. Mallea (AHK) I. Gutiérrez (AHK).	Reunión de trabajo, se acuerda que Sernageomin pondrá a

		W.Vivallo (SERNAGEOMIN)  R.Carrasco (SERNAGEOMIN).	disposición del proyecto la información que posea relacionado con relaves, así como una cierta capacidad de análisis químicos
16 - Octubre - 2013	SONAMI	C. Sonnenberg (AHK)  R. Mallea (AHK)  Annika Glatz (AHK)  Hans Joachim Kümpel (BGR).  Malte Drobe ( BGR)  Axel Schippers (BGR)  Herwing Marbler (BGR).	Reunión con expertos de SONAMI y Delegación Alemana de BGR. Se expresan voluntades en el sentido que a partir de este proyecto se intensifique e institucionalicen los nexos entre nuestro codesarrollador , BGR y el Sernageomin
18 - Agosto - 2013	SONAMI	C. Sonnenberg (AHK).  R. Mallea (AHK)  A. Glatz (AHK)  Is. Gutierrez (AHK)  J. Martínez (Cochilco)  M. Torche (ENAMI).  F. Flores (SONAMI)  I. Cerda (SONAMI)	Formación del comité técnico del proyecto. Se inicia la aproximación a la definición de criterios de selección de relaves que serán objetos de estudios
22 - Noviembre - 2013	Minera Clarita	R. Mallea (AHK).  M. Gajardo (M. Clarita)  J. Xin Wang (M. Clarita)	Presentación del proyecto: sus objetivos, programa de trabajo y productos esperados Visita a los relaves y toma de muestras de estos
18 - Noviembre - 2013	Planta Las Cenizas	R. Mallea (AHK)  A.Morales (Las Cenizas).	Presentación del proyecto: sus objetivos, programa de trabajo y

			productos esperados
25 - Noviembre - 2013	Minera San Pedro	Andrés Guerrero (M San Pedro) R. Mallea (AHK).	Presentación del proyecto: sus objetivos, programa de trabajo y productos esperados. Obtención de muestras de relaves y concentrado
18 - Diciembre - 2013	Laboratorio de SERNAGEOMIN	R. Mallea (AHK) Juan Bustamante (SERNAGEOMIN).	Presentación del proyecto, aportes de información de análisis de caracterizaciones para el proyecto por parte del SERNAGEOMIN.

## **8.2- Metodología de Selección**

Considerando como punto de partida la base de datos del catastro realizado por Sernageomin el año 2010 y las recomendaciones que resultaron de las reuniones, se consideran para la selección de los relaves los siguientes criterios:

### **a) Origen de los Relaves**

Basándose en un modelo geológico general de Chile se determina como Primer criterio de selección, **el tipo de yacimiento minero desde el cual proviene el mineral que ha generado el relave**. Tratándose principalmente de Pórfidos de cobre, IOCG y Fe apatito.

Luego de su clasificación, se identificaran aquellos depósitos donde podría existir un potencial económico a partir de la existencia de uno o más elementos de valor.

Chile, en su extensa franja, está dividido por distintos tipos de yacimiento, para el caso del presente proyecto se seleccionarán preferentemente aquellas empresas mineras generadoras de relaves que se encuentren ubicadas en las siguientes zonas mineralógicas:

- Pórfidos de Cobre (Cordillera de los Andes)
- IOCG (Yacimientos Zona Cordillera de la Costa)
- Relaves de Yacimientos de Hierro.

#### **b) Tamaño de Empresa**

Este criterio está directamente relacionado con el tamaño de los relaves generados ya que el valor comercial que podría tener el relave y consecuentemente la envergadura de un futuro negocio está relacionado directamente con este criterio. La información usada se obtendrá de la base de datos creado por el proyecto. La selección considerará **sólo** relaves del segmento de la mediana minería del cobre. Sin embargo, se procurará contar con muestras de la franja metalogénica del hierro.

#### **c) Caracterización Química**

La caracterización previa del relave será fundamental ya que nos mostrará si se ha detectado previo al proyecto algún elemento de valor comercial. Los antecedentes sobre caracterizaciones del tipo pública es escasa.

#### **d) Estado Legal de la Propiedad Minera**

Las faenas que presenten pocas instalaciones, poca accesibilidad y poca seguridad para la posterior tomas de muestras, quedaran excluidas de la selección. En este sentido se consideraran aptas para la toma de muestras aquellas faenas cuyos dueños estén de acuerdo para la toma de muestras y que todas las condiciones de acceso al depósito y la seguridad este sean las óptimas. Para dicho trabajo se contará con el apoyo de Sernageomin.

#### **e) Metodología de Muestreo:**

Para el caso de los depósitos de relaves, se establecerá una grilla de muestreo de acuerdo al tamaño del depósito en m<sup>2</sup>. La grilla podrá ser cuadrada, rectangular, triangular o hexagonal, dependiendo de la forma del área que se quiera muestrear. Se deberá considerar lo siguiente:

- Se deberán tomar al menos 5 muestras de diferentes puntos del tranque.
- Las muestras deberán tomarse a una profundidad mayor de 25 centímetros.

Las muestras de suelo en el área de la planta de proceso serán tomadas de acuerdo a lo observado en terreno. [Manual de evaluación de riesgos de faenas mineras abandonadas o paralizadas FMA/P, Sernageomin / BGR].



## **9- Visita a Terreno, Viajes de Expertos Alemanes y Chilenos a Depósitos de Relaves**

**Proyecto:** Identificar elementos de valor en residuos mineros (relaves) y evaluar su recuperación como productos comerciales

**Código:** 13BPC3-19021

**Etapas:** Desarrollo del Bien

**Actividad 4:** Visita a terreno, viajes de expertos alemanes y expertos chilenos a depósitos de relaves (plantas generadoras), con el objetivo de recoger información in situ que permita elaborar un plan de muestreo

**Fecha:** Octubre - Diciembre 2013

#### **Actividad 4: Visita a Terreno Depósitos de Relaves Co-ejecutores.**

Los coejecutores de BGR junto al Director de Proyecto realizaron una visita a terreno con el objetivo de observar in situ los depósitos de relaves y recoger información que permita elaborar un plan de muestreo de acuerdo a los recursos disponibles.

Las Planta visitadas en esta oportunidad fue: Planta Matta Copiapó y Planta Pudahuel.

A continuación se presentan fotografías de la visita:



**Foto 11: Toma de muestras de Relaves Planta Matta Copiapó**



**Foto 12: Proceso de Toma de Muestras desde Relaves Planta Matta Copiapó**



**Foto 13: Proceso de Toma de Muestras desde Relaves Planta Matta Copiapó**



**Foto 14: Proceso de Toma de Muestras desde Relaves Planta Matta Copiapó**



**Foto 15: Proceso de Toma de Muestras desde Relaves La Africana**



**Foto 16: Proceso de Toma de Muestras desde Relaves Planta Pudahuel**



**Foto 17: Proceso de Toma de Muestras desde Relaves Planta Pudahuel**

En esta actividad también se tomaron muestras para ser analizadas en los laboratorios de BGR y en los laboratorios de SERNAGEOMIN.

## **10- Viaje a Terreno y Toma de Muestras en Relaves Seleccionados**

**Proyecto:** Identificar elementos de valor en residuos mineros (relaves) y evaluar su recuperación como productos comerciales

**Código:** 13BPC3-19021

**Etaa 1:** Desarrollo del Bien

**Actividad 5:** Viaje a terreno y toma de muestras en relaves seleccionados, confección informe visita y de toma de muestras

**Fecha:** Marzo - Abril 2014

**Actividad 5: Viaje a terreno y toma de muestras a relaves seleccionados 1° Selección.**

Como resultado del análisis del informe de la recopilación de antecedentes se realizó una primera selección de relaves para posteriormente solicitar a los dueños el acceso a la toma de muestras. La primera selección fue:

Región	Información de Empresas mineras de la mediana minería, generadoras de relaves						
	La Empresa	La Faena	El Deposito	Tipo de deposito	Comuna	Situación Actual	Pasta de Origen
II	Cia Minera Las Cenizas S.A.	Planta las Luces	Las Luces 2	Tranque	Taltal	Activo	Cu
II	Cia Minera Las Cenizas S.A.	Planta las Luces	Las Luces 1	Tranque	Taltal	No Activo	Cu
II	Cia. Min. Cerro Dominador	Cerro Dominador	Tranque 1	Embalse	Sierra Gorda	Activo	Cu
II	Cia. Min. Cerro Dominador	Cerro Dominador	Tranque 2	Embalse	Sierra Gorda	Activo	Cu
II	Cia. Min. Cerro Dominador	Cerro Dominador	Tranque 3	Embalse	Sierra Gorda	Activo	Cu
II	Enami Taltal	José A. Moreno	TJM 2	Tranque	Taltal	No Activo	Cu
III	ENAMI	Planta Matta	S/I	S/I	Copiapó	Activo	Cu
III	ENAMI	Planta Matta	S/I	S/I	Copiapó	No Activo	Cu
III	ENAMI	Planta Matta	S/I	S/I	Copiapó	No Activo	Cu
III	S. Punta del Cobre	TR Las Cruces	S/I	S/I	Copiapó	Activo	Cu
III	Enami	Planta Vallenar	S/I	S/I	Vallenar	Activo	Cu



III	Soc Punta del Cobre	Planta San José	S/I	S/I	T. Amarilla	Activo	Cu
III	Soc Punta del Cobre	Planta San José	S/I	S/I	T. Amarilla	Activo	Cu
IV	Minera Talcuna	Don Arturo	Don Arturo 4 - Yenny	Tranque	Vicuña	Activo	Cu
IV	Cía. Mra. San Gerónimo	Talcuna	Socorro 6	Tranque	Vicuña	Activo	Cu
IV	Minera Linderos	Linderos ex Sn. Guillermo	Linderos ex Sn. Guillermo	Tranque	Vicuña	Activo	Cu
IV	ENAMI	Delta	Delta	Relaves Pasta	Ovalle	Activo	Cu
Zona Central	Cía. Mra. Cerro Negro S.A.	Cerro Negro	Cerro Negro N°6	Tranque	Cabildo	Activo	Cu
Zona Central	Mra. Las Cenizas S.A.	Las Cenizas Cabildo	Interior Mina	Tranque	Cabildo	Activo	S/I
Zona Central	Mra. Las Cenizas S.A.	Las Cenizas Cabildo	Las Cenizas Cabildo	Cabildo	Cabildo	Activo	S/I
Zona Central	Cía. Mra. La Patagua	La Patagua	La Patagua N° 4	Tranque	La Ligua	Activo	S/I
	Minera Ojos del Salado	Pta. Pedro Aguirre Cerda					
	Minera Carmen de Andacollo						
	Minera Carola			Tranque			

Luego se realizó la gestión de contactar a los gerentes de cada empresa para invitarlos a participar y que nos proporcionaran las muestras para posteriormente ser analizadas en los laboratorios de SERNAGEOMIN.

Las empresas que dieron respuesta a las cartas enviadas son las siguientes:

### **Planta Bellavista**

Fecha de la Visita: 22/03/2014

Recibidos por: Sr. Mariano Gajardo, Gerente de Operaciones

Ubicación: 10 Km NW San Felipe, Planta Bellavista, calle E-71 hacia N, NW de San Felipe, cruzando por el puente, el lecho del río.

Capacidad de Planta: 1.000 t/d con 1,5 % Cu y 1,8 ppm Au

Situación Actual: 400 t/d con 0,6 % Cu y 1 ppm Au

Tranque 1, cerca de 2 millones de toneladas con 3 perforaciones para muestra. Prueba 9 fue tomada para teledetección

SF-PB-1 0-1m

SF-PB-1 1-2m

SF-PB-2 0-0,8m

SF-PB-2 0,8-1,3m

SF-PB-2 1,3-2m

SF-PB-3 0-1m

SF-PB-3 1-2m

SF-PB-9

Tranque 2, con el terremoto del año 1972, se desprendió gran parte de este tranque. Se muestrearon bordes del desprendimiento. La muestra 6 se tomó de un lugar especial

SF-PB-4

SF-PB-5

SF-PB-6

Tranque 3, estuvo en operaciones hasta hace poco. Aquí se tomaron muestras para teledetección. Luego se tomaron muestras del material inmediatamente debajo.

SF-PB-7

SF-PB-8

Tranque 4, fue puesto en operaciones recientemente, por lo cual no fue muestreado. Especialmente el tranque 1 fue difícil de muestrear dado que el material estaba muy compactado

### **Planta Delta de ENAMI**

Fecha de la Visita: 24/03/2014

Recibidos por: Carlos Plaza, Gerente General

Ubicación: Calle de Ovalle a La Serena en el km 20 doblar a SW y seguir hasta la Planta Delta (cerca de 7 km)

En la Planta se procesan mensualmente 60.000 t de minerales, con 0,95 % de Cu

Entre 10.000 a 36.000 t de óxidos, son procesados por Minera Cruz Ltda.

Como productos del tratamiento de los sulfuros, se generan 3.600 t/mes de concentrado con 26,2 % Cu.

Como producto del tratamiento de los óxidos, se generan 400 t/mes de Cátodos.

La inversión total del proyecto, fue de 90 millones de dólares.

Los relaves se depositan en forma de pasta. El desagüe del relave ocurre inmediatamente al borde del tranque. La recuperación de agua alcanza el 70 %.

Se tomaron 2 muestras desde el relave depositado. No fue necesario hacer mayor esfuerzo para tomar las muestras ya que a veces se depositan relaves con hasta 40 % de agua ocasionando grietas de hasta 2 metros de profundidad. Las muestras fueron tomadas manualmente desde las murallas de las grietas.

O-PD-1

O-PD-2

El material parece muy homogéneo y no se observaron capas de diferentes materiales. En esta planta de ENAMI; no se trabajan actualmente minerales sulfurados de pequeños mineros, sino sólo de la mina propia de ENAMI. El mineral que entregan los pequeños mineros está siendo actualmente acopiado.

## **Panulcillo/Planta Ovalle**

Fecha de la Visita: 24 y 25/03/2014

Recibidos por: Juan Miguel Benavente, Jefe de Proyecto de Cierre.

Ubicación: Saliendo de Ovalle, hacia La Serena, en el km 6 doblar hacia la izquierda. Planta Panulcillo queda situada en la colina, en el lado opuesto del conjunto del valle.

La Planta Panulcillo se encuentra paralizada y está en la fase de cierre.

La capacidad de la planta era de 7.000 t/mes de concentrado y 19.000 t/mes de cobre cementado.

La vida útil de Panulcillo sobrepasó los 100 años.

1840 Planta

1936 Flotación

1959 Lixiviación

1965 Lixiviación por Agitación

1978 Lixiviación en Pilas

1998 Lixiviación en Pilas Dinámicas

En el 2010 la planta dejó de producir. Los costos del proceso de cierre se estiman en 22 millones de dólares. Durante el año 2013 visitó la planta un señor de origen australiano, de la firma Fyi Resources Ltda., quien tomó muestras de los relaves, sin que nunca se supieran los resultados. El plan de cierre comprende 81,2 ha y debe estar finalizado el año 2015.

En la planta se encuentran cerca de 1,2 millones de toneladas de relaves, con 0,15 % de Cu, y 1,5 millones de residuos de lixiviación.

El tranque más antiguo (T1), está dividido en 2 partes. Ambas están cubiertas con vegetación. La parte SE se observa bastante oxidada.

O-PO-1

O-PO-2

O-PO-3

Sólo una muestras para Dieter (O-PO-4 für Dieter)

O-PO-5

A continuación, se encuentra el tranque 2, cubierto parcialmente con vegetación. Esto es producto de un antiguo proyecto CIMM, Dra. Ginocchio.

O-PO-4

Los relaves y rípios de lixiviación se encuentran encerrados por una presa (T3). Aquí se tomaron 2 muestras

O-PO-6                    1 und 2

O-PO-7                    1 und 2

Los rípios de lixiviación fueron depositados en diferentes lugares de la planta. Esto debido a la falta de espacio. Se tomó una muestra W del T2

O-PO-8

### **Planta Vallenar**

Fecha de la Visita:    26/03/2014

Recibidos por: Alexis Pérez Guerrero, Jefe de Operaciones

Ubicación:        La Planta se encuentra al NE de la ciudad de Vallenar, en dirección a Copiapó.

El relave más antiguo es de 1973. El relave nuevo data del 2007, tiene capacidad que debiera alcanzar hasta el 2016. Actualmente almacena cerca de 1 millón de toneladas.

La totalidad de los relaves alcanzan cerca de 1,6 millones de toneladas.

Desde el tranque nuevo se tomaron 2 muestras

V-PV-1                1 und 2

V-PV-2                1 und 2

Todos los relaves fueron muestreados en una depresión dragada. Existían paredes verticales de hasta 3 m de altura, desde donde se tomaron las muestras.

V-PV-3                an diesem Punkt auch V-PV-D1, V-PV-D2 und V-PV-D3 für Dieter

V-PV-4

Adicionalmente se tomaron 2 muestras de los depósitos de rípios de lixiviación. En tanto que la muestra

V-PV-5

Provenía de los rípios más antiguos, la muestra

V-PV-6

Provenía de los rípios más recientes. La lixiviación en pilas duraba, dependiendo de los requerimientos de la planta, entre 60 – 75 días. La recuperación de la planta, de acuerdo a información entregada por ENAMI, era de 80 %.

### **Las Bombas**

Fecha de la Visita: 27/03/2014

Ubicación: En la ruta 5 Chañaral – Antofagasta, en la posada “Las Bombas”, en el desvío a la C-112, en el km 12 del límite entre la II y III Región.

En esa zona de las Bombas dirección N hubo varias plantas de tratamiento de minerales, por esa razón se encuentra acopio de rípios de lixiviación y relaves de flotación.

Hasta el día de hoy se encuentran residuos mineros dispuestos desordenadamente, así como fuerte olor a ácido.

Se tomó una muestra de los rípios de lixiviación

LB-1

y otra de los relaves

LB-2

### **Planta Taltal**

Fecha de la Visita: 28/03/2014

Recibidos por: Marcelo Sanzana Muñoz, Jefe de Operaciones

Ubicación: Planta Taltal de ENAMI, se ubica en el límite NE de la ciudad de Taltal. Allí se encuentra la planta procesadora de minerales sulfurados, así como la planta de EW, que es parte de la línea de tratamiento de minerales oxidados.

Los acopios de rípios de lixiviación se encuentran a 1 km al oeste por el camino costero.

La planta produce 600 t/mes de concentrado con 27 % de cobre (1864 t/a) y 200 t/mes de cátodos (2.400 t/a).

La capacidad de tratamiento de la planta de sulfuros, es de 10.000 t/mes de mineral. Los relaves son depositados en la corona del talud a cerca de 20 metros de altura. La altura total de la pared es de 30 metros. La operación de flotación se realiza con agua de mar, sin tratamiento. En la región occidental de los relaves, de acuerdo a información de la planta, se encuentran relaves de minerales de oro. En general el contenido de Fe es bastante alto. El Fe se encuentra mayoritariamente como magnetita, (testeado con imán manual). La cantidad acumulada de relaves llega a los 2 millones de toneladas.

Los rípios de lixiviación se encuentran acopiados al S de los relaves. El contenido de Cu del mineral fresco fluctúa entre 1,5 – 2 %. La recuperación está en 80 %. Se tomaron las siguientes muestras:

TT-PTT-1	1 und 2
TT-PTT-2	1 und 2
TT-PTT-3	aus Schurfgraben
TT-PTT-4	Rípios
TT-PTT-5	Rípios
TT-PTT-6	Sales de la Cementación
TT-PTT-7	Sales de la Cementación

### **Planta Las Luces**

Fecha de la Visita: 28/03/2014

Recibidos por: Axel Durán Soto, Superintendente de Planta de Sulfuros

Ubicación: En el camino de Taltal hacia la ruta 5, después de 15 km a la derecha, hacia la B-9000 Cifungo. Después de 26,5 km doblar a la izquierda.

La Planta de Tratamiento “Las Luces” recibe el material sulfurado desde la mina Las Luces y de Altamira (mezcla de óxido y sulfuro), distantes cerca de 80 km.

Por los molinos pasan 87 kt/mes, lo cual significa una producción anual de 22 kt de concentrado con 10 kt de Cu y 13 t Ag contenido.

Los minerales de ambas minas contienen 1,2 % de Cu. El contenido de Ag, especialmente de mina Altamira es de 17 g/t.

El consumo de energía eléctrica en el tratamiento de los minerales de Altamira es de 16 KW/t y de 19 KW/t para los sulfuros de Las Luces. El consumo específico de agua es de 1,1 m<sup>3</sup>/t, haciendo un total de 145 m<sup>3</sup>/h. el tratamiento se realiza con agua de mar. Dado que en caso del tratamiento de minerales de Altamira, se trata de una mezcla de óxidos y sulfuros, la recuperación alcanza solo un 70 %. Con los minerales de Las Luces se alcanzan recuperaciones de 84 %.

Actualmente la planta tiene 2 relaves, 5 millones toneladas en el antiguo y 3 millones en el nuevo. De acuerdo a información entregada por la empresa, el tranque nuevo tiene 0,4 % Cu 0,28 Cu, además de 6 g/t de Ag. Se tomaron las siguientes muestras:

TT-T1-1	1 und 2 bei Einspülstelle
TT-T1-2	1 und 2 im Zentrum
TT-T2-1	1 und 2 feinkörniges Material aus Hydrozyklone
TT-T2-2	1 und 2 grobkörniges Material aus Hydrozyklone

### **Planta Matta**

Fecha de la Visita: 31/03/2014

Recibidos: por Manuel Carmona, Gerente Interino

Ubicación: Se encuentra al E de Copiapó, a cerca de 100 m de la salida desde Copiapó hacia Diego de Almagro.

La planta de sulfuros procesa cerca de 3.500 t/d de mineral con una ley de 1,5 % Cu.



Mensualmente se generan cerca de 4.000 toneladas de concentrado. La planta recibe mineral de cerca de 100 productores. Los relaves que genera la planta tienen 0,2 % de Cu.

Los minerales oxidados son lixiviados en pilas durante 3 meses. Los rípios son levantados y depositados en acopios. La planta produce 400 t/mes de cátodos.

Existen 3 relaves, el más fresco, actualmente en operaciones tiene 22 millones de toneladas. Un segundo se encuentra parcialmente cubierto con rípios de lixiviación, lo cual dificultaría su recuperación. El relave más antiguo contiene cerca de 5 millones de toneladas. De este relave se obtuvieron 2 muestras, del relave del medio se tomó una muestra. Otras dos muestras se tomaron de una zona en que había una notoria diferencia de materiales. También se tomó una muestra de rípios de lixiviación.

Co-PM-1	1 und 2 am ehemaligen Damm der ältesten Halde
Co-PM-2	1 und 2 im Zentrum der ältesten Halde
Co-PM-3	Schlitzprobe am ehemaligen Damm der 2. Halde
Co-PM-4	rotes Material aus Goldkampagne 2. Halde
Co-PM-5	grünes Material aus normalem Betrieb 2. Halde
Co-PM-6	Laugungsrückstände

### **El Salado**

Fecha de la Visita: 01/04/2014

Recibidos por: Rodrigo Valdés, Administrador

Ubicación: A 36 kilómetros del puerto de Chañaral, en Salado, se encuentra la planta Osvaldo Martínez, que es el plantel de ENAMI más antiguo que aún está en operaciones. Fue inaugurada en 1929.

Produce actualmente solamente cátodos, provenientes de la lixiviación de minerales oxidados. La planta tiene capacidad para procesar 65.000 t/mes. La actual producción es de 1.000 t/mes de cátodos. La cantidad de rípios acumulados es de 10 millones de toneladas. El abastecimiento de la planta proviene de 400 pequeñas empresas mineras.

De los tiempos en que se trataron minerales sulfurados, se conservan cerca de 0,5 millones de toneladas de relaves. También existen cerca de 10.000 toneladas de sales producto de operaciones de cementación de cobre.

La superficie de los relaves está parcialmente cubierta con rípios de lixiviación. Esto motivó que las muestras se tomaran de un costado (material grueso).

El Salado Tranque 1-1            0-1m

El Salado Tranque 1-2            0-1m

El Salado Rípios Históricos

El Salado Sales Precipitadas

### **Chañaral**

Fecha de la Visita:    01/04/2014

Se tomó una muestra del relave de El Salvador

Relaves Chañaral

### **Minera Carola**

Fecha de la Visita:    02/04/2014

Recibidos por: Víctor Luengo, Gerente General

Ubicación: Saliendo de Copiapó hacia SE, por la C-35. A 12 km S de Tierra Amarilla por la C-401

La Planta está a cargo de la empresa Coemin. La capacidad de la planta es de 5.000 t/d. Actualmente se procesan cerca de 3.000 t/d. existen, sin embargo, planes para aumentar la capacidad a 8.000 t/d.

Los relaves han sido depositados en 3 tranques. En el actual tranque N° 3 han sido depositados 5 millones de toneladas de relaves, que contienen entre 20 a 25 % de Fe. En los tranques 1 y 2 han sido depositados en total cerca de 25 millones de toneladas de relaves, con 10 a 15 % de Fe. Estos dos últimos tranques se encuentran en proceso de cierre y está previsto cubrirlos con relaves

en pasta. Actualmente se encuentra en desarrollo la construcción del tranque N° 4, que tendrá una capacidad para 200 millones de toneladas de relaves en pasta.

Carola Tranque 1-1 (Tranque 3 0-1 m am Fub des Damms)

Carola Tranque 1-2 (Tranque 3 1-2 m am Fub des Damms)

Carola Tranque 2-1 (Tranque 3 0-1 m am Einspülbereich)

Carola Tranque 3-1 (0-1 m, auf Tranque 3 genommen, feinkörnig)

Carola Tranque 3-2 (1-2 m, auf Tranque 3 genommen, feinkörnig)

Carola Tranque nuevo (falsche Bezeichnung, eigentlich der alte Teich)

Posteriormente se confeccionó un plan de visitas, las que se realizaron desde el 23/03/2014 hasta el día 05/04/2014.

#### **Visitas a terreno y toma de muestras:**



**Foto 18: Proceso de Toma de Muestras desde Relaves Planta Bellavista, San Felipe**



**Foto 19: Proceso de Toma de Muestras desde Relaves Planta Bellavista, San Felipe**



Foto 20: Proceso de Toma de Muestras desde Relaves Planta Bellavista, San Felipe



**Foto 21: Proceso de Toma de Muestras desde Relaves Planta Bellavista, San Felipe, material de muestra en la sonda**



**Foto 22: Proceso de Toma de Muestras desde Relaves Planta Bellavista, San Felipe, material de muestra en la sonda**



**Foto 23: Proceso de Toma de Muestras desde Relaves Planta Bellavista, San Felipe, inspección de seguridad**





Foto 24: Proceso de Toma de Muestras desde Relaves



**Foto 25: Proceso de Toma de Muestras desde Relaves Planta Bellavista**

## **11- Traslado y Caracterización de las Muestras (en Chile y/o en el Extranjero)**

**Proyecto:** Identificar elementos de valor en residuos mineros (relaves) y evaluar su recuperación como productos comerciales

**Código:** 13BPC3-19021

**Etapas 1:** Desarrollo del Bien

**Actividad 6:** Traslado y caracterización de las muestras (en Chile y/o en el extranjero)

**Fecha:** Mayo 2014

## Actividad 6: Traslado y Caracterización de Muestras

Las muestras que fueron enviadas a análisis químico a Sernageomin son las siguientes con su respectivo código:

### San Felipe, Planta Bellavista

SF-PB-1	0-1m
SF-PB-1	1-2m
SF-PB-2	0-0,8m
SF-PB-2	0,8-1,3m
SF-PB-2	1,3-2m
SF-PB-3	0-2m
SF-PB-4	
SF-PB-6	

### Ovalle, Planta Delta

O-PD-1	
O-PD-2	

### Ovalle, Planta Ovalle (Panulcillo)

O-PO-1	
O-PO-3	
O-PO-4	
O-PO-5	
O-PO-6	0-1m
O-PO-6	1-2m
O-PO-7	0-1m
O-PO-7	1-2m

### Vallenar, Planta Vallenar

V-PV-1	0-1m
V-PV-1	1-2m
V-PV-2	0-1m

V-PV-2	1-2m
V-PV-3	
V-PV-4	

#### **Las Bombas**

LB-2	
------	--

#### **Taltal Planta Taltal**

TT-PTT-1	0-1m
TT-PTT-1	1-2m
TT-PTT-2	0-1m
TT-PTT-2	1-2m
TT-PTT-3	

#### **Las Luces**

LL-T1-1	0-1m
LL-T1-1	1-2m
LL-T1-2	0-1m
LL-T1-2	1-2m
LL-T2-1	0-1m
LL-T2-1	1-2m
LL-T2-2	0-1m
LL-T2-2	1-2m

#### **Copiapó Planta Matta**

Co-PM-1	0-1m
Co-PM-1	1-2m
Co-PM-2	0-1m
Co-PM-2	1-2m
Co-PM-3	

#### **Minera Carola**

Carola Tran	1-1.
Carola Tran	1-2.
Carola Tran	2-1.
Carola Tran	3-1.

Carola Tran	3-2.
Carola Tranque nuevo	

### Chañaral

Relaves Chañaral
------------------

### El Salado

El Salado Tranque 1
El Salado 4 Tran 2

Se solicitaron los siguientes análisis químicos:

Trazas:

Cu	V	Cr	Co	Ni	Zn	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Ba	Pb	Sc
(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)

Mayores:

SiO2	Al2O3	TiO2	Fe2O3	CaO	MgO	MnO	Na2O	K2O	P2O5	PPC	SO3	SUMA
(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)

Trazas  
Esp.

Cs	Hf	Ta	Th	U
(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)

REE:

La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)

Trazas 2

As	Mo	Sb	Sn	Ag	Cd	Bi	W	Se	Ga	Ge
(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)

## **12- Informe de Resultados Recopilación de Antecedentes**

Proyecto	Identificar elementos de valor en residuos mineros (relaves) y evaluar su recuperación como productos comerciales
Código	13BPC3-19021
Etapa 1	Desarrollo del bien
Actividad 1	Búsqueda sistematizada de información sobre relaves chilenos (legal, ubicación geográfica, composición)
Hito	Informe de resultados recopilación de antecedentes
Fecha	Noviembre 2013

## **1. Introducción:**

El presente documento contiene la recopilación de antecedentes referente a los relaves generados en la minería de cobre en Chile. La información contenida en el presente informe es de carácter geológico, faenas que lo generan (on) tipo de operación, ubicación geográfica, otros. Los antecedentes recopilados serán la base para la selección de los relaves objeto de estudio en el marco del proyecto "identificar elementos de valor en residuos mineros (relaves) y evaluar su recuperación como productos comerciales" Código 13BPC3-19021.

También se incluye un estudio que tiene como objetivo mostrar la diversidad de residuos que genera la actividad minera, tanto metálica como no metálica, y a partir de su composición señalar el inmenso potencial económico, que convierte estos residuos o desechos en "Materias Primas Secundarias"

Los antecedentes más relevantes se adjuntaron en forma de anexos y se encuentran en el último capítulo del presente informe.

## **2. Objetivo asociado:**

Objetivo N°1 del proyecto: "Recopilación de información relevante respecto a la composición de los relaves, tanto de carácter químico, geológico así como de operación de las faenas que generaron los relaves de interés"

## **3. Resultado:**

Informe de recopilación de antecedentes. Búsqueda sistematizada de información sobre relaves chilenos (legal, ubicación geográfica, composición). El presente informe servirá como base referencial para la preparación de los criterios de selección de objeto estudio.



## **12.1- Recopilación de la Información:**

### **a. Información general:**

En Chile la producción de cobre se genera fundamentalmente, en las regiones de: Tarapacá, Antofagasta, Atacama, Coquimbo, Valparaíso, Metropolitana y del Lib. Gral. B. O'Higgins, donde se concentran la casi totalidad de las reservas conocidas del país. Estas reservas equivalen a cerca del 40% de las reservas del planeta.

Los principales productos son: concentrados, cátodos y refinados a fuego. La producción total del 2012 alcanzó 5.433.900 tmf, lo que representa un aumento del 4% respecto del 2011.

Esta producción se efectúa por empresas que se pueden clasificar en tres segmentos de la minería del cobre: Gran Minería, representada por 17 empresas privadas más la Corporación del Cobre (Codelco) empresa estatal. En conjunto han producido entre el 90 y 94% del total nacional en los últimos 7 años; Mediana Minería, representada por unas 22 empresas principalmente nacionales, que produjeron entre el 5 y el 7% y la Pequeña Minería, que produjo cerca del 1% de dicho total en el mismo período. Las empresas productoras de Cobre se muestran en tabla 1.

**Tabla 1: Empresas y producción de cobre del año 2012**

<b>Compañía</b>	<b>Producción (miles de Ton)</b>
<b>Codelco - Chile</b>	
División Chuquibambilla	355,9
División Radomiro Tomic	427,8
División Salvador	62,7
División Andina	249,9
División El Teniente	417,2
Gaby	133
<b>ENAMI</b>	41,175
Sub Total	<b>1687,675</b>
<b>Empresas privadas</b>	
Cía. Minera Teck Quebrada Blanca S.A.	62,4
Cía. Minera Doña Inés de Collahuasi S.C.M	433,5
Cía. Minera Cerro Colorado	73,1
SCM. El Abra	153,7
Minera Escondida Ltda.	1.075,90
Cía. Minera Zaldívar S.A.	131,1

Minera Esperanza	173,2
Anglo Norte/Sur S.A.	531,6
Cía. Minera Los Pelambres	417
Cía. Minera Candelaria	122,8
Minera El Tesoro	105
Minera Spence S.A.	166,7
Minera Michilla	37,7
Cía. Minera Lomas Bayas	73,3
Otros	189,23
Sub Total	<b>3746,23</b>
<b>TOTAL</b>	<b>5433,905</b>

Fuente: Anuario Cochilco 2012, pág. 17

**b. Generación de Residuos (relaves) en la Línea de Proceso de Producción de Cobre:**

Los minerales de cobre se dividen en dos grandes grupos, minerales oxidados y minerales sulfurados. Condición que le transfiere al mineral propiedades y características bastantes diferentes, así por ejemplo los óxidos, a diferencia de los sulfuros, son fáciles de lixiviar.

Estas singularidades y características de cada uno de estos dos grandes grupos son los que también en definitiva han determinado la forma y esquemas tecnológicos, bajo los cuales han sido tratados para obtener el cobre.

A continuación se presenta un diagrama de flujo general (figura 2), que muestra la secuencia de etapas de procesos para los óxidos y sulfuros.

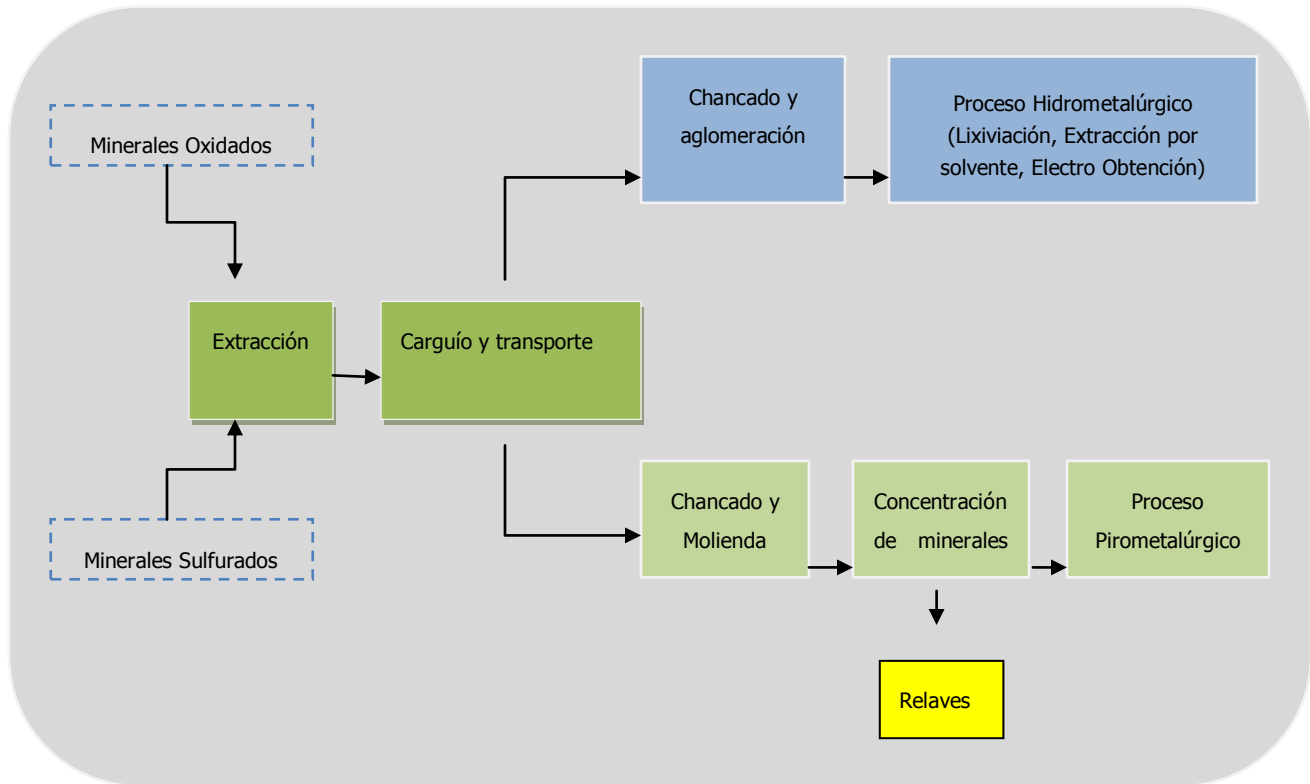


Figura 2: Esquema general de tratamiento de minerales de cobre

En la minería del cobre, los relaves se producen en la etapa de concentración por flotación y corresponden al material estéril una vez producido el concentrado sulfurado de cobre

Un relave se define como el desecho sólido de tamaño entre arena y limo proveniente de un proceso de concentración y que es producido, transportado y depositado en forma de lodo.

El relave constituye la fracción pobre en elementos de interés del mineral inicialmente extraído. Su composición química y mineralógica depende directamente de la composición del mineral. Sus características físicas (granulometría, porcentaje de sólidos, etc.) dependen de las características de los procesos de concentración.

Estos residuos están compuestos por una suspensión fina de sólidos (mezcla de 50% en peso de sólidos y 50% de agua), constituida fundamentalmente por el mismo material presente in-situ en el yacimiento, al cual se le ha extraído la fracción con mineral valioso. Los relaves son conducidos en forma de pulpa hacia los depósitos llamados tranque de relaves, los que están diseñados para permitir la decantación de los sólidos en suspensión, y dependiendo de la faena, se puede recircular la fase líquida (aguas sobre nadantes) al proceso o descartarla, ya sea a través de evaporación, evapotranspiración, descarte a cursos de agua o infiltración.

Dentro del esquema de tratamiento de minerales sulfurados, sin duda que la mayor cantidad de residuos sólidos son los relaves. De acuerdo a datos publicados por diferentes autores, la cantidad de relaves (mezcla de sólidos y agua en relación 1:1 a 1:2) generados por cada ton Cobre fino recuperado fluctúa entre 80 a 90 Toneladas (Sutulov – Cochilco).

De acuerdo a ésta información y a los datos encontrados en el estudio de Cochilco “Proyección del consumo de energía eléctrica de la minería del cobre en Chile al 2020”, se confeccionó la tabla N°2 la que muestra la proyección de generación de relaves al año 2020.

**Tabla 2: Proyección de la generación de residuos (Relaves y Ripios) millones de toneladas**

Residuo	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Relaves	228,1	347,4	361,3	382,8	401,9	463,8	517,2	565,7	591,9

Fuente: Datos obtenidos con base de cálculo Estudio de Cochilco

### c. Caracterización Química de Relaves:

La información sobre caracterizaciones químicas de relaves es escasa. En la búsqueda de información se encontró caracterizaciones de los elementos de mayor abundancia en los relaves. Dentro de las caracterizaciones mineralógicas y químicas encontradas en los informes D.I.A es la que muestra la tabla 3 y 4:

**Tabla 3: Caracterización Mineralógica Relave Codelco**

Especie	%
Calcosina	6,4
Covelina	5,4
Calcopirita	12,2
Enargita	1,6
Bornita	2,7
Pirita	68,2
Molibdenita	1,7
Blenda	1,9
Galena	0,3

Fuente: DIA "Continuidad operacional planta Preco 2, Codelco

**Tabla 4: Caracterización Química Relave Codelco**

Elemento	Concentración
<b>Cobre</b>	0,17 %
<b>Fierro</b>	1,01 %
<b>Azufre</b>	1,16 %
<b>Molibdeno</b>	0,02 %
<b>Zinc</b>	0,06 %
<b>Manganeso</b>	280 ppm
<b>Cadmio</b>	< 20 ppm
<b>Cobalto</b>	<10 ppm
<b>Níquel</b>	<10 ppm
<b>Sodio</b>	0,1 %
<b>Potasio</b>	0,22 %
<b>Arsénico</b>	30 ppm
<b>Sílice</b>	32 %
<b>Aluminio</b>	7,1 %
<b>Estroncio</b>	0,04 %
<b>Calcio</b>	0,79 %
<b>Magnesio</b>	0,08 %
<b>Plomo</b>	92 ppm
<b>Ganga</b>	57,25 %

Fuente: DIA "Continuidad operacional planta Preco 2, Codelco

En estudio realizados por CIMM se analizaron relaves provenientes de 3 empresas de la zona norte y centro del país. La tabla 5 muestra los resultados del análisis entregado por los laboratorios de Cimm TyS, los análisis fueron realizados mediante la técnica ICP barrido 40 elementos.

**Tabla 5: Caracterizaciones Químicas de Relaves**

Elemento	El Soldado Anglo América gr/Ton	Enami, Vallenar gr/Ton	Collahuasi gr/Ton
<b>Mg</b>	14.630	18880	13950
<b>Al</b>	72.260	41140	75330
<b>Si</b>	246.900	179000	274900
<b>P</b>	388,3	989	766
<b>S</b>	1.677	6206	7111
<b>Cl</b>	173.889	3053	5375
<b>K</b>	21.640	12830	29560
<b>Ca</b>	48.820	36540	11820
<b>Ti</b>	2.978	2018	107
<b>V</b>	135	203	51,3
<b>Cr</b>	64,6	70,6	979
<b>Mn</b>	1.899	1087	37660
<b>Fe</b>	40.580	114000	37660
<b>Co</b>	36,5	199	29,8
<b>Ni</b>	10,6	55,1	17
<b>Cu</b>	1.793	2439	3227
<b>Zn</b>	67,5	108,1	510,8
<b>Ga</b>	2,1	16,3	17,5
<b>Ge</b>	2,1	1,5	3,9
<b>As</b>	7,6	218,9	7
<b>Se</b>	0,7	0,7	1,7
<b>Br</b>	0,5	1,2	1,5
<b>Rb</b>	79,5	60,1	137
<b>Sr</b>	102,8	154,1	1138
<b>Y</b>	21,9	18,4	17,5
<b>Mo</b>	32	49	144
<b>Ag</b>	4,3	4,8	3,9
<b>Cd</b>	5,7	6,2	5,6
<b>Sn</b>	23,2	19,9	13,7
<b>Sb</b>	5,1	6,9	4,6
<b>Te</b>	8,6	7,7	6,7
<b>I</b>	15	14	12
<b>Ba</b>	414	759	348
<b>W</b>	5,8	22,2	52,3
<b>Hg</b>	1,9	4	2,3
<b>Tl</b>	1,8	2,9	1,8
<b>Pb</b>	7,5	61,6	23,9

<b>Bi</b>	1,6	2,5	2,6
<b>Th</b>	9,7	8,3	8,8
<b>U</b>	2,9	12,1	4,3

Fuente: Estudios realizados por R. Mallea CIMM

#### **d. Información Legal:**

De la información disponible consultada se extrae que existe una cantidad catastrada de relaves pasivos y activos en varias regiones del país, principalmente en la zona norte y central.

El catastro fue realizado por SERNAGEOMIN el año 2010, concluyendo que se catastraron 450 tranques y embalses de relaves de los cuales 324 están inactivos y 125 están activos.

El catastro que entrega el informe sobre los depósitos de relaves es la Siguiente:

- Nombre de la empresa que lo generó.
- Nombre de la faena.
- Nombre del depósito.
- Tipo de depósito (tranque o embalse)
- Ubicación geográfica (UTM Norte, UTM este y Cota), Región y Comuna
- Origen (tratamiento de Cobre, Oro, Plata o Fierro)
- Resolución
- Situación actual del depósito (activo o No activo).

Si bien existe una mayor regulación en lo que se refiere al impacto ambiental se identificaron situaciones preocupantes, por ejemplo: inestabilidad física, química, contaminación por drenaje de ácido, impacto visual, entre otros, que este tipo de depósito genera. Junto también con la actividad sísmica lo que es un peligro latente.

De acuerdo a lo anterior, el estado está proponiendo leyes para los proyectos mineros las que obligan a que todo proyecto deba estar sometido a estudio de impacto ambiental y deben incorporar y garantizar el cierre de faena y el tratamiento de sus pasivos. [*Informe de la comisión investigadora sobre la situación en que se encuentran los depósitos de relaves mineros existentes en el país*]. Ver Anexo 1.

#### **e. Plantas Generadoras de Relaves en Chile:**

De acuerdo al catastro realizado por SERNAGEOMIN del año 2010 “Catastro de depósitos de relaves” se muestra la tabla 6 resumen con la cantidad de tranques por regiones, la cantidad de tranques activos, no activos.



**Tabla 6: Catastro de depósitos de relaves distribuido por regiones.**

Dirección regional de SERNAGEOMIN	Tranques activos	Tranques No Activos	Total
Arica y Parinacota	0	0	0
Tarapacá	1	0	1
Antofagasta	13	8	21
Atacama	45	72	117
Coquimbo	39	166	205
Zona Central	24	75	99
Zona Sur	3	3	6
<b>Total Nacional</b>	<b>125</b>	<b>324</b>	<b>449</b>

Fuente: Catastro Sernageomin 2010.

El catastro se encuentra en Anexo 2 del presente informe.

**f. Información de Carácter Geológica:**

La metalogénesis de la cordillera de los Andes y particularmente de la parte de esta, que corresponde a Chile, según MaksaeV, es un margen continental activo con subducción de corteza oceánica bajo el continente sudamericano. [*Reseña metalogénica de Chile y de los procesos de determinan la metalogénesis andina. Víctor MaksaeV, Septiembre 2001*]. **Ver página 86.**

Chile se encuentra situado en un ambiente geológico altamente favorable para la formación de importantes y numerosos yacimientos metálicos de carácter poli-componentes. Es así que en Chile, existe una de las mayores mineralizaciones cupríferas del mundo, principalmente como yacimientos de tipo vetiformes, pórfidos cupríferos y estratoligados. En los primeros encontramos básicamente los minerales oxidados de cobre, tales como atacamita, cuprita, crisocola y brichantita.

En los pórfidos cupríferos se encuentran los sulfuros; destacando la calcopirita, la covelina, la bornita, la energita y la calcocita. Pero además estos yacimientos pueden presentar cantidades variables de Molibdeno, Plata, Oro, y en menor medida Zinc, Selenio, Indio entre otros, junto con un enriquecimiento moderado de tierras raras livianas y una débil anomalía de Europio. Los yacimientos del tipo estratoligados se encuentran en la cordillera de la costa y poseen una importante mineralización de sulfuros de cobre de alta ley. La mayor cantidad de estos recursos se localizan en la zona norte de Chile y su distribución geográfica conforma provincias metalogénicas o franjas de orientación norte-sur, que se caracterizan por la presencia de uno o más tipos de yacimientos, siendo de gran importancia los yacimientos tipo pórfido cuprífero.

Pórfido Cuprífero: Una significativa parte de la riqueza mineral en Chile está constituida por varios depósitos gigantes de tipo PORFIDO CUPRIFERO, ejemplo de estos depósitos encontramos el yacimiento de Chuquicamata o El Teniente los que contienen > que 50 millones de toneladas de Cu Fino. Estos son considerados los mayores pórfidos cupríferos a nivel mundial [Maksaev, V]. En Chile, la mayor parte de la producción cuprífera proviene de 16 pórfidos cupríferos, 12 en el norte de Chile y 4 en la zona central. La segunda fuente de cobre chileno proviene de depósitos estratoligados hospedados por rocas volcánicas del jurasico y cretastico inferior.

Otros tipos de depósitos son vetas, generalmente de menos de 10 toneladas. Skarn mayores, reemplazo de carbonatos greisen y depósitos hospedados por brechas son típicamente de tamaño intermedio.

Depósitos tipo pórfidos se pueden dividir en varios tipos considerando su contenido metálico. Estos incluyen Cu-Mo, Cu Au, Cu, Au y Mo.

### **12.2-Análisis Producción Minera en Chile, Generación de Residuos Masivos y Elementos de Valor de Importancia para la UE.**

Se ha considerado conveniente la confección de un estudio que facilite la conversación entre actores, públicos y privados, de diversas áreas de la economía chilena y alemana, tendiente a buscar proyectos y emprendimientos conjuntos. El estudio tiene entre otros objetivos, mostrar la diversidad de residuos que genera la actividad minera, tanto metálica como no metálica, y a partir de su composición señalar el inmenso potencial económico, que convierte estos residuos o desechos en “Materias Primas Secundarias”. Otro de los objetivos del estudio consiste, en mostrar tempranamente, lo que podrían ser los resultados del proyecto. En este sentido el estudio ayudará

a crear condiciones que permitan materializar de manera más rápida los resultados del proyecto.  
En consecuencia, el estudio será un complemento importante al proyecto

El Estudio se presenta en capítulo a continuación.

# Wertbestandteile in bergbaulichen Rückständen und Nebenprodukten

---

[Skizzierung der Potenziale für den Sekundärbergbau in Chile]

**Dr. Roberto Mallea**

**Stand: Oktober 2013**

[Durch eine Beschreibung des konkreten Umfeldes sowie durch eine erste Vorausschau auf die zu erwartenden Potenziale des Sekundärbergbaus in Chile soll sowohl das Interesse der deutschen als auch der chilenischen Industrie für eine Zusammenarbeit in diesem doch noch recht neuen Segment der Rohstoffwirtschaft geweckt werden. Durch eine erste Erfassung, Sichtung und Bearbeitung von öffentlich zugänglichen Informationen und Datenquellen soll gleichzeitig die Verbesserung und Angleichung des Kenntnisstandes zum Kooperationspotential im Sekundärbergbau bei Unternehmen und Institutionen der Rohstoffwirtschaft beider Ländern erreicht werden].

Gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie

## **1 Contexto del estudio.**

Actualmente se encuentra en desarrollo un proyecto en el que participan el AHK Business Center de la CAMCHAL y la BGR, junto con el Ministerio de Minería, COCHILCO, ENAMI, SONAMI como socios oficiales, además del SERNAGEOMIN como colaborador. El objetivo del proyecto es “Identificar elementos de valor en residuos mineros (relaves) y evaluar su recuperación como productos comerciales”. El proyecto durará 24 meses.

Entre tanto se ha considerado conveniente la confección de un estudio que facilite la conversación entre actores, públicos y privados, de diversas áreas de la economía chilena y alemana, tendiente a buscar proyectos y emprendimientos conjuntos. El estudio tiene entre otros objetivos, mostrar la diversidad de residuos que genera la actividad minera, tanto metálica como no metálica, y a partir de su composición señalar el inmenso potencial económico, que convierte estos residuos o desechos en “Materias Primas Secundarias”. Otro de los objetivos del estudio consiste, en mostrar tempranamente, lo que podrían ser los resultados del proyecto. En este sentido el estudio ayudará a crear condiciones que permitan materializar de manera más rápida los resultados del proyecto. En consecuencia, el estudio será un complemento importante al proyecto.

## **2 Determinación de elementos atractivos para la industria alemana**

Muchos países industrializados, entre ellos algunos miembros UE, EE.UU y Japón, han reconocido, explícitamente, que la falta de ciertas materias primas puede ser un desafío para el funcionamiento de sus economías, debido a la alta dependencia de estos recursos de países como: China, Rusia, República Democrática del Congo y Brasil.

Un ejemplo de lo planteado se muestra en tabla 7. En ella se observa el crecimiento de la demanda de varios de estos elementos entre los años 2006 al 2030, solo como consecuencias del aumento de su uso en las nuevas tecnologías.

**Tabla 7: Comportamiento de la demanda, a nivel mundial, de algunos elementos componentes de nuevas tecnologías, periodo 2006 y 2030.**

<b>Materia prima</b>	<b>Producción Mundial 2006</b>	<b>Demanda para nuevas tecnologías 2006</b>	<b>Demanda para nuevas tecnologías 2030</b>	<b>Aumento demanda para nuevas tecnológicas</b>
	<b>(t)</b>	<b>(t)</b>	<b>(t)</b>	<b>%</b>
Galio	152	28	603	2153,6
Indio	581	234	1.911	816,7
Germanio	100	28	220	785,7
Neodimio (tierra rara)	16.800	4.000	27.900	697,5
Platino (GMP)	255	no relevante	345	345,0
Tantalio	1.384	551	1.410	255,9
Plata	19.051	5.342	15.823	296,2
Cobalto	62.279	12.820	26.860	209,5
Paladio (GMP)	267	23	77	334,8
Titanio	7.211.000	15.397	58.148	377,7
Cobre	15.093.000	1.410.000	3.696.070	262,1

Fuente (1) BGR en abril 2010.

Muchos de estos elementos son producidos en pocos países. Así por ejemplo, en el año 2007 China produjo el 95% de las tierras raras en el mundo, aumentando esta cifra a 97% el año 2010. En ese mismo año, China comunica al mundo su decisión de disminuir las exportaciones de tierras raras a 30.300 ton. Incluso el año 2011, China comunica una disminución aun mayor de estas exportaciones. El Gobierno de EEUU reacciona antes estos anuncios, presentando en marzo del 2012, un reclamo formal ante la WTO (World Trade Organization, Organización Mundial de Comercio). Estos recortes han significado serios problemas políticos comerciales entre China y Japón, Alemania y otros países demandantes de estos productos. Esta situación ha desatado una franca carrera entre los países industrializados por asegurar suministro estable de estas materias primas estratégicas desde otros países.

Para los efectos de este estudio se consideraran preferentemente los elementos que la comisión Ad-hoc Working Group on defining critical raw material de la comisión europea de Enterprise and Industry, definió como estratégico, en su informe de Julio del 2010 (ver tabla 8).

**Tabla 8: Materias primas críticas para la EU**

Antimonio	Indio
Berilio	Magnesio
Cobalto	Niobio
Fluorita	Plati metales
Galio	Tierras raras
Germanio	Tantalio
Grafito	Tungsteno (Wolframio)

Fuente: [2] Comisión Europea, Junio 2010

### **12.3- Descripción Geo-metálica de Regiones de Chile**

La metalogénesis de la cordillera de los Andes y particularmente de la parte de esta, que corresponde a Chile, según [3] Maksaev, es un margen continental activo con subducción de corteza oceánica bajo el continente sudamericano

Chile se encuentra situado en un ambiente geológico altamente favorable para la formación de importantes y numerosos yacimientos metálicos de carácter poli-componentes. Es así que en Chile, existe una de las mayores mineralizaciones cupríferas del mundo, principalmente como yacimientos de tipo vetiformes, pórfidos cupríferos y estratoligados. En los primeros encontramos básicamente los minerales oxidados de cobre, tales como atacamita, cuprita, crisocola y brichantita. En los pórfidos cupríferos se encuentran los sulfuros; destacando la calcopirita, la covelina, la bornita, la energita y la calcocita. Pero además estos yacimientos pueden presentar cantidades variables de Molibdeno, Plata, Oro, y en menor medida Zinc, Selenio, Indio entre otros, junto con un enriquecimiento moderado de tierras raras livianas y una débil anomalía de Europio. Los yacimientos del tipo estratoligados se encuentran en la cordillera de la costa y poseen una importante mineralización de sulfuros de cobre de alta ley. La mayor cantidad de estos recursos se localizan en la zona norte de Chile y su distribución geográfica conforma provincias metalogenéticas o franjas de orientación norte-sur, que se caracterizan por la presencia de uno o más tipos de yacimientos, siendo de gran importancia los yacimientos tipo pórfido cuprífero.

Los recursos minerales metálicos constituyen para Chile el pilar fundamental de la economía, siendo sus principales recursos mineros metálicos, el cobre, molibdeno, oro, plata, hierro, plomo, zinc y manganeso. Tabla 9 muestra la producción durante el año 2012 y su participación en la producción mundial.

**Tabla 9: Producción de minerales metálicos, 2012**

Producto	Año 2012	Participación mundial %
Cobre (Miles de TM de fino)	5.433,9	31,5
Molibdeno (TM de fino)	35.089,9	14,12
Oro (Kg de fino)	49.936,0	1,7
Plata (Kg de fino)	1.194.521,0	4,7
Plomo (TM de fino)	410,0	0,008
Zinc (TM de fino)	26.762,0	0,2
Hierro (Miles TM mineral)	17.330,1	0,57

Fuente: (4) Anuario Cochilco 2012, pág. 15

Chile también se destaca por sus recursos en Rocas y Minerales Industriales (RMI) que son relevantes para las actividades de los sectores químico-industrial, construcción, minero-metalúrgico, manufacturero, agroindustrial y en la preservación del medioambiente. Tabla 10 muestra la producción de diversos RMI, durante el año 2012.

**Tabla 10: Producción de Minerales Industriales, 2012**

RMI	Toneladas
Nitratos	822.584
Cloruro de Sodio	8.057.130
Compuestos de Litio	71.594
Compuestos de potasio	1.686.408
Compuestos de Boro	534.487
Arcillas	68.238
Caliza	6.238.486
Yeso	799.064
Recursos Silíceos	1.267.476
Yodo	17.494
Feldespatos	6.399
Pumicita	826.779
Roca de Ornamentación	6.752

Fuente: (5) Anuario Cochilco 2012, pág. 15



Entre los recursos de RMI del país que más destacan, están: nitratos, yodo, sal común, sales de litio y potasio, boratos, áridos, arcillas, calizas, yeso, cuarzo, baritina, caolín, feldespato, talco, diatomita, bentonita, dolomita, guano, apatita, zeolitas y perlita.

### **12.3.1- Minerales Metálicos**

#### **Cobre**

La producción de cobre en Chile se genera fundamentalmente, en las regiones de: Tarapacá, Antofagasta, Atacama, Coquimbo, Valparaíso, Metropolitana y del Lib. Gral. B. O'Higgins, donde se concentran la casi totalidad de las reservas conocidas del país. Estas reservas equivalen a cerca del 40% de las reservas del planeta.

Los principales productos son: concentrados, cátodos y refinados a fuego. La producción total del 2012 alcanzó 5.433.900 tmf, lo que representa un aumento del 4% respecto del 2011. Tabla 11 muestra la producción de cobre durante el año 2012.

Esta producción se efectúa por empresas que se pueden clasificar en tres segmentos de la minería del cobre: Gran Minería, representada por 17 empresas privadas más la Corporación del Cobre (Codelco) empresa estatal.

En conjunto han producido entre el 90 y 94% del total nacional en los últimos 7 años; Mediana Minería, representada por unas 22 empresas principalmente nacionales, que produjeron entre el 5 y el 7% y la Pequeña Minería, que produjo cerca del 1% de dicho total en el mismo período.

**Tabla 11: Empresas y producción de cobre del año 2012**

<b>Compañía</b>	<b>Producción (miles de Ton)</b>
<b>Codelco - Chile</b>	
División Chuquicamata	355,9
División Radomiro Tomic	427,8
División Salvador	62,7
División Andina	249,9
División El Teniente	417,2
Gaby	133
<b>ENAMI</b>	41,175
Sub Total	<b>1687,675</b>
<b>Empresas privadas</b>	
Cía. Minera Teck Quebrada Blanca S.A.	62,4
Cía. Minera Doña Inés de Collahuasi S.C.M	433,5
Cía. Minera Cerro Colorado	73,1
SCM. El Abra	153,7
Minera Escondida Ltda.	1.075,90
Cía. Minera Zaldívar S.A.	131,1
Minera Esperanza	173,2
Anglo Norte/Sur S.A.	531,6
Cía. Minera Los Pelambres	417
Cía. Minera Candelaria	122,8
Minera El Tesoro	105
Minera Spence S.A.	166,7
Minera Michilla	37,7
Cía. Minera Lomas Bayas	73,3
Otros	189,23
Sub Total	<b>3746,23</b>
<b>TOTAL</b>	<b>5433,905</b>

Fuente: (6) Anuario Cochilco 2012, pág. 17

## Molibdeno

La producción de molibdeno proviene de las siguientes regiones: Tarapacá, Antofagasta, Atacama, Coquimbo, Valparaíso, Metropolitana y del Lib. Gral. B. O`Higgins, en general corresponde a un subproducto de la producción cuprífera llevada a cabo por empresas de la gran minería del cobre. Se produce en un 86 % como concentrado y el resto como óxidos. La producción de molibdeno del 2012 fue de 35.09 tmf, un 15% menor que la del 2011. (Ver Tabla 12)

**Tabla 12: Empresas y producción de molibdeno, año 2012**

Empresa	toneladas
Codelco	19.460
Anglo American sur	981
Pelambres	12.216
Collahuasi	1.953
Valle Central	480
Total	35.090

Fuente: (7) Anuario Cochilco 2012, pág. 19

## Oro

Debido a sus singulares propiedades físicas, se ha utilizado desde la antigüedad en joyería, orfebrería y decoración, convirtiéndose en el máspreciado de los metales nobles. Con el desarrollo de la ciencia y de la tecnología, en la actualidad se usa también en la industria y en la medicina. Su alta valoración comercial dio lugar a que se generalizase como unidad monetaria y se convirtiera en patrón de cambio en el mercado internacional.

La producción de oro en Chile proviene de las siguientes regiones: Antofagasta, Atacama, Coquimbo, Valparaíso, Metropolitana y Aysén, regiones donde se concentra la mayor parte de las reservas conocidas del país. La producción de oro se presenta, principalmente, bajo la forma de oro metálico, metal doré y concentrados de oro y proviene de las empresas de la minería del oro, del cobre y, en menor medida, del plomo y cinc. Esta producción alcanzó el año 2012 un total de 49.936 kg el 2012 (tabla 13). Las empresas de la minería del oro produjeron 29.800 kg, correspondientes al 59,7% del total nacional anual, desagregado de la siguiente forma: grandes empresas, 75%; medianas empresas, 20% y pequeñas empresas, 5% de ese total.

Algunas de las empresas grandes, medianas y pequeñas de la minería del cobre produjeron un total de 19.728 kg, que corresponden al 39,5% de la producción nacional anual; además, pequeñas y medianas empresas de la minería de la plata y del plomo y cinc, aportaron un 0,8% de ese total nacional.

**Tabla 13: Procedencia de la producción de oro, 2012**

Minerales de oro, kg	Minerales de cobre y otros, kg	Total kg
29.800	20.136	49.936

Fuente: (8) Anuario Sernageomin 2012, pág. 44

Las principales empresas productoras de oro en Chile son:

- Cía. Minera Meridian
- Minera Guanaco
- Cía. Minera Mantos de Oro
- Cía. Minera Maricunga
- Cía. Minera Dayton
- Cía. Minera Pimentón
- Cía. Minera El Bronce de Petorca
- Cía. Minera Pullalli Ltda.
- Minera Florida S.A.
- Cía. Minera Cerro Bayo Ltda.
- Soc. Contractual Minera Toqui

## **Plata**

La producción de plata en Chile se lleva a cabo en las regiones de: Antofagasta, Atacama, Coquimbo, Valparaíso, Metropolitana, del Lib. Gral. B. O'Higgins y Aysén.

Su producción proviene de la minería del oro, principalmente como metal doré; de la minería del cobre en la forma de concentrado de cobre; de la minería de la plata, como concentrado de plata, y de la minería del plomo y cinc como concentrado de cinc.

La producción del 2012, ver tabla 14, disminuyó un 7% respecto al 2011.

**Tabla 14: Procedencia de la producción de Plata, 2012**

Minerales de Plata (Kg)	Minerales de cobre (Kg)	Minerales Oro, Plomo y cinc (Kg)	Total (Kg)
4.072	716.955	473.494	1.194.521

Fuente: (9) Anuario Sernageomin 2012, pág. 47

Las principales empresas productoras de plata son:

- Codelco.
- El Peñón.
- Minera Escondida Ltda.
- La Coipa

### **Plomo**

Su producción proviene exclusivamente de la región de Aysén y corresponde a finos contenidos en concentrados de cinc, oro y plomo. La producción del 2012, fue de 410 tmf, lo que implica una disminución de un 51% respecto del 2011 (9). La única empresa que produce plomo a partir de mineral, es la Soc. Contractual Minera El Toqui.

### **Cinc**

Sus usos más importantes lo constituyen las aleaciones y el recubrimiento protector de otros metales. El hierro o el acero recubiertos con cinc, para evitar la oxidación, se denominan galvanizados. La aleación de cinc con cobre produce latón, utilizado en la industria eléctrica; las aleaciones de cinc con aluminio y magnesio se usan en la industria aeronáutica.

La producción proviene exclusivamente de las regiones de Aysén y Metropolitana y corresponde a finos contenidos en concentrados de cinc, oro y plomo. La producción del año 2012 (10) alcanzó 26.762 tmf, lo que implica una disminución del 27% respecto del 2011.

Las empresas productoras de Cinc en Chile son: Minera Florida y Soc. Contractual Minera El Toqui.

## **Hierro**

La principal aplicación del hierro es en la obtención del hierro fundido y del acero, materiales metálicos de amplia utilización en la construcción habitacional y pública, las obras civiles, la industria manufacturera, naviera, automotriz y metal-mecánica, y la fabricación de electroimanes.

Su producción proviene de las regiones de Atacama y de Coquimbo, y es efectuada en su totalidad por empresas de la gran y mediana minería del hierro. Esta producción, (11), alcanzó 17.330.000 toneladas métricas de mineral el 2012, siendo un 37% mayor que la del 2011 e incluye la producción de finos y de pellets.

Una de las principales productoras de hierro es la Compañía Minera del Pacífico (CAP), que durante el año alcanzó 12 mill. de ton (12). De las cuales 6.781.000 ton. Provenían del valle de Huasco, 3.674.000 ton. Correspondió a producción del valle del Elqui y 1.588.000 ton del valle de Copiapó.

Es destacable, que durante el año 2012 la planta Magnetita, ubicada en el valle de Copiapó, procesó 25.718.000 mill. de toneladas de relaves, provenientes de la Compañía Contractual Minera Candelaria, productora de cobre. Esto generó 1.095.000. tmf. de hierro magnético. Procesó además 640.000 tmf procedente de terceros, junto con 400.000.- tmf de material de rechazo, lo que permitió la exportación de 1,6 mill. de ton, en forma de concentrado.

Las empresas productoras de hierro son:

- Cía. Minera del Pacífico
- Minera Santa Fe
- Minera Hierro Atacama Sector Punta Totalillo
- Santa Fe Mining

## **Manganeso**

Más del 95% del manganeso que se produce se utiliza en siderurgia, especialmente en la manufactura del acero, ya que mejora la dureza y resistencia mecánica de este y, también la de

productos de aluminio y magnesio. La producción de manganeso en Chile proviene exclusivamente de la Región de Coquimbo y es efectuada por pequeñas y medianas empresas del rubro. Desde el año 2010 no se registra producción.

### 12.3.2- Rocas y Minerales Industriales

#### Arcilla

El término arcilla designa una amplia variedad de materiales terrosos, compuestos por los denominados minerales de arcilla, que son silicatos hidratados de alúmina, y por cantidades variables de hierro, magnesio, sodio, calcio y potasio. Las arcillas constituyen recursos minerales que tienen diferentes propiedades físicas y químicas. Desde el año 2005 se han agrupados bajo el término “Arcillas”, los siguientes recursos: caolín, arcillas plásticas, arcillas bauxítica, bentonita y arcilla común.

La producción de arcillas en Chile ha comprendido históricamente, las siguientes regiones: Tarapacá, Coquimbo, Valparaíso, Metropolitana, del Lib. Gral. B. O'Higgins y del Maule y en menor magnitud, de las regiones de Atacama, del Biobío y de La Araucanía. La producción de arcillas durante el año 2012 se muestra en tabla 15.

**Tabla 15: Producción de Arcillas año 2012**

Caolín	Arcilla Bauxítica	Bentonita	Arcilla plástica	Total (ton)
60.429	4.976	-	1.940	<b>67.345</b>

Fuente: (13), anuario SERNAGEOMIN 2012

Principales productores de Arcillas año 2012:

- Mario Alberto Pizarro A.
- S.M. Godoy Schwenger y Cía.
- Minera Lealtad Ltda.
- Cía. Minera Polpaico Ltda.
- S.M. Casablanca S.A.

## Carbonato de Calcio

Se ha empleado la denominación carbonato de calcio para referirse a un conjunto de materiales naturales: caliza, coquina y carbonato de calcio blanco, compuestos principalmente por el mineral calcita,  $\text{CaCO}_3$ . Estos recursos tienen diversas aplicaciones industriales tanto por sus propiedades químicas, especialmente su contenido en  $\text{CaCO}_3$ , como físicas, en especial color, dureza y resistencia mecánica. Por consiguiente, son utilizados en la fabricación de cemento y cal, como fundente metalúrgico, como enmienda calcárea y nutriente en la industria agropecuaria, como absorbente de gases en industrias químicas y como carga y blanqueador en la industria manufacturera. La producción total de carbonato de calcio en el año 2012 fue de 6.657.824 ton., lo cual significa un incremento de 6,1 % respecto al año 2011.

La producción de carbonato de calcio en Chile ha sido creciente en los últimos 10 años y ha provenido de las regiones de: Antofagasta, Atacama, Coquimbo, Valparaíso, Metropolitana y de Magallanes y de la Antártica Chilena, con aportes de las Regiones del Lib. Gral. B. O`Higgins y del Maule a partir del 2000.

Principales productores:

- Minera El Way S.A.
- Minera Jilguero S.A.
- IMOPAC Ltda.
- Explomin Tongoy Ltda.
- S.M. y Comercial Alegría y Cía Ltda.
- Alfredo Villalobos Román
- Mario Alberto Pizarro A.
- Empresas Melón S.A.
- Cía. Minera Polpaico Ltda.
- Minera Trucco Ltda.
- Cristalerías Toro S.A.I.C.
- Soc. Minera Río Colorado S.A.
- S.M. Las Abuelitas Ltda.
- Cal Hur Fernández
- Cía. Minera Marathon
- Minera Río Teno S.A.



## **Cloruro de Sodio**

El cloruro de sodio, sal común, se presenta en forma sólida como el mineral halita. Este mineral es incoloro a blanco o gris blanco, y, cuando es puro, contiene 39,34% Na y 60,66% Cl. La halita constituye, al menos, el 95% de la roca salina o sal de roca; las impurezas, si existen, corresponden principalmente a anhidrita y tenardita.

El cloruro de sodio es destinado al consumo humano y animal, así como a usos industriales, químicos, mineros y de obras civiles tanto en el país como en el extranjero.

Prácticamente el 99% de la producción nacional proviene de la Región de Tarapacá, y está en manos de la empresa K+S de origen alemán. El 2008 fue el segundo recurso de mayor volumen de producción en Chile. La producción del 2012 alcanzó 8.057.130 ton, lo que representa una baja de un 19% en relación al año 2011.

Principales productores:

- Inversiones Alpinas Ltda.
- Playa Grande Ltda. Panamericana Norte
- Christian Fletcher
- Elías Echeverría
- S. M. Punta de Lobos
- Cía. Minera Cordillera Chile S.C.M.

## **Compuestos de Azufre**

Los compuestos de azufre considerados en este capítulo, azufre refinado y ácido sulfúrico, se utilizan, principalmente, en la fabricación de compuestos químicos y farmacéuticos, explosivos, fertilizantes, fungicidas y fósforos y en la vulcanización del caucho. A su vez, el azufre se utiliza mayoritariamente para elaborar ácido sulfúrico.

El azufre en Chile es de origen volcánico y su producción está paralizada desde 1993, debido a razones de precio y calidad que favorecen al azufre importado. El ácido sulfúrico se obtiene como un subproducto de la fundición de minerales de cobre, en las regiones de: Antofagasta, Atacama, Valparaíso y del Lib. Gral. B. O`Higgins

Principales productores de ácido sulfúrico:

- Codelco Norte
- Xstrata Copper Fundición Altonorte
- Codelco División El Salvador

- Enami Paipote
- Codelco División Ventanas
- Anglo American Sur S.A.
- Codelco División El Teniente

### **Compuestos de Boro**

Los compuestos de boro considerados en este capítulo son ulexita y ácido bórico, de importante aplicación en la fabricación de detergentes, vidrio, esmaltes cerámicos y fibra de vidrio, y como preservantes de maderas, retardantes de fuego y micronutrientes agrícolas. Es un elemento extremadamente disperso en la naturaleza, que se encuentra en una concentración promedio de 4,6 ppm en el agua de mar y 3 ppm en la corteza terrestre, alcanzando a 10 ppm en la corteza continental.

Los minerales de boro de mayor interés comercial son: bórax, kernita, colemanita y ulexita. El bórax o tincal ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ) y la kernita ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ), denominados boratos de sodio, se encuentran en depósitos salinos estratificados, subsuperficiales, que contienen yacimientos de alta ley y grandes reservas. La ulexita ( $\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ) y la colemanita ( $\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ), los boratos de calcio, se encuentran principalmente en salmueras o costras de depósitos salinos, en especial en los salares andinos.

La ulexita y el ácido bórico han sido producidos en las regiones de Arica y Parinacota y de Antofagasta, mediante el procesamiento de los minerales de boro contenidos en las costras salinas y salmueras de los salares andinos. La producción o extracción de Ulexita durante el año 2012 fue de 444.487 ton., 9% menos que el año 2011. Las exportaciones de Ulexita del año 2012 reportaron 15,4 mill US\$ FOB. En tanto que la producción de ácido bórico bordea las 95.000 ton.

Principales productores:

- Química Industrial del Bórax Ltda. (principal productor)
- S.Q.M. Salar S.A.

### **Compuestos de Litio**

Los compuestos de litio considerados en este capítulo son carbonato de litio, cloruro de litio e hidróxido de litio, que se utilizan, principalmente, en la obtención de litio metálico, en las industrias del vidrio y cerámica, y en la fabricación de baterías recargables. El carbonato de litio y el cloruro de litio han sido producidos, en forma ininterrumpida, en la Región de Antofagasta desde 1984 y 1999, respectivamente, mediante el procesamiento de salmueras cloruradas con alto contenido de

litio (0,14% de Li equivalente) existentes en el salar de Atacama, Región de Antofagasta. La producción de hidróxido de litio se registra sólo desde 2005. Los tres recursos se destinan, en su totalidad, a la exportación. La producción de compuestos de litio del año 2012, se desglosa de la siguiente forma: Carbonato de litio, 62.002 ton, Cloruro de litio, 4.145 ton e Hidróxido de litio, 5.447 ton. El año 2012 registra la mayor producción de Carbonato de litio de la historia en Chile y representa un fuerte y sostenido aumento después del 2009 en que se registro una producción de solo 25.154 ton. Los ingresos generados por la exportación de Carbonato de litio durante el año 2012 alcanzaron los 247 mill US\$, Fob.

Principales productores:

- Soc. Chilena del Litio Ltda.
- S.Q.M. Salar S.A.

### **Compuestos de Potasio**

Los compuestos de potasio considerados en este capítulo son cloruro de potasio y sulfato de potasio, productos minerindustriales que se utilizan, principalmente, como fertilizantes potásicos. El potasio es el séptimo elemento en abundancia en la corteza terrestre y, junto con el fósforo y el nitrógeno (NPK), son los principales nutrientes de las plantas. El más importante mineral de potasio es la silvita (KCl), que contiene 63,17% K<sub>2</sub>O. La mayor parte de los recursos de potasio mundiales se encuentran en depósitos salinos estratificados, subsuperficiales, que contienen yacimientos de alta ley y grandes reservas, y de bajo costo de explotación y beneficio. Existe, también, una importante producción de potasio a partir de la evaporación de salmueras superficiales y subsuperficiales presentes en salares y lagos salinos, donde se encuentra como cloruro de potasio.

El cloruro de potasio y el sulfato de potasio son producidos en la Región de Antofagasta desde 1994 y 1998, respectivamente, a partir del procesamiento de salmueras cloruradas con alto contenido en potasio (22 g/l de K), existentes en el salar de Atacama. La producción total de compuestos de potasio durante el año 2012 fue de 1.686.408 ton, de las cuales 1.581.226 ton corresponden a cloruro de potasio y solo 105.182 ton a sulfato de potasio.

Principales productores:

- Soc. Chilena del Litio Ltda.
- S.Q.M. Salar S.A.

### **Nitratos**

El nitrógeno es un elemento ampliamente distribuido en la superficie terrestre, constituye el 78% de la atmósfera y mediante el llamado ciclo del nitrógeno, es parte esencial de la biosfera. Es uno de los tres principales nutrientes de las plantas (NPK), junto con el fósforo y el potasio. Los nitratos corresponden a compuestos nitrogenados naturales, presentes en los yacimientos de salitre ubicados en el norte del país, en las regiones Tarapacá y Antofagasta. Las dos formas principales en que se presentan son, nitrato de sodio,  $\text{NaNO}_3$ , y nitrato de potasio,  $\text{KNO}_3$ . Los nitratos naturales se utilizan para la elaboración de nitrato de sodio, nitrato de potasio y salitre sódico, de uso en la industria y en la agricultura.

La producción de nitratos proviene, actualmente, de las regiones de Tarapacá y Antofagasta y el 2012 alcanzó las 822.584 ton., disminuyó un 11% respecto del 2011. Las exportaciones de nitratos durante el 2012 generaron 209 mill US\$ FOB.

Principales productores:

- Cosayach Nitratos S.A.
- ACF Nitratos S.A.
- S.Q.M. Nitratos S.A.

### **Recursos Silíceos**

El término recursos silíceos se utiliza para referirse a aquellas rocas, minerales y sedimentos, compuestos principalmente por sílice,  $\text{SiO}_2$ , en diferentes variedades cristalográficas, que son utilizados, en distintas aplicaciones tecnológicas, tanto por sus propiedades químicas ( $\text{SiO}_2$  sobre 94%), como físicas (cristalinidad, transparencia, dureza, fracturamiento). A partir de la versión 2005 del Anuario de la Minería, el término recursos silíceos comprende los recursos cuarzo y arenas silíceas, cuyo principal mineral constituyente es el cuarzo que se presenta en ellos, respectivamente, en forma cristalina y criptocristalina, y clástica. Ambos recursos son las

principales fuentes de SiO<sub>2</sub> para diversas aplicaciones industriales, entre ellas, fabricación de vidrio, cerámica, aleaciones silíceas, fundentes, abrasivas, filtrantes, y productos ópticos y electrónicos.

La producción de recursos silíceos se realiza en seis regiones del país y ha sido creciente en los últimos 10 años, especialmente por la mayor demanda de cuarzo para fundición y de arenas silíceas para fabricación de vidrio. La producción total del año 2012 fue de 1.267.476 ton de las cuales 907.784 ton corresponden a arenas silícea y 359.692 ton a cuarzo.

Principales productores:

- Cedric Fernández B.
- Luis Araya Araya Salida Sur
- Minera Faro Carranza S.A.
- Cristalerías Toro
- Antonio Zotti Rosetti
- Minera Alfa Quintay Ltda.
- Minera San Pedro Ltda.
- S.L.M. Santa Dorila
- Minera Granos Industriales Ltda.
- Productora Cuarzo El Peral Ltda.
- Vidrios Lirquén S.A.
- Hugo Iturrieta

### **Rocas Fosfóricas**

Bajo el término rocas fosfóricas se agrupa un conjunto de rocas que presentan un alto contenido en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, en general entre 28 y 38%, y que, por ende, constituyen la principal materia prima para la elaboración de fertilizantes fosfatados y productos químicos relacionados. Las rocas fosfóricas empleadas como fuente de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> en el mundo son fosforita, apatita y guano, que, en conjunto, se utilizan en más de un 90% de su producción para producir fertilizantes fosfatados. La fosforita es la más importante de las tres, con más de un 70% del consumo mundial.

Consideradas en conjunto, las rocas fosfóricas chilenas, fosforita, apatita y guano, son producidas en las regiones de Tarapacá, Antofagasta, Atacama y Coquimbo. La producción total de roca fosfórica del año 2012 fue de 15.601 ton, de las cuales 8.585 ton. corresponden a apatita, 5.750 ton a fosforita y 1.266 ton a guano.

Principales productores:

- Guano Rojo Punta Gruesa Pukara

- César B. Formas Ortiz
- Compañía Minera El Sauce
- Cía. Mra. de Fosfatos Naturales Bifox Ltda.

### **Rocas Ornamentales**

Bajo la denominación rocas ornamentales, se agrupan aquellos materiales líticos que tienen una aplicación principal como roca dimensionada para revestimiento en construcción habitacional, pública y mortuoria; roca para ornamentación y estatuaria y roca para piezas de uso utilitario y ornamental (pedestales, ceniceros, lámparas, lápices, empuñaduras, manillas).

Las rocas para estas aplicaciones comprenden muy variados tipos litológicos que incluyen, principalmente, granitos, mármol, travertino, mármol ónix, serpentina, tobas, andesitas, areniscas, calizas y pizarras.

Considerada en conjunto, la producción de lapislázuli, mármol y travertino proviene de las regiones de: Antofagasta, Atacama y Coquimbo. El lapislázuli y el mármol han sido explotados e informados históricamente, y la producción de travertino ha sido informada a partir del 2005. La producción total de rocas de ornamento durante el año 2012 fue de 6.752 ton. De las cuales 2.285 ton corresponden a mármol y 4.467 ton a travertinos

Principales productores:

- Canteras de Atacama S.A.
- Las Flores de los Andes S.A.
- Pier Luigi Indri
- Andes Travertine & Stones S.A.
- Cía. Minera Feltre Ltda.

### **Yeso**

El yeso es un sulfato de calcio hidratado, de fórmula general  $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$ , que corresponde al sulfato natural más común en la naturaleza. Tiene dureza 1,5-2,5 en la Escala de Mohs, peso específico 2,3 g/cm<sup>3</sup>, color blanco cuando es puro, y es soluble en ácido clorhídrico y parcialmente en agua. El yeso es de principal interés tecnológico y comercial. Debido a la presencia de

diferentes impurezas, como carbonatos de calcio y magnesio, cloruros, sulfatos y arcillas, el yeso al natural presenta contenidos variables entre 65% y 96%  $\text{CaSO}_4$ . Se utiliza calcinado y sin calcinar. Los principales usos del yeso calcinado son en la elaboración de paneles y bloques de construcción y en la industria cerámica y farmacéutica. Sin calcinar se emplea en la fabricación de cemento, como acondicionador de suelos y como carga industrial.

Su producción en el país proviene de las regiones: de Antofagasta, Coquimbo y Metropolitana y está directamente relacionada con la demanda del sector construcción. La producción en el 2012 alcanzó 799.064 ton disminuyendo un 13% respecto del 2011.

Principales productores:

- Cía. Minera Polpaico
- Soc. Industrial Romeral S.A.
- Minera Lo Valdés Ltda.

## **Yodo**

El yodo es un elemento gris oscuro, blando y brillante, con una densidad de 4,9 y que ocupa el lugar N°47 en el orden de abundancia de los elementos en la corteza terrestre. Es sólido a temperatura ambiente y existe en la naturaleza sólo como yodato y yoduro u otras formas combinadas.

Los minerales más característicos que contienen yodo de interés económico son lautarita,  $\text{Ca}(\text{IO}_3)_2$ , o yodato cálcico; bruggenita,  $\text{Ca}(\text{IO}_3)\cdot\text{H}_2\text{O}$ , yodato de calcio hidratado, y dietzita,  $\text{Ca}_2(\text{IO}_3)_2(\text{CrO}_4)$ , yodo-cromato de calcio. Muchas salmueras subterráneas contienen compuestos de yodo y el agua de mar contiene alrededor de 0,05 ppm. Algunas algas pueden acumularlo hasta en un 0,45%, y una fuente de extraordinaria importancia son los yacimientos de nitratos de Chile.

En Chile, el yodo se usa, principalmente, como aditivo para la sal comestible y en la fabricación de antisépticos.

La producción de yodo, proviene de las Regiones de Tarapacá y de Antofagasta y su producción ha sido, en general, creciente. La producción en el 2012 fue de 17.494 ton. experimentando un

crecimiento del 9% respecto del 2011. Las exportaciones del año 2012 significaron 906 mill US\$ FOB.

Principales productores:

- A.C.F. Minera Ltda.
- S.C.M. Cosayach
- S.Q.M. S.A.
- Atacama Minerals Chile S.C.M.

### **12.3.3- Determinación de los Residuos Mineros en cada Etapa del Proceso de Producción de Cobre**

La minería ha jugado un rol muy importante en la historia de la economía chilena, ya desde mediados del siglo XIX la explotación del salitre generaba un impulso relevante para Chile.

Durante la última década del siglo XX, la minería y en especial la minería del cobre vivió un período de auge sin precedentes. La producción del sector, impulsada por un fuerte proceso de inversiones, creció en un 237% desde 1990 al año 2006. [14].

La producción de Cobre, cuyos principales productos son cátodos, concentrados y refinados a fuego, es realizada en Chile por tres grupos de empresas claramente identificables: La Gran minería, representada por 16 empresas privadas y una estatal, las que en los últimos 5 años han generado entre el 90 y 97 % del total. Mediana Minería, constituida por 22 empresas, principalmente nacionales, que en los últimos 5 años produjeron entre el 5 y el 7%, y Pequeña minería, con una participación del orden del 1,5% del total de la producción.

Los minerales de Cobre se dividen en dos grandes grupos, minerales oxidados y minerales sulfurados. Condición que le transfiere al mineral propiedades y características bastantes diferentes, así por ejemplo los óxidos, a diferencia de los sulfuros, son fáciles de lixiviar.

Estas singularidades y características de cada uno de estos dos grandes grupos son los que también en definitiva han determinado la forma y esquemas tecnológicos, bajo los cuales han sido tratados para obtener el cobre.



## Esquema de Producción de Cobre

A continuación se presenta un diagrama de flujo (figura 3), que muestra la secuencia de etapas de procesos para los óxidos y sulfuros.

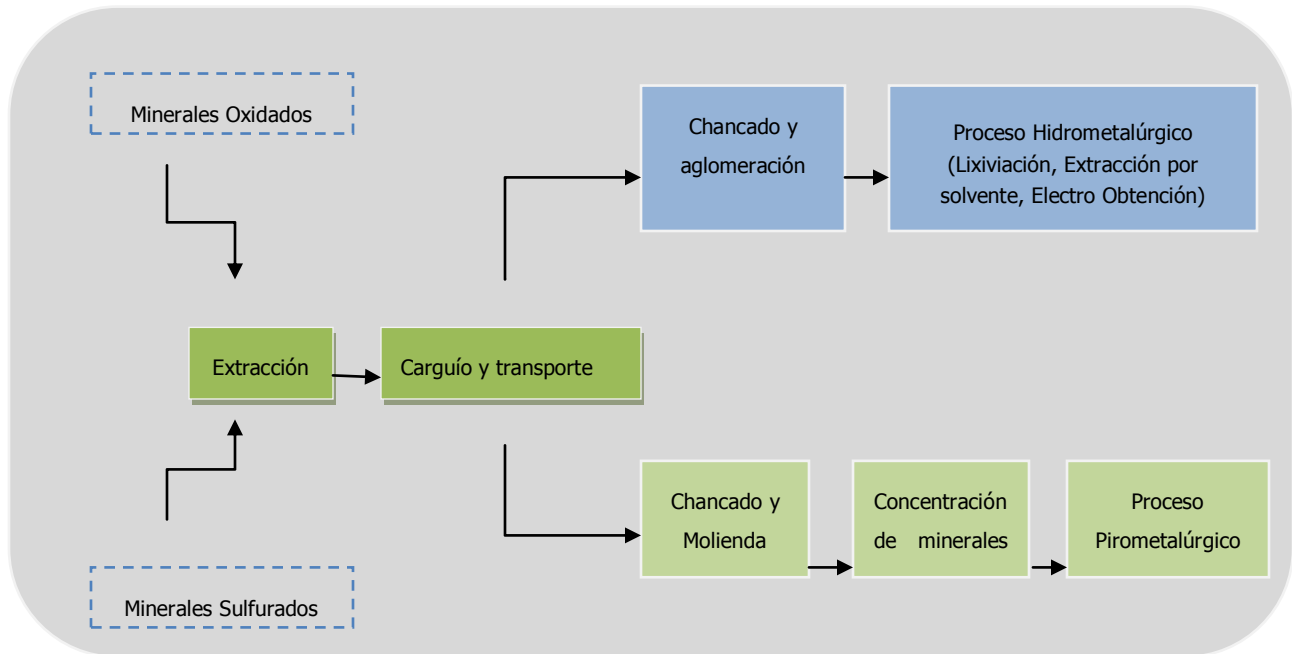


Figura 3: Esquema general de tratamiento de minerales de cobre

## Residuos Generados en el Tratamiento de Minerales de Cobre

### Tratamiento Hidrometalúrgico

En el proceso Hidrometalúrgico de tratamiento de minerales oxidados de cobre se generan los siguientes principales residuos:

- Ripios de Lixiviación.

- Riles y aguas de desecho.

La figura 4, muestra el esquema del proceso hidrometalúrgico del tratamiento de minerales de cobre.

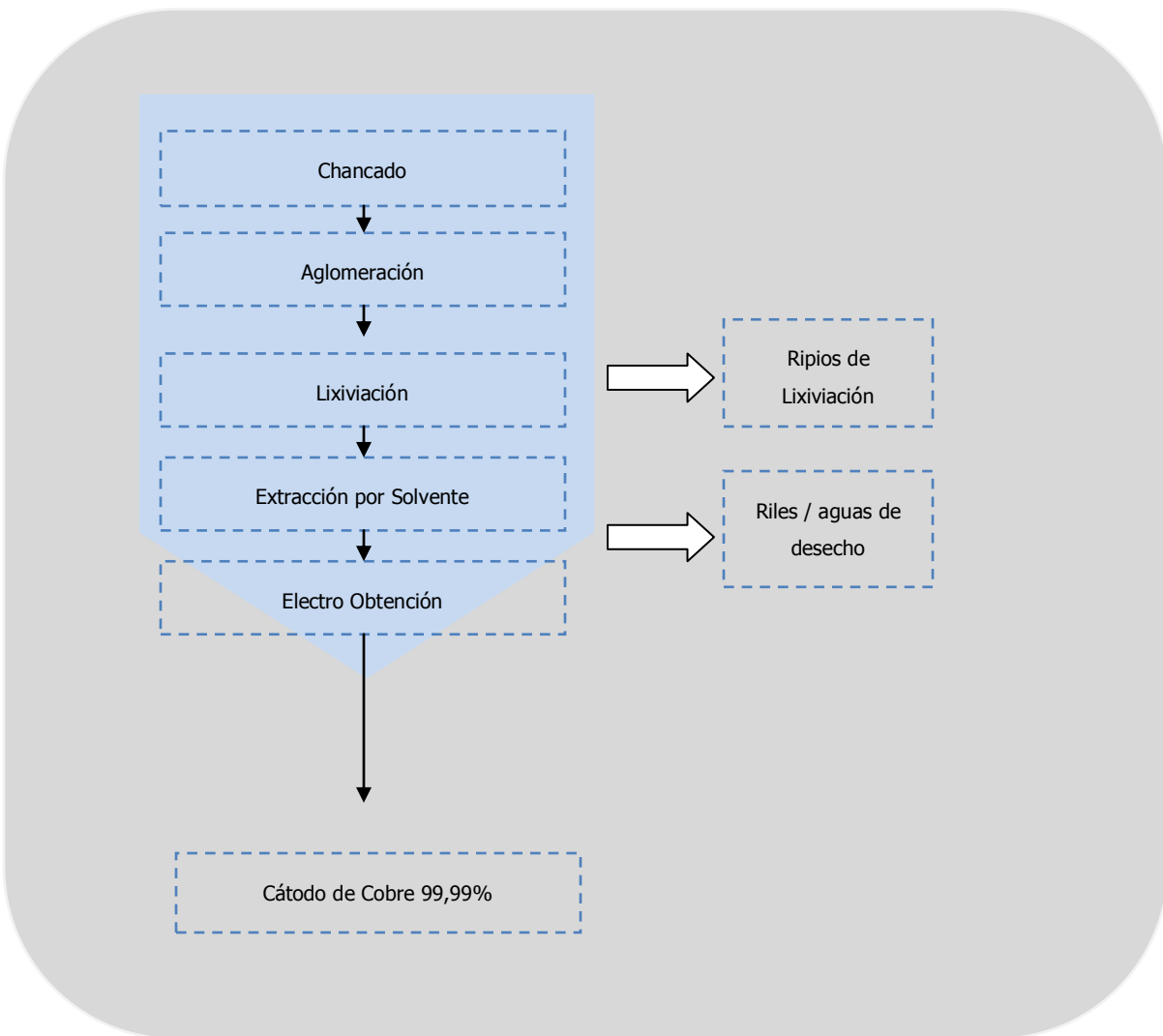


Figura N°4: Esquema tratamiento hidrometalúrgico de minerales de cobre

## Tratamiento de Concentración y Pirometalúrgico

En el proceso de tratamiento de concentración y posterior tratamiento pirometalúrgico, se generan los siguientes principales residuos:

- Relaves.
- Escorias.
- Polvos de fundición.
- Barros anódicos

La figura 5, muestra el esquema del proceso pirometalúrgico de minerales sulfurados de cobre.

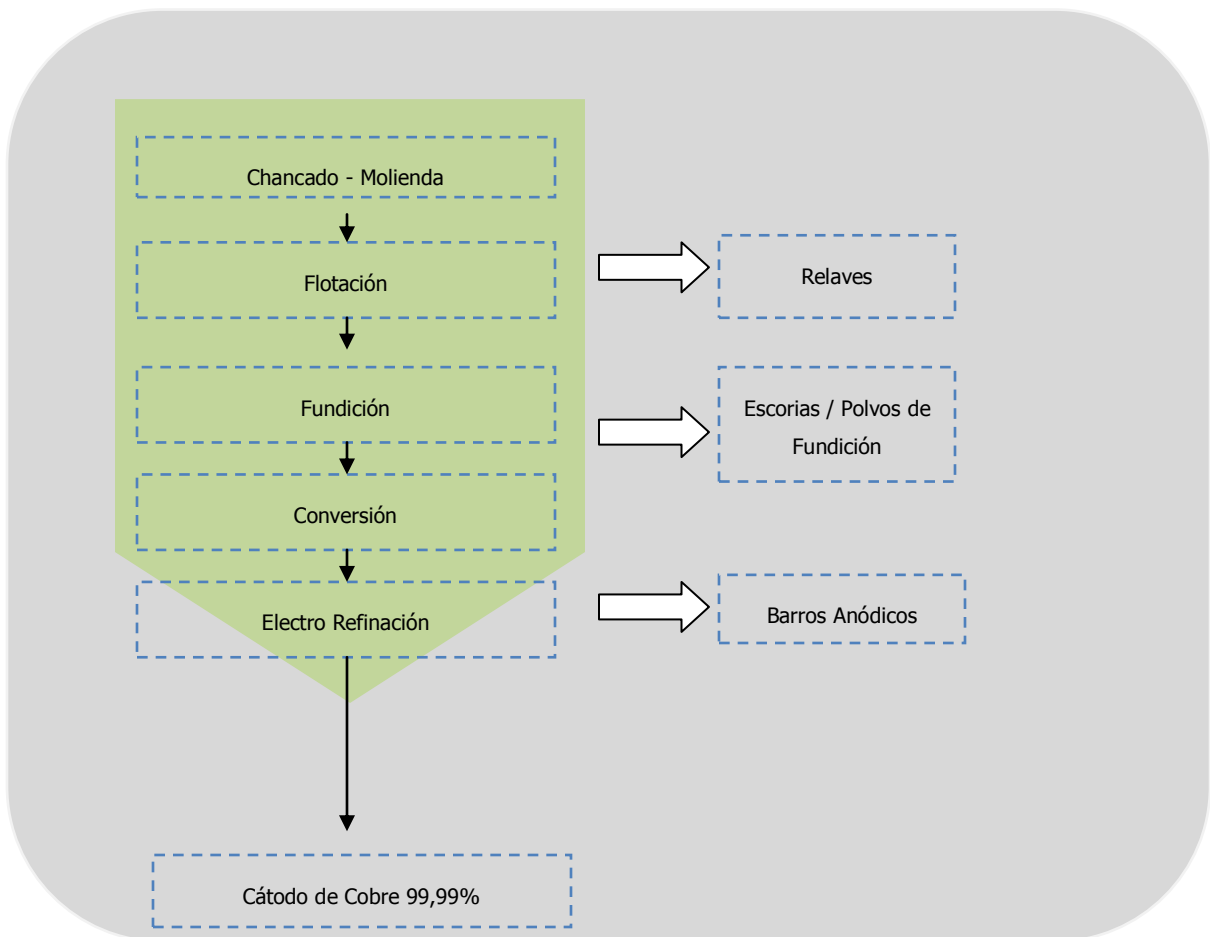


Figura 5: Esquema tratamiento minerales sulfurados de Cobre.

## **Residuos de Extracción Mina**

En función de las características de los yacimientos, se hace necesario para su explotación remover grandes cantidades de material, el cual debe posteriormente ser reubicado en el entorno del yacimiento o planta de procesamiento. Los residuos sólidos que se generan en esta etapa son:

**Estéril o lastre:** Se generan en grandes tonelajes, incluyen aquellos materiales sin valor económico, que sólo han sido removidos del yacimiento y que a lo más han pasado por un proceso de chancado antes de su disposición. Estos residuos provienen de todos aquellos sectores del yacimiento cuyo contenido de mineral valioso es muy bajo para hacer atractiva su recuperación, pero que de todas maneras es necesario remover para poder acceder a zonas más ricas del mismo. El estéril una vez removido del yacimiento se dispone formando las características "tortas" de estéril en las cercanías de los yacimientos mineros.

**Minerales de baja ley:** el tonelaje de minerales de baja ley (mineral cuyo contenido de metal no hace rentable su procesamiento en la actualidad) varía de una faena a otra y son considerables las cantidades que se deben acopiar, para su probable procesamiento en un futuro.

**Desmontes de minas subterráneas:** en la construcción de galerías, piques y rampas para acceder al yacimiento subterráneo y durante la explotación de él se generan materiales estériles que deben ser dispuestos ya sea en el interior de la mina o en el exterior en forma similar a la minería a cielo abierto.

## **Generación de Residuos en la Cadena de Producción**

### **- Relaves**

Un relave se define como el desecho sólido de tamaño entre arena y limo proveniente de un proceso de concentración y que es producido, transportado y depositado en forma de lodo.

En la minería del cobre, los relaves se producen en la etapa de concentración por flotación y corresponden al material estéril una vez producido el concentrado sulfurado de cobre. En la minería de oro, se producen otros tipos de relave, principalmente en el proceso de cianuración en reactores donde el mineral previamente molido se contacta con soluciones de cianuro con el fin de disolver los metales preciosos contenidos. En algunos casos, se aplica este proceso de cianuración luego de un proceso de flotación donde se produce un concentrado sulfurado rico en metales preciosos.

En todos los casos, el relave constituye la fracción pobre en elementos de interés del mineral inicialmente extraído. Su composición química y mineralógica depende directamente de la

composición del mineral. Sus características físicas (granulometría, porcentaje de sólidos, etc.) dependen de las características de los procesos de concentración.

Estos residuos están compuestos por una suspensión fina de sólidos (mezcla de 50% en peso de sólidos y 50% de agua), constituida fundamentalmente por el mismo material presente in-situ en el yacimiento, al cual se le ha extraído la fracción con mineral valioso. Los relaves son conducidos en forma de pulpa hacia los depósitos llamados tranque de relaves, los que están diseñados para permitir la decantación de los sólidos en suspensión, y dependiendo de la faena, se puede recircular la fase líquida (aguas sobre nadantes) al proceso o descartarla, ya sea a través de evaporación, evapotranspiración, descarte a cursos de agua o infiltración.

#### - **Ripios**

Generalmente, los ripios de lixiviación quedan impregnados de solución ácido con metales disueltos por lo cual pueden constituir una fuente de contaminación de aguas tanto superficiales como subterráneas. Es importante en el manejo de los ripios asegurarse de que las eventuales filtraciones resultantes de precipitaciones puedan ser captadas y tratadas.

En el proceso de lixiviación del mineral oxidado sulfuros secundarios, se generan los residuos sólidos llamados ripios:

En este proceso el mineral chancado, con un tamaño aproximado de un cuarto de pulgada, se dispone formando una pila a la cual se le hace pasar un fluido lixivante durante un período de tiempo definido, (ácido sulfúrico en el caso de minerales de cobre y cianuro en el caso del oro), el cual solubiliza el metal de interés contenido en la pila. Una vez extraído el metal valioso, el mineral "agotado" que queda recibe el nombre de ripio de lixiviación o de cianuración. Los ripios pueden ser compactados y sobre ellos construirse una nueva pila o bien pueden ser removidos y dispuestos finalmente en otro sitio. Para la depositación de los ripios de lixiviación se utilizan normalmente sitios preparados e impermeabilizados, con el objeto de evitar el escurrimiento de soluciones generalmente ácidas. Estos residuos masivos mineros provenientes de las operaciones de extracción, beneficio o procesamiento de minerales son considerados no peligrosos.

#### - **Barros Anódicos**

La refinación electrolítica es un proceso electroquímico de purificación, mediante el cual los ánodos de cobre son convertidos en cátodos de alta pureza con un contenido de cobre de 99,99%. El proceso se realiza en unos estanques denominados celdas electrolíticas, en las cuales los ánodos de cobre (materia prima) son sumergidos en una solución de sulfato de cobre acidificada y al aplicarle una corriente eléctrica el cobre del ánodo es disuelto y luego depositado selectivamente en un cátodo. Las impurezas insolubles resultantes de este proceso se depositan en el fondo de las celdas electrolíticas denominándosele barro anódico crudo. Este material es enviado a la Planta de tratamiento de barros, dónde es lixiviado para retirarle los elementos solubles en ácido sulfúrico,

entre ellos el cobre, y posteriormente es secado hasta llegar a una humedad de 7 a 10%, luego del proceso de secado el barro anódico queda listo para ser envasado y despachado a destino.

Los contenidos del barro anódico para los elementos de oro y plata son mayores a 0,18% de oro o 17% de plata, por lo que según Art. N° 90 del D.S. N° 148/03 “Reglamento Sanitario de Residuos Peligrosos” lista A1129 no representa un Residuo Peligroso, sino una sustancia peligrosa.

- **Barro de Limpieza Refinería:**

El proceso de refinación electrolítica de cobre genera barro anódico que es retirado desde las cubas de electrólisis mezclado con electrolito. Dichos barros contienen metales preciosos tales como oro y plata. Durante el manejo de la mezcla de barro con electrolito, parte del barro anódico queda atrapado en el fondo de los estanques, en las cañerías y canaletas por donde se transporta. Desde allí es retirado, drenado y envasado para su manejo interno. Este barro recolectado se denomina Barro de Limpieza de Refinería el cual tiene características similares al barro anódico, pero con menores cantidades de metales preciosos contenidos de plata inferior a 17% u oro inferior a 0,18%. [15].

- **Escorias:**

En Chile existen siete fundiciones cupríferas, teniendo de norte a sur, a la fundición Chuquicamata (Calama) de Codelco, Altonorte (Antofagasta) de Xstrata, Potrerillos (El Salvador) de Codelco, Hernán Videla L. (Copiapó) de Enami, Chagres (Catemu) de Anglo American, Ventana (Puchuncaví) de Codelco y Caletones (Rancagua) de Codelco.

Las escorias principalmente fijan el hierro y otros metales presentes en el concentrado, mediante la generación de compuestos estables con la sílice que se utiliza como fundente. Las escorias son retiradas desde los hornos y son dispuestas en vertederos.

- **Polvos y Gases de Fundición:**

Las fundiciones de cobre procesan concentrados de cobre, que en general, contienen un valor promedio del orden de 30% de Cu, además vienen acompañados por un porcentaje similar de Fe y de S, y por algunas impurezas como al arsénico cuya concentración puede llegar hasta 1%.

El azufre se elimina tanto en fusión como en la conversión en forma de dióxido de azufre, mientras que el hierro es mayormente eliminado en la etapa de fusión como escoria fayalítica.

En la fundición, tanto en el proceso de fusión como en el proceso de conversión, se generan grandes cantidades de gases metalúrgicos que contienen distintos tipos de compuestos contaminantes, entre ellos: polvos, dióxido de azufre y compuestos metálicos volátiles.

Generalmente, los gases calientes son captados a la salida de los equipos por campanas con un flujo forzado de extracción. Estos gases pasan por distintas etapas de tratamiento: enfriamiento, limpieza seca y limpieza húmeda. Parte de los polvos recuperados en el enfriamiento y en la limpieza seca son recirculados pero en algunos casos, su alto contenido de impureza obliga a descartarlos o a tratarlos en procesos anexos. Los efluentes de la limpieza húmeda son neutralizados, generándose residuos arseniacales que deben ser dispuestos como residuos peligrosos.

Los gases metalúrgicos con una alta concentración de dióxido de azufre (3 a 10%) pueden ser tratados en plantas de ácido. En estas plantas, el dióxido de azufre se convierte en trióxido para luego ser absorbido en agua para formar ácido sulfúrico. En las plantas de ácido se tratan los gases provenientes de los Hornos Flash, de los Convertidores Teniente y de los Convertidores Pierce Smith. Los gases de los hornos reverberos presentan, generalmente, una baja concentración de dióxido de azufre debido principalmente a la necesidad de suministrar combustible para mantener una adecuada temperatura y, por lo tanto, el aire requerido para la combustión produce una mayor dilución de los gases metalúrgicos. Sin embargo, trabajar con aire enriquecido en oxígeno permite lograr una concentración adecuada de dióxido de azufre en los gases de salida y de esta forma poder tratarlos en las plantas de ácido.

Los gases producidos durante las etapas de fusión y conversión son portadores de polvo, humos y sustancias volátiles. Los polvos, que contienen arsénico y plomo, entre otros, se captan en una etapa de depuración seca, antes de que el gas sea tratado en una planta de ácido sulfúrico.

Esta depuración se lleva a cabo en filtros de manga, cámaras de decantación y/o precipitadores electrostáticos, y los polvos obtenidos pueden almacenarse o reprocesarse.

## Otros Residuos Industriales

### - **Barros Arseniacales:**

Son residuos que provienen del tratamiento de purificación del electrolito mediante un proceso de electrodeposición. Este barro contiene metales como cobre, arsénico, plomo, cadmio y bismuto, entre otros y dependiendo de los contenidos de éstos se disponen o se reprocessan antes de su disposición final.

### - **Borras:**

Antes de ingresar a la planta de ácido, los gases pasan por torres de lavado (scrubber) y precipitadores húmedos, donde se separan de la corriente gaseosa las sustancias volátiles y gaseosas, pasando al agua de lavado como sales o sustancias ácidas, llamadas "borras". De esta forma, a la planta de ácido ingresa solamente el dióxido de azufre. Los efluentes líquidos de la planta de ácido (borras) se tratan en una planta para neutralizar y precipitar el arsénico como arsenito de calcio, residuo sólido que se dispone en un botadero especialmente construido para estos efectos.

### - **Residuos de Carbón y Escorias de Fundición:**

Residuos generados en la minería de oro en el caso de que se continúe al proceso de lixiviación con precipitación por zinc o adsorción con carbón activado. Generalmente van a almacenamiento para ser comercializadas posteriormente.

### - **Emulsión Estabilizada:**

Residuos generados en el proceso extracción por solventes en la interfase acuosa y orgánica. Estos sólidos generalmente se disponen en el botadero de estéril, o se depositan sobre las pilas de rípios.



- **Descarte de Refino:**

Las soluciones que se vuelven ricas en otros iones distintos a los de interés (cobre). En algunas faenas se utilizan piscinas de evaporación y los sólidos generados se disponen. En otras, se utiliza el sistema de pila - riñón para la purificación del refino, retornándose éste al proceso.

- **Borras de Electroobtención:**

Generadas en las faenas en las cuales se utilizan ánodos permanentes de plomo, las cuales se forman por la degradación de dichos ánodos. Generalmente el componente principal de la borra es plomo, el cual generalmente es reciclado por el proveedor de ánodos. Estos residuos mineros generalmente son considerados peligrosos. [16].

### **Estimación de los Principales Residuos Mineros.**

**Relaves:** Dentro del esquema de tratamiento de minerales sulfurados, sin duda que la mayor cantidad de residuos sólidos se generan en la etapa de flotación, Relaves. De acuerdo a datos publicados por diferentes autores, la cantidad de relaves (mezcla de sólidos y agua en relación 1:1 a 1:2) generados por cada ton Cobre fino recuperado fluctúa entre 80 a 90 Toneladas (Sutulov – Cochilco).

Datos publicados en anuario Sernageomin 2012, la producción de concentrados de Cobre fue cercano a los 2,6 millones de toneladas de Cobre fino, esto quiere decir entonces que sólo en el año 2012, se generaron cerca de 228,1 millones de toneladas de relaves.

**Ripios:** Dentro del tratamiento de los minerales oxidados de cobre, la etapa de lixiviación (pilas) es la mayor generadora de residuos sólidos. Los residuos generados en la etapa de lixiviación se denominan “Ripios”.

Según Víctor Conejero Trujillo (Metalurgia Extractiva, E-Learning), Cada tonelada de Cobre genera 200 toneladas de Ripios. [17]

De acuerdo con esto, y teniendo en cuenta los datos publicados por Sernageomin (Anuario 2012), se produjeron en Chile durante ese año poco mas de 2,6 millones de toneladas de cobre fino, esto significa que la cantidad de residuos (Ripios) generado fue superior a 527,8 millones de toneladas.

**Escorias:** La obtención de cobre vía procesos pirometalúrgicos tiene asociada una importante generación de escorias; se estima que la generación de escorias corresponde aproximadamente a 2,2 toneladas de escoria por tonelada de cobre blíster producido [18].

**Tabla 16: Proyección de la producción de cobre al año 2020, miles de toneladas**

Producto	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Concentrados	2.641	4.022	4.183	4.431	4.653	5.369	5.987	6.549	6.852
Cátodos	2.639	2.076	1.988	2.018	1.998	1.904	1.812	1.552	1.591
Total	5.280	6.098	6.171	6.449	6.651	7.273	7.799	8.101	8.443

Fuente: [19] Estudio de Cochilco

**Tabla 17: Proyección de la generación de residuos (Relaves, Ripios y Escorias) millones de toneladas**

Residuo	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Relaves	228,1	347,4	361,3	382,8	401,9	463,8	517,2	565,7	591,9
Ripios	527,8	415,2	397,6	403,6	399,6	380,8	362,4	310,4	318,2
Escorias	224,2								

Fuente: Datos obtenidos con base de cálculo Estudio de Cochilco.

#### 12.3.4- Presencia de Elementos de Interés en Residuos Mineros

##### Presencia Potencial

En Chile, se han realizado una serie de estudios y caracterizaciones de residuos que indican la presencia de sectores que presentan minerales portadores de tierras raras entre la II y IV región asociados principalmente a la ocurrencia de hierro y otros elementos de valor asociados a la producción de cobre oro, plata entre otros. Así por ejemplo lo demuestra el estudio geológico del proyecto [20] “Cerro Carmen” III Región, realizado por la comisión chilena de energía nuclear CCHEN, para ENAMI en el año 1995. En este estudio se advierte la presencia de uranio y tierras raras livianas.

Estudios recientes efectuados en la Universidad de Atacama con muestras obtenidas desde depósitos de ripios y tranques de relaves de diferentes Plantas de tratamiento de minerales de la Empresa Nacional de Minería – ENAMI, han mostrado que la abundancia total de tierras raras en

dichas muestras varía desde 100 a 250 ppm para los tranques de relaves y desde 100 a 600 ppm para los rípios, concentraciones que no son muy elevadas, pero que pueden ser compensadas por la densidad y la granulometría de las partículas presentes, así como, por el gran volumen de material existente en estos depósitos [21].

De igual modo en trabajos realizados en el Centro de Investigación Minero Metalúrgico CIMM, con residuos mineros, especialmente con relaves se ha advertido la presencia de elementos de valor como oro, plata, tierras raras, galio, germanio, cesio tantalio entre otros.

### Presencia Comprobada

La evidencia y cuantificación de la presencia de una serie de elementos de valor en diferentes residuos tales como Barros anódico, Escorias, Polvos de fundición, relaves y rípios se presentan en las siguientes tablas 18, 19, 20, 21, 22 y 23.

La tabla 18 muestra la caracterización química de barros anódicos de la división Codelco Alto Norte. Destacan los máximos contenidos de plata, cobre, arsénico, oro, antimonio y selenio.

**Tabla 18: Composición Química Barros Anódicos:**

Elemento	% Mínimo	% Máximo
Plata	8,94	40,44
Oro	0,09	0,89
Aluminio	0,01	1,40
Arsénico	0,70	14,98
Bismuto	0,04	2,00
Calcio	0,001	0,88
Cobre	0,23	15,17
Hierro	0,01	1,94
Magnesio	n/d	0,80
Níquel	n/d	0,41
Plomo	0,02	18,78
Antimonio	0,40	28,01
Selenio	4,10	17,27
Teluro	0,09	3,17

Fuente: [22], CODELCO, Barros anódicos, División Codelco Alto Norte.

La Tabla 19 muestra valores promedio de elementos contenidos en escorias procedentes de la fundición El Teniente de Codelco. Destacan los altos contenidos de hierro y silicatos, sin embargo también el contenido de cobre 1,1 % también resulta interesante.

**Tabla 19: Composición promedio de escorias de fundición.**

Elemento	Mínimo	Máximo
Cobre	0,8 %	1,1 %
Hierro	42 %	44 %
Azufre	0,5 %	1,2 %
Silicato	31 %	33 %
Aluminio	4 %	6 %
Arsénico	250 ppm	600 ppm
Antimonio	200 ppm	290 ppm
Plomo	260 ppm	300 ppm

Fuente: [23]. El Teniente, Fundición Caletones

Tabla 20 muestra un análisis típico de polvos de fundición. En este caso se trata de productos obtenidos de Xstrata Copper Chile S.A. Se observan altos contenidos de cobre, plomo, hierro pero también de azufre y arsénico.

**Tabla 20: Composición típica polvos de Fundición**

Elemento	%
Arsénico	3,4
Azufre	12,3
Bismuto	0,9
Cobre	21,0
Plomo	8,0
Hierro	6,0
Antimonio	0,2
Oxido de Sílice	5,8
Cadmio	0,74

Fuente: [24], Xstrata Copper Chile S.A.

Tabla 21 muestra la composición química de polvos de fundición de ENAMI, Proyecto PEPA, Planta de tratamiento de polvos de fundición. En este caso se observan interesantes contenidos de cobre, oro, plata y plomo. También se observan altos contenidos de azufre y arsénico.

**Tabla 21: Caracterización polvos de fundición**

Elemento	Composición
Cobre	9,3 %
Hierro	1,5 %
Azufre	11,75 %
Oro	4,8 g/T
Plata	196,4 g/T
Sílice	1,97 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,42 %
MgO	0,44 %
Arsénico	8,1 %
Plomo	20,47 %
Antimonio	0,32 %

Fuente: [25] ENAMI, Proyecto PEPA, Planta de tratamiento de polvos de fundición

Tabla 22 muestra la caracterización química de tres relaves seleccionados (El Soldado de Anglo América, Planta Vallenar de Enami y Collahuasi).

En la tabla 23, se muestra los resultados de análisis realizados a muestras provenientes de ripios de la empresa Cerro Negro.

**Tabla 22: Caracterización Química de Relaves**

Elemento	El Soldado Anglo América gr/Ton	Enami, Vallenar gr/Ton	Collahuasi gr/Ton
<b>Mg</b>	14.630	18880	13950
<b>Al</b>	72.260	41140	75330
<b>Si</b>	246.900	179000	274900
<b>P</b>	388,3	989	766
<b>S</b>	1.677	6206	7111
<b>Cl</b>	173.889	3053	5375
<b>K</b>	21.640	12830	29560
<b>Ca</b>	48.820	36540	11820
<b>Ti</b>	2.978	2018	107
<b>V</b>	135	203	51,3
<b>Cr</b>	64,6	70,6	979
<b>Mn</b>	1.899	1087	37660
<b>Fe</b>	40.580	114000	37660
<b>Co</b>	36,5	199	29,8
<b>Ni</b>	10,6	55,1	17
<b>Cu</b>	1.793	2439	3227
<b>Zn</b>	67,5	108,1	510,8
<b>Ga</b>	2,1	16,3	17,5
<b>Ge</b>	2,1	1,5	3,9
<b>As</b>	7,6	218,9	7
<b>Se</b>	0,7	0,7	1,7
<b>Br</b>	0,5	1,2	1,5
<b>Rb</b>	79,5	60,1	137
<b>Sr</b>	102,8	154,1	1138
<b>Y</b>	21,9	18,4	17,5
<b>Mo</b>	32	49	144
<b>Ag</b>	4,3	4,8	3,9
<b>Cd</b>	5,7	6,2	5,6
<b>Sn</b>	23,2	19,9	13,7
<b>Sb</b>	5,1	6,9	4,6
<b>Te</b>	8,6	7,7	6,7
<b>I</b>	15	14	12
<b>Ba</b>	414	759	348
<b>W</b>	5,8	22,2	52,3
<b>Hg</b>	1,9	4	2,3
<b>Tl</b>	1,8	2,9	1,8
<b>Pb</b>	7,5	61,6	23,9

<b>Bi</b>	1,6	2,5	2,6
<b>Th</b>	9,7	8,3	8,8
<b>U</b>	2,9	12,1	4,3

Fuente: [26]: Estudios realizados por R. Mallea CIMM

**Tabla 23: Caracterización de rípios de lixiviación**

Elemento	%
Cobre	0,27
Molibdeno	< 0.004
Hierro	5,16
Cinc	0,023
Plomo	0,03
Calcio	1,22
Sodio	0,52
Potasio	4,72
Magnesio	1,49
Manganeso	0,19
Arsénico	0,021
Antimonio	< 0.005
Silicio	27
Aluminio	6,25

Fuente: [27].Estudio realizado en el CIMM

### 12.3.5- Recuperación de Elementos de Valor Proyectos en Ejecución

#### Caso 1

Nombre: "Remediación ambiental depósito de relaves la Africana, Proyecto CONGO"  
Ubicación: Región Metropolitana, Comuna de Pudahuel cercana 10 km. de Santiago, Ruta 68  
Titular del proyecto: Nueva Pudahuel  
Monto de inversión: 7 mill. U\$D  
Elementos a recuperar: Cu  
Cantidad de relave: 2,5 mill.ton  
Capacidad de tratamiento: 830 Ton/día de relaves.

Ley de cobre del relave: 0,109 %  
Resolución de calificación Ambiental: Aprobado.

El proyecto denominado “Proyecto Congo”, considera tres módulos de operación: traslado de los relaves vía relave ducto desde Mina La Africana hasta Mina Lo Aguirre. Lixiviación de los relaves para extraer el cobre y cristalización del cobre como sulfato pentahidratado. La concentración de la solución de lixiviación previa a la cristalización prevé una etapa de extracción con solventes orgánicos.

Las pruebas metalúrgicas señalan recuperación de cobre entre 40 a 44 % y consumo de ácido de 20 a 24 kg H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> /ton de relave.

Las etapas de lixiviación y cristalización se realizarán en equipos de la antigua planta de Mina lo Aguirre.

La disposición final de los residuos, neutralizados y mejorados en estabilización química y física con la adición de material grueso, se realizará en un espacio confinado, como es el rajo Lo Aguirre.

Los dueños del proyecto buscan socios para explorar la posibilidad de recuperar otros elementos que se encuentren en los relaves.

## **Caso 2**

Nombre: “Tratamiento Fracción Gruesa Relaves Frescos en Planta de Tratamiento de residuos mineros”

Ubicación: VI Región del Libertador Bernardo O’Higgins, Provincia de Cachapoal al Sureste de la ciudad de Rancagua, en la ribera Sur del río Cachapoal,

Titular del proyecto: Ecometales Limited Agencia en Chile

Monto de inversión: 35 millones U\$D

Elementos a recuperar: Cu, Mo (concentrados)

Cantidad de relave: aprox. 360 millones ton relave seco (Tranque Cauquenes)

Capacidad de tratamiento: 182.000.- ton/día relave

Ley cobre en relave: 0,12 %

Resolución de calificación Ambiental: Aprobado

**Minera Valle Central** (MVC) propiedad de la Canadiense Amerigo Resources Ltd. es una empresa formada el año 1992, fecha en que formaliza un contrato por 20 años con Codelco Chile, con el propósito de recuperar cobre y molibdeno que contienen los relaves de los concentradores de la División El Teniente de Codelco Chile (DET). MVC, posee además los derechos para remover y procesar los relaves antiguos que la misma DET depositó en el embalse Colihues. MVC procesa actualmente 130.000 t/d de relaves frescos con ley de 0,12% de cobre total. La producción de MVC en el año 2012 fue de 23.500 ton de cobre fino y de 482 ton. de molibdeno.

El Proyecto “Tratamiento Fracción Gruesa Relaves Frescos en Planta de Tratamiento de residuos Mineros”, presentado en septiembre del 2012 a calificación ambiental, fue aprobado en abril del 2013, consiste en continuar con la recuperación de cobre y molibdeno aumentando el procesamiento a 182.000 t/día de relave, en la actual Planta de Tratamiento de Residuos Mineros (PTRM). Este aumento de tratamiento, incrementará la producción en 5.100 t/año de cobre fino y



270 ton/año de molibdeno. Para lograr estas metas se captarán 50.000 t/día adicionales de los relaves frescos. El proyecto no prevé la recuperación de otros elementos presentes en los relaves.

En julio de este año 2013, CODELCO y Amerigo Resources Ltd. han acordado prolongar el contrato de explotación de relaves hasta el año 2037.

### **Caso 3**

Nombre: "Lixiviación de relaves"

Ubicación: Minera Cerro Negro se localiza a 210 km. al noreste de Santiago, Comuna de Cabildo, Provincia de Petorca, Quinta Región de Chile.

Titular del proyecto: Compañía Minera Cerro Negro

Monto de inversión: 3,4 mill. U\$D

Elementos a recuperar: Cu - cátodo

Cantidad de relave: 5,5 mill.ton

Capacidad de tratamiento: 1.500 Ton/día de relave.

Ley de cobre del relave: 0,6 %

Resolución de calificación Ambiental: En trámite

Planta Minera Cerro Negro cuenta con líneas para el tratamiento de óxidos y sulfuro.

Tiene capacidad de 250 ton/mes de cátodos y 800 ton/mes de concentrado (19 % Cu).

Pruebas metalúrgicas de lixiviación de relaves, indican recuperaciones de 85 % de cobre. Lo cual significan cerca de 220 ton/mes de cátodos adicionales.

Los ejecutivos de Minera Cerro Negro han manifestado su interés en explorar la posibilidad de recuperar otros elementos de valor desde los relaves.

### **Caso 4**

Nombre: "Recuperación de hierro desde relaves"

Ubicación: III Región de Atacama, Provincia de Copiapó, Comuna de Tierra Amarilla, a 5 km de la ciudad de Tierra Amarilla y a 20 km al sureste de la ciudad de Copiapó

Titular del proyecto: Compañía Minera del Pacífico S.A., CAP

Monto de inversión: 65 mill. U\$D

Elementos a recuperar: Fe - Concentrado

Cantidad de relave: 5,5 mill.ton

Capacidad de tratamiento: 3,5 mill ton/a de relave.

Ley de Fe del relave: 10 % Magnetita

Resolución de calificación Aprobado:

El proyecto "Planta de Magnetita" tiene por objetivo producir concentrado de Hierro a partir del aprovechamiento de los excedentes de la concentración de Cobre, en adelante relaves, generados por Compañía Contractual Minera Candelaria (CCMC) en su proceso minero. El producto, Concentrado de Hierro o Pellet Feed, será exportado principalmente hacia el mercado Asiático.

Durante el año 2012 la producción de la Planta Magnetita procesó 25,7 mill de ton de relaves de la Compañía Minera la Candelaria, cuya ley de fierro magnético de 5,5 %. Adicionalmente, la planta

procesó 640 mil ton de finos de hierro, provenientes de terceros, además de 400 mil ton de rechazo provenientes de los Colorados.

De las casi 1,6 mill de ton de concentrado final que se embarcaron por puerto Punta Totoralillo, 1, millón 95mil, procedían de relaves frescos.

### **Caso 5**

Nombre: “Planta Recuperadora de Metales SpA”

Ubicación: Mejillones

Titular del proyecto: CODELCO

Monto de inversión: 80 mill. U\$D

Elementos a recuperar: cobre, oro, plata, paladio, platino, selenio, telurio

Capacidad de tratamiento: 4.000 ton/a de subproductos

Resolución de calificación Ambiental: En trámite

El objetivo del Proyecto es, recuperar el cobre y varios otros metales preciosos, contenidos en el precipitado de refinería y en los barros anódicos, provenientes de las instalaciones de fundición y refinería de la empresa y también de terceros. La capacidad de procesamiento prevista para la planta será de 4.000 toneladas anuales de dichos subproductos.

Para llevar adelante este Proyecto, Codelco ha desarrollado los estudios en conjunto con la empresa coreana LS-Nikko Copper Inc., que luego se incorporaría a la sociedad Planta Recuperadora de Metales SpA.

Las producciones de los metales dependerán, evidentemente de las leyes de los subproducto procesados, sin embargo se estima que en promedio se producirán las siguientes cantidades anuales: 5 toneladas de oro, 500 toneladas de plata; 150 kilogramos de paladio, 10 kilogramos de platino, 200 toneladas de selenio, 20 toneladas de telurio y 1.600 toneladas de sulfato de cobre. Las producciones indicadas denotan el alto potencial económico de este proyecto, con facturaciones anuales del orden de los 500 mill USD.

CODELCO, ha señalado que esperan una resolución positiva por parte de los Servicios de Evaluación Ambiental, SEA, a su Declaración de Impacto Ambiental. En tal caso planean iniciar la construcción de la planta en el primer trimestre del 2014 y la puesta en marcha para el año 2015.

## **Proyectos en Planificación**

### **Barros Anódicos:**

**Codelco** estudia desarrollar planta de metales nobles la cual permitiría recuperar oro, plata y selenio, entre otros metales, desde los barros anódicos que se generan en el proceso de refinación del cobre. En Santiago, 2 de junio de 2011.- Codelco firmó un memorándum de entendimiento con la empresa LS- Nikko Copper, la más importante compañía de metales no ferrosos de Corea, para estudiar la posible construcción de una planta de metales nobles. Dicha planta maquiladora tendría por objeto procesar los barros anódicos, que resultan del proceso de refinación de cobre, para recuperar el oro, plata y otros metales contenidos.

El acuerdo fue firmado en las oficinas de LS-Nikko en Seúl y ambas partes acordaron participar de la revisión conjunta de la viabilidad para el desarrollo de la planta maquiladora.

Si el estudio llega a resultados satisfactorios, la construcción de la planta maquiladora comenzaría en 2013 y LS- Nikko estaría encargada de su diseño y operación. La planta permitiría recuperar aproximadamente, cada año, 5 toneladas métricas de oro, 400 toneladas métricas de plata y 250 toneladas métricas de selenio contenidas en los barros anódicos de Codelco.

En esta asociación, la empresa coreana aporta tecnología de clase mundial en materia de fundición y Codelco los barros anódicos resultantes de sus procesos de refinación de cobre, parte de los cuales son exportados actualmente en forma no refinada.

### **Relaves:**

#### **Minera Valle Central:**

Minera Valle central de propiedad de la empresa canadiense AMERIGO RESOURCES Ltda. Empresa de la mediana minería, que tiene como propósito crear valor para sus accionistas, clientes, trabajadores y demás partes interesadas, posicionándose como una empresa líder en el tratamiento y procesamiento de relaves proveniente de procesos metalúrgicos, con una constante motivación para alcanzar niveles de excelencia en el cumplimiento y satisfacción de los requisitos de sus clientes.

La empresa recupera Cobre y Molibdeno de los relaves frescos provenientes de Codelco División el Teniente y además posee los derechos para remover y procesar los relaves antiguos que la misma depositó en el embalse Colihues.

En la actualidad Minera Valle Central procesa 130.000 t/d de relaves finos con una ley de 0,12% de cobre total, además está facultada para extraer los relaves antiguos que han sido depositados en el embalse Colihues entre los años 1977y 1987, la que poseen leyes del orden de 0,23% de cobre total.

### **Compañía Minera Cerro Negro:**

Cía. Minera Cerro Negro, Sociedad anónima cerrada, conformada por sociedades de inversiones Cabildo S.A (49%) y Compañía Los Ángeles S.A. (51%). La empresa cuenta con una capacidad de 7.800 de cobre fino al año. Dentro de los planes que maneja la minera está el tratamiento de sus relaves. La compañía cuenta con tres antiguos tranques de la planta de sulfuros que contienen un total de 3.400.000 ton de relaves con una ley media de 0,54% de cobre. Dos de ellos tienen una cubicación de 2.2 millones de toneladas con un contenido de cobre soluble de 0,65%. La empresa está estudiando a nivel conceptual el tratamiento de los depósitos de los relaves mediante lixiviación por agitación. El cobre contenido en la solución resultante será recuperado aprovechando las instalaciones del área de óxidos para producir cátodos.

## **Otros (Estudios y Proyectos de Investigación)**

### **El Valor de los Relaves de Flotación**

De los pasivos generados por el procesamiento de los minerales de cobre, los relaves de flotación son los más voluminosos y aunque existen opciones de recuperar valores metálicos contenidos, el volumen final tendrá siempre como destino la disposición en un tranque o botadero.

En el documento “Valoración de pasivos mineros de la gran minería del cobre en Chile”, Sánchez

indica que “en la etapa de flotación, el concentrado que se obtiene representa entre un 1,5% y 3% de la masa del mineral inicial y el resto se transforma en relave que debe ser descartado”.

Una de las iniciativas de tratamiento de relaves es la implementada por CAP Minería en el proyecto Hierro Atacama Fase I. Este proceso es capaz de recuperar el contenido de fierro presente en los relaves frescos provenientes de la minería de cobre con el fin de producir un concentrado llamado “pellet feed”, en la planta Magnetita.

Ernesto Escobar, gerente de Asuntos Corporativos del grupo CAP, dice que “la obtención de concentrado de fierro desde relaves de cobre es el resultado de un largo proceso de investigación efectuado por ingenieros y técnicos de CAP Minería, con la colaboración de la Compañía Contractual Minera Candelaria (CCMC)”.

El proyecto Hierro Atacama Fase I es operado por Minera Hierro Atacama, empresa filial de CAP Minería, con capacidad para producir tres millones de toneladas de pellet feed al año, que se exporta a clientes asiáticos, principalmente de China.

Durante 2012 la planta Magnetita comenzó a ser alimentada también con rechazos de la explotación de la mina Los Colorados, propiedad de CAP Minería, los que son pre-concentrados en su origen antes de ser transportados a Tierra Amarilla. De igual forma, se estudia la posibilidad de procesar otros materiales, de propiedad de terceros, con contenido de fierro posible de recuperar, lo que permitirá llevar la operación de esta unidad al máximo de su capacidad de diseño.

### **Aprovechamiento de Escorias de Fundición.**

En los procesos de fusión y conversión de los concentrados de cobre se generan cerca de dos toneladas de escorias por cada tonelada de cobre producido. Si a esta cifra le incorporamos la producción de las siete fundiciones que se encuentran en el país, Sánchez estima que la generación de escoria alcanza los 3,2 millones de toneladas al año.

El informe sobre valorización de pasivos mineros detalla que estos elementos son tratados previo a su descarte para recuperar el cobre atrapado mediante un proceso pirometalúrgico de limpieza de escorias o mediante concentración del cobre por flotación. “Por cualquiera de las dos vías se genera una escoria de descarte que contiene entre 0,6 a 0,8% de Cu y que representa entre el 85% y 90% de la masa total de escoria”, indica.

Además, de acuerdo con análisis realizados en la División de Chuquicamata, las escorias contienen sobre 40% de hierro y algunos otros metales como molibdeno y zinc, que pueden estar presentes en los concentrados de cobre que se funden. El académico de la Universidad Andrés Bello cuenta que, producto de la valorización de las escorias, Codelco se convirtió en la primera minera del país en licitar un pasivo minero y “a raíz de ello le puso precio a estos desechos”.

### **Gases de Fundición.**

Uno de los pasivos emblemáticos y que actualmente es considerado como un activo son los gases de fundición. Las fundiciones son causantes de la generación del dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), un gas considerado como tóxico, ya que produce lluvias ácidas.

Debido a las consecuencias que producían los gases de fundición en el entorno y a nuevas normativas ambientales establecidas en la década de los '90, las fundiciones debieron instalar plantas de ácido para abatir el SO<sub>2</sub>.

Sánchez precisa que esta tecnología permitió niveles de captura sobre el 70% y que, debido a este nuevo escenario, se dispuso de ácido sulfúrico a bajo costo, permitiendo el desarrollo de la hidrometalurgia en los procesos mineros.

“Actualmente el ácido sulfúrico es un commodity y tiene un valor, con todos los altos y bajos que puede tener en el mercado, pero le otorga un valor a los productos de la empresa minera” enfatiza el académico.

### **Escorias:**

#### **Revisión de los Usos de las Escorias de Cobre”, Instituto Tecnológico de la Universidad de Atacama, Chile:**

Los estudios más reciente que se presentan en la literatura están enfocados a la reutilización de las escorias como una material que reemplace al cemento portlant y en este sentido, los resultados que se han informado, ratifican que algunas escorias de cobre poseen propiedades cementosas y pueden considerarse materiales alternativos al cemento. En esta ponencia, el estudio realizado por los autores aporta resultados comparativos de la resistencia a la compresión de hormigones

fabricados con áridos de escorias de cobre de fundición Hernán Videla Lira (Paipote) versus un hormigón con áridos convencionales de río. Los resultados alcanzados son alentadores, observándose que a los 28 días de edad, la resistencia a la compresión del hormigón con escoria de cobre fue el 34% mayor que en el hormigón convencional.

**Codeco:**

Codeco, División Potrerillos tiene en su inventario de escorias de descarte, que en promedio tiene una concentración de 1% de cobre. El material está siendo tratado metalúrgicamente en la planta "Los amarillos", pero para poder realizar el proceso se requiere tener una granulometría más fina.

El material será tratado en la planta recuperadora de relaves Los amarillos, que aumentó su infraestructura para incorporar este material al proceso. De esta manera, se procesarán 700 toneladas por día. La puesta en marcha de este proyecto tiene como objetivo incrementar la producción de la planta los amarillos, además de permitir evaluar otras alternativas de tratamiento de las escorias en la planta concentradora.

### **13- Informe de Evaluación de Resultados de las Caracterizaciones 1° Selección**

**Proyecto:** Identificar Elementos de Valor en Residuos Mineros (relaves) y Evaluar su Recuperación como Productos Comerciales

**Código:** 13BPC3-19021

**Etapas 1:** Desarrollo del Bien

**Actividad 7:** Análisis y Evaluación de los Resultados de las Caracterizaciones, Informe de Resultados 1° Selección

**Hito:** Informe de Evaluación de Resultados Caracterizaciones

**Fecha:** Julio 2014



## **1 Introducción:**

El presente documento contiene la evaluación de los resultados de las caracterizaciones de los relaves muestreados en la actividad 5 del Proyecto.

En este documento se realizará una evaluación de los resultados de los elementos relevantes encontrados o presentes por empresa.

## **2 Implementación**

### **Selección de Relaves para la Visión General del Muestreo**

Como se describe en la introducción, se utilizó el catastro del SERNAGEOMIN para obtener información sobre las distintas características relevantes de los relaves tales como tamaño, propiedad, antigüedad, contenidos de metales, posible mineralización de metales raros y/o materias primas críticas y la propiedad del relave, o para obtener información adicional sobre los relaves que aparezcan más interesantes.

Esto resultó ser en la práctica mucho más problemático de lo previsto anteriormente, por lo que, incluso después de varios meses de investigación, la información particular sobre tonelaje y niveles potenciales de contenidos fueron insuficientes y en muchos casos sigue siendo hasta hoy poco clara la situación jurídica de propiedad del objeto examinado. Por lo tanto, el equipo del Proyecto, atendiendo la buena cooperación existente con ENAMI decidió muestrear y analizar cinco de sus plantas activas de tratamiento. Estas son Taltal, El Salado, Copiapó, Vallenar y Ovalle (Planta Delta). Además se agregó una planta más en Ovalle (Planta Panulcillo), que ha dejado de operar y se encuentra desarrollando un Plan de Cierre. A estas se agregaron Minera Carola, Planta Las Luces, Planta Bellavista. Junto con esto se muestrearon dos plantas de la pequeña minería Mina Santa Rosa y Planta Las Bombas. Mina Santa Rosa se encuentra al oeste de Inca de Oro y Planta Las Bombas al norte de Chañaral. Además en Chañaral se tomaron muestras de la playa contaminada con relaves de Salvador. Estos fueron analizados con el fin de tener una comparación con las grandes plantas industriales. El muestreo en este primer análisis se llevó a cabo en dos etapas.

La primera campaña tuvo lugar en Octubre de 2013. Parte de la campaña fue entre otras actividades la visita a plantas activas y previstas para reprocesamiento cerca de Santiago. La primera instalación visitada fue la Sociedad Minera Pudahuel. En esta faena está en curso desde el año 2000 un programa de cierre y remediación. Posteriormente, se visitó el relave de la mina La Africana. Los operadores se comprometieron a proporcionar material de prueba. Situación que nunca ocurrió. Con los operadores se conversaron conceptos de rehabilitación y recuperación de cobre a partir de a) los minerales de oxidados, como en el caso de Pudahuel y b) de relaves de la mina La Africana. Luego se visitó la Planta Matta de ENAMI en Copiapó.

La segunda campaña de muestreo se llevó a cabo en marzo y abril 2014. En esta campaña se visitaron los once relaves que ya han sido descritos en el punto, "**Selección de relaves para la**

**visión general del muestreo**". De acuerdo a lo que permitía la accesibilidad de los distintos relaves, se tomaron muestras. Los relaves fueron muestreados en dos o tres lugares predeterminados con perforaciones a una profundidad de hasta 2 metros. Se trató de poner una perforación cerca de la antigua descarga y otro en una posición distante a la descarga. Con esto se pretenden obtener muestras con diferente granulometría, ya que se supone una distribución granulométrica natural, desde la descarga hacia lugares más distantes de este punto. El talud del depósito de relaves, construido con el flujo inferior del hidrociclón, (fracción gruesa), también fue muestreado. Adicionalmente, se realizó un muestreo en el centro del tranque de relaves. Este punto de muestra se encuentra en el medio de una línea entre el punto de descarga y el punto de muestreo a distancia máxima. Los resultados promedios de los análisis geo-químicos de las muestras se presentan a continuación.

Promedios de Análisis Químicos Planta Bellavista

	SiO2	Al2O3	TiO2	Fe2O3	CaO	MgO	MnO	Na2O	K2O	P2O5	PPC	SO3	SUMA
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
SF-PB-1	55,57	10,71	0,22	14,90	4,59	2,54	0,20	0,81	4,36	0,14	3,24	0,82	98,10
SF-PB-2	48,72	11,34	0,16	9,91	8,34	2,22	0,26	1,82	3,38	0,17	6,14	2,24	94,70
SF-PB-3	48,28	9,55	0,01	13,87	7,73	2,45	0,27	0,61	4,04	0,11	5,25	2,72	94,89
SF-PB-4	50,63	14,54	0,38	2,85	11,02	1,97	0,17	5,97	0,52	0,15	7,33	1,16	96,69
SF-PB-6	43,32	12,35	0,48	5,04	15,14	1,91	0,30	4,52	0,66	0,15	10,35	1,64	95,86
Promedio	49,3	11,7	0,3	9,3	9,4	2,2	0,2	2,7	2,6	0,1	6,5	1,7	

	Cu	V	Cr	Co	Ni	Zn	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Ba	Pb	Sc
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
SF-PB-1	3242,57	238,40	54,15	127,56	13,90	1112,70	52,52	242,10	11,13	345,78	4,50	9817,00	267,52	16,75
SF-PB-2	9650,43	219,16	34,85	86,04	9,68	1068,40	52,42	990,87	13,06	264,41	4,50	22378,00	813,03	16,04
SF-PB-3	2059,39	231,80	41,24	118,22	12,11	658,20	52,53	995,10	10,67	222,79	4,50	49020,00	544,80	15,75
SF-PB-4	29216,00	111,64	14,69	13,44	5,85	113,76	23,30	173,20	11,55	240,46	4,50	384,40	474,20	13,44
SF-PB-6	36878,00	145,00	13,00	29,00	6,00	161,00	27,00	231,00	13,00	188,00	4,50	2526,00	617,00	16,00
Promedio	16209,3	189,2	31,6	74,9	9,5	622,8	41,6	526,5	11,9	252,3	4,5	16825,1	543,3	15,6

	Cs	Hf	Ta	Th	U
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
SF-PB-1	1,38	6,65	0,42	2,36	0,81
SF-PB-2	2,48	3,78	0,48	2,69	1,23
SF-PB-3	2,04	3,12	0,57	2,19	0,92
SF-PB-4	0,79	2,94	0,46	2,22	0,69
SF-PB-6	1,46	2,54	0,98	1,83	0,74
Promedio	1,6	3,8	0,6	2,3	0,9

	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	SUMA
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
SF-PB-1	9,23	21,65	2,66	10,98	2,66	1,66	2,44	0,36	2,05	0,44	1,18	0,18	1,16	0,19	56,84
SF-PB-2	13,5	27,44	3,28	13,47	3,13	3,13	3,1	0,42	2,37	0,52	1,39	0,21	1,35	0,22	73,53
SF-PB-3	12,59	22,9	2,77	11,39	2,74	5,85	2,86	0,34	1,87	0,4	1,08	0,16	1,04	0,17	66,16
SF-PB-4	9,04	20,4	2,44	10,09	2,45	0,83	2,29	0,36	2,15	0,48	1,33	0,21	1,38	0,23	53,68
SF-PB-6	9,93	20,53	2,58	10,78	2,81	1,16	2,72	0,42	2,54	0,56	1,54	0,23	1,5	0,23	57,53
Promedio	10,9	22,6	2,7	11,3	2,8	2,5	2,7	0,4	2,2	0,5	1,3	0,2	1,3	0,2	

	As	Mo	Sb	Sn	Ag	Cd	Bi	W	Se	Te	Ga	Ge
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
SF-PB-1	64,2	16,8	10,4	15,0	1,2	1,5	9,0	11,3	0,5	147,3	533,8	8,2
SF-PB-2	444,9	12,4	11,0	15,0	3,1	4,9	9,0	9,0	0,5	347,4	1177,6	5,7
SF-PB-3	132,7	4,5	9,5	15,0	2,8	2,9	9,0	9,0	0,5	779,6	2574,0	6,6
SF-PB-4	401,1	4,5	9,5	15,0	0,9	4,0	9,0	9,0	0,5	6,2	28,7	2,4
SF-PB-6	296,0	4,5	9,5	15,0	1,0	3,2	9,0	9,0	0,5	39,3	141,3	4,5
Promedio	267,8	8,5	10,0	15,0	1,8	3,3	9,0	9,5	0,5	264,0	891,1	5,5

Promedios de Análisis Químicos Planta Delta Ovalle ENAMI

	SiO2	Al2O3	TiO2	Fe2O3	CaO	MgO	MnO	Na2O	K2O	P2O5	PPC	SO3	SUMA		
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)		
O-PD-1	57,02	15,62	0,68	8,6	3,38	3,03	0,15	5,63	2,64	0,23	1,98	0,6	99,56		
O-PD-2	56,04	16,24	0,69	9,29	3,28	3,63	0,16	5,71	2,46	0,22	1,82	0,26	99,80		
Promedio	56,5	15,9	0,7	8,9	3,3	3,3	0,2	5,7	2,6	0,2	1,9	0,4			
	Cu	V	Cr	Co	Ni	Zn	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Ba	Pb	Sc	
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	
O-PD-1	2150	133	13	41	5	50	49	93	32	276	6	286	17	22	
O-PD-2	2271	159	15	46	6	75	48	94	30	281	6	281	24	21	
Promedio	2210,5	146,0	14,0	43,5	5,5	62,5	48,5	93,5	31,0	278,5	6	283,5	20,5	21,5	
	Cs	Hf	Ta	Th	U										
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm										
O-PD-1	1,13	9,09	0,63	17,3	4,0										
O-PD-2	2,39	9,51	0,75	14,1	3,4										
Promedio	1,76	9,3	0,69	15,7	3,7										
	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	SUMA
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
O-PD-1	27,00	63,60	7,82	32,50	7,13	1,26	5,96	0,94	5,70	1,29	3,62	0,56	3,72	0,58	161,68
O-PD-2	25,90	61,90	7,65	31,60	7,00	1,26	5,77	0,91	5,42	1,21	3,39	0,52	3,48	0,54	156,55
Promedio	26,5	62,8	7,7	32,1	7,1	1,3	5,9	0,9	5,6	1,3	3,5	0,5	3,6	0,6	
	As	Mo	Sb	Sn	Ag	Cd	Bi	W	Se	Te	Ga	Ge			
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm			
O-PD-1	15	5	9	15	1	1	9	9	1	4	28	5			
O-PD-2	15	359	783	95	1	1	9	9	1	5	29	5			
Promedio	15,0	182,0	396,0	55,0	1,0	1,0	9,0	9,0	1,0	4,5	28,5	5,0			

Promedios de Análisis Químicos Planta Panulcillo Ovale

	SiO2 (%)	Al2O3 (%)	TiO2 (%)	Fe2O3 (%)	CaO (%)	MgO (%)	MnO (%)	Na2O (%)	K2O (%)	P2O5 (%)	PPC (%)	SO3 (%)	SUMA (%)
O-PO-1	38,43	5,99	0,39	43,02	6,18	1,29	0,16	1,48	0,9	0,13	0,10	0,44	98,51
O-PO-3	39,68	6,58	0,34	35,88	7,75	2,02	0,35	1,83	0,8	0,93	0,97	1,88	99,01
O-PO-4	44,75	8,13	0,34	22,11	12,83	2,81	0,41	1,26	1,71	1,54	3,34	0,43	99,66
O-PO-5	51,12	17,77	0,66	9,13	3,28	3,92	0,17	5,70	0,76	0,19	6,38	0,47	99,55
O-PO-6	50,07	10,94	0,47	13,22	9,05	2,9	0,27	3,05	1,30	0,83	6,50	0,54	99,14
O-PO-7	46,00	11,00	0	12,00	12,00	3,00	1,00	3,00	2,00	1,00	9,00	1,00	100
Promedio	45,01	10,07	0,37	22,56	8,52	2,66	0,39	2,72	1,25	0,77	4,38	0,79	

	Cu ppm	V ppm	Cr ppm	Co ppm	Ni ppm	Zn ppm	Rb ppm	Sr ppm	Y ppm	Zr ppm	Nb ppm	Ba ppm	Pb ppm	Sc ppm
O-PO-1	5495,2	130,5	1612,4	194,5	48,5	9158,0	18,9	218,9	13,2	71,6	4,5	1379,6	1292,6	11,0
O-PO-3	5678,6	255,0	416,0	159,9	35,4	6948,0	18,0	158,7	15,4	65,6	4,5	809,0	897,2	11,8
O-PO-4	2338,7	121,6	26,7	93,3	10,2	633,8	23,8	84,7	23,8	55,9	4,5	346,0	122,0	14,6
O-PO-5	4749,9	354,4	18,4	44,0	7,5	72,4	27,8	75,6	17,7	104,9	4,5	164,6	8,4	19,6
O-PO-6	6486,5	194,3	28,7	70,0	10,9	92,4	27,9	149,1	16,1	107,4	4,5	780,7	81,8	14,9
O-PO-7	8126,1	156,9	31,3	46,3	13,2	149,3	32,5	160,5	17,5	95,2	4,5	460,5	174,0	14,1
Promedio	5479,2	202,1	355,6	101,3	21,0	2842,3	24,8	141,3	17,3	83,4	4,5	656,7	429,3	14,3

	Cs ppm	Hf ppm	Ta ppm	Th ppm	U ppm
O-PO-1	2,0	4,3	0,6	4,4	3,7
O-PO-3	1,4	3,7	1,1	3,5	2,8
O-PO-4	0,6	2,5	0,4	2,4	3,7
O-PO-5	1,7	3,4	0,5	6	1,5
O-PO-6	1,0	3,9	0,6	3,2	2,8
O-PO-7	0,8	3,3	0,5	3,4	2,7
Promedio	1,25	3,52	0,62	3,82	2,87

	La ppm	Ce ppm	Pr ppm	Nd ppm	Sm ppm	Eu ppm	Gd ppm	Tb ppm	Dy ppm	Ho ppm	Er ppm	Tm ppm	Yb ppm	Lu ppm	SUMA ppm
O-PO-1	15,5	31,9	3,5	13,0	2,9	0,8	2,7	0,4	2,5	0,5	1,5	0,2	1,4	0,2	77,0
O-PO-3	21,1	46,1	5,3	20,5	4,1	0,8	3,5	0,5	2,9	0,6	1,7	0,2	1,6	0,3	109,2
O-PO-4	62,9	77,2	6,5	21,4	4,2	2,5	4,4	0,7	4	0,9	2,6	0,4	2,5	0,4	190,6
O-PO-5	10,8	27,3	3,6	15,1	3,8	1,2	3,4	0,5	3,1	0,7	2,0	0,3	2,1	0,3	74,2
O-PO-6	17,3	36,4	4,6	19,1	4,1	1,1	3,5	0,5	2,8	0,6	1,7	0,2	1,6	0,2	93,7
O-PO-7	19,1	38,2	4,9	19,9	4,2	1,1	3,6	0,5	2,9	0,6	1,7	0,2	1,6	0,2	98,7
Promedio	24,5	42,9	4,7	18,2	3,9	1,3	3,5	0,5	3,0	0,7	1,9	0,3	1,8	0,3	

	As ppm	Mo ppm	Sb ppm	Sn ppm	Ag ppm	Cd ppm	Bi ppm	W ppm	Se ppm	Te ppm	Ga ppm	Ge ppm
O-PO-1	910,6	467,4	395,4	45,3	2,4	1,9	9,0	13,0	0,5	20,6	75,4	20,7
O-PO-3	616,9	9,5	9,0	15,0	2,2	2,6	9,0	9,0	0,5	13,0	48,6	18,5
O-PO-4	15,0	4,5	9,0	15,0	1,7	1,5	9,0	9,0	0,5	5,5	22,4	10,7
O-PO-5	15,0	9,4	28,7	15,0	1,6	0,5	9,0	9,0	0,5	2,6	23,9	4,3
O-PO-6	54,4	5,8	31,6	15,0	2,1	0,6	9,0	9,0	0,5	12,6	47,2	7,6
O-PO-7	76,1	4,5	20,9	15,0	2,4	0,8	9,0	9,0	0,5	7,5	29,2	6,0
Promedio	281,3	83,5	82,4	20,1	2,1	1,3	9,0	9,7	0,5	10,3	41,1	11,3

Promedios de Análisis Químicos Planta Vallenar

	SiO2	Al2O3	TiO2	Fe2O3	CaO	MgO	MnO	Na2O	K2O	P2O5	PPC	SO3	SUMA
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
V-PV-1	40,2	10,8	0,5	21,4	9,4	4,7	0,2	1,4	3,3	0,3	7,2	0,2	99,6
V-PV-2	41,0	10,5	0,5	15,6	12,5	4,8	0,3	1,1	2,9	0,3	9,6	0,3	99,4
V-PV-3	43,2	8,5	0,4	20,6	10,9	4,8	0,3	1,1	1	0,3	7,9	0,1	99,1
V-PV-4	42,4	8,3	0,4	16,7	15,7	5,5	0,3	0,6	0,7	0,3	7,4	0,7	99,0
Promedio	41,7	9,5	0,5	18,6	12,1	5,0	0,3	1,1	2,0	0,3	8,0	0,3	

	Cu	V	Cr	Co	Ni	Zn	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Ba	Pb	Sc
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
V-PV-1	2886,9	221,0	35,9	91,0	52,6	304,2	48,3	132,2	13,5	226,1	4,5	1306,7	49,0	18,5
V-PV-2	4154,8	166,3	38,7	59,9	49,3	226,0	51,1	153,6	15,0	159,4	4,5	1179,4	58,1	19,0
V-PV-3	5900,7	164,3	40,9	74,2	52,5	253,6	52,6	151,4	15,0	151,4	4,5	1192,4	44,4	19,8
V-PV-4	4642,1	197,3	32,1	83,4	45,2	136,4	24,7	221,6	19,7	206,3	4,5	287,0	85,9	15,1
Promedio	4396,1	187,2	36,9	77,1	49,9	230,1	44,2	164,7	15,8	185,8	4,5	991,4	59,4	18,1

	Cs	Hf	Ta	Th	U
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
V-PV-1	1,86	5,22	0,40	3,68	3,81
V-PV-2	2,00	3,82	0,30	3,63	5,39
V-PV-3	1,73	4,66	0,24	1,13	2,14
V-PV-4	1,28	3,64	0,27	1,56	2,72
Promedio	1,72	4,34	0,30	2,50	3,52

	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	SUMA
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
V-PV-1	172,65	281,9	23,3	59,8	7,1	1,5	5,3	0,6	2,7	0,6	1,6	0,3	1,6	0,4	559,4
V-PV-2	82,73	147,8	13,1	33,8	5,5	1,3	4,3	0,6	2,9	0,7	1,7	0,3	1,7	0,3	296,7
V-PV-3	49,76	82,2	7,4	24,0	4,2	1,2	3,9	0,6	3,6	0,8	2,2	0,3	2,1	0,3	182,6
V-PV-4	31,08	54,1	5,4	18,9	3,7	1,1	3,4	0,5	3,1	0,7	1,9	0,3	1,8	0,3	126,3
Promedio	84,06	141,5	12,3	34,1	5,1	1,3	4,2	0,6	3,1	0,7	1,9	0,3	1,8	0,3	

	As	Mo	Sb	Sn	Ag	Cd	Bi	W	Se	Te	Ga	Ge
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
V-PV-1	35,3	7,6	14,6	15,0	4,0	0,7	9,0	9,0	0,5	18,2	70,8	11,3
V-PV-2	63,9	12,0	10,1	15,0	2,2	0,5	9,0	9,0	0,5	16,4	65,0	6,2
V-PV-3	1680,1	31,8	88,6	15,0	10,7	0,7	30,7	61,4	0,5	4,7	19,7	9,1
V-PV-4	594,1	12,4	40,7	15,0	1,7	0,5	9,0	15,1	0,5	3,3	17,8	8,2
Promedio	593,4	16,0	38,5	15,0	4,7	0,6	14,4	23,6	0,5	10,7	43,3	8,7

Promedios de Análisis Químicos Planta Las Bombas

	SiO2 (%)	Al2O3 (%)	TiO2 (%)	Fe2O3 (%)	CaO (%)	MgO (%)	MnO (%)	Na2O (%)	K2O (%)	P2O5 (%)	PPC (%)	SO3 (%)	SUMA (%)
LB-2	43,93	12,75	0,63	5,20	8,70	3,79	0,11	3,67	1,85	0,18	14,03	4,91	99,75

	Cu ppm	V ppm	Cr ppm	Co ppm	Ni ppm	Zn ppm	Rb ppm	Sr ppm	Y ppm	Zr ppm	Nb ppm	Ba ppm	Pb ppm	Sc ppm
LB-2	563	112	25	18	15	78	66	402	16	123	6	479	27	16

	Cs ppm	Hf ppm	Ta ppm	Th ppm	U ppm
LB-2	8,15	3,21	0,59	6,10	2,10

	La ppm	Ce ppm	Pr ppm	Nd ppm	Sm ppm	Eu ppm	Gd ppm	Tb ppm	Dy ppm	Ho ppm	Er ppm	Tm ppm	Yb ppm	Lu ppm	SUMA ppm
LB-2	20,5	45,6	5,2	19,9	4,31	1,08	3,69	0,57	3,28	0,69	1,85	0,27	1,79	0,26	108,99

	As ppm	Mo ppm	Sb ppm	Sn ppm	Ag ppm	Cd ppm	Bi ppm	W ppm	Se ppm	Te ppm	Ga ppm	Ge ppm
LB-2	22	48	9	18	1	1	9	9	1	7	31	3

Promedios de Análisis Químicos Planta Taltal ENAMI

	SiO2	Al2O3	TiO2	Fe2O3	CaO	MgO	MnO	Na2O	K2O	P2O5	PPC	SO3	SUMA
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
TT-PTT-1	25,7	5,2	0,4	53,3	4,2	4,1	0,1	2,4	1,2	0,7	1,6	0,5	99,4
TT-PTT-2	32,9	9,0	0,5	36,0	5,1	5,5	0,1	3,2	1,4	0,6	4,4	0,6	99,3
TT-PTT-3	30,3	9,5	0,4	30,3	4,5	6,8	0,1	7,5	1,1	0,5	7,1	1,4	99,5
Promedio	29,6	7,9	0,4	39,9	4,6	5,5	0,1	4,4	1,2	0,6	4,4	0,8	

	Cu	V	Cr	Co	Ni	Zn	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Ba	Pb	Sc
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
TT-PTT-1	2574,3	593,2	19,7	224,5	169,8	69,7	20,2	65,2	11,6	171,0	4,5	153,4	17,4	12,4
TT-PTT-2	4702,0	455,5	27,1	163,7	158,5	114,9	27,1	92,6	17,2	173,7	4,5	239,3	36,4	17,7
TT-PTT-3	3165,6	453,0	23,1	158,1	162,9	89,2	24,1	106,9	15,6	131,1	4,5	298,0	57,0	17,4
Promedio	3480,6	500,6	23,3	182,1	163,7	91,3	23,8	88,2	14,8	158,6	4,5	230,2	36,9	15,8

	Cs	Hf	Ta	Th	U
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
TT-PTT-1	0,85	3,85	0,27	3,13	2,58
TT-PTT-2	1,42	3,55	0,3	4,06	3,49
TT-PTT-3	1,32	3,14	0,27	4,23	2,81
Promedio	1,20	3,51	0,28	3,81	2,96

	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	SUMA
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
TT-PTT-1	34,11	56,72	5,14	17,17	3,06	0,58	2,78	0,39	2,19	0,47	1,30	0,19	1,26	0,20	125,56
TT-PTT-2	42,14	73,14	6,85	23,66	4,46	0,91	4,09	0,6	3,39	0,73	2,00	0,29	1,94	0,31	164,51
TT-PTT-3	35,38	61,74	5,90	20,59	4,07	0,86	3,73	0,55	3,13	0,67	1,82	0,27	1,77	0,28	140,76
Promedio	37,21	63,87	5,96	20,47	3,86	0,78	3,53	0,51	2,90	0,62	1,71	0,25	1,66	0,26	

	As	Mo	Sb	Sn	Ag	Cd	Bi	W	Se	Te	Ga	Ge
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
TT-PTT-1	24,4	86,6	9,0	15,0	1,3	0,5	9,0	13,4	0,5	2,4	32,8	23,3
TT-PTT-2	38,2	48,6	9,0	15,0	2,4	0,5	9,0	12,1	0,5	3,9	32,2	16,6
TT-PTT-3	163,6	41,4	9,0	15,0	3,2	0,5	9,0	9,0	0,5	5,5	32,9	18,8
Promedio	75,4	58,9	9,0	15,0	2,3	0,5	9,0	11,5	0,5	3,9	32,6	19,6



Promedios de Análisis Químicos Planta Las Luces, Taltal

	SiO2	Al2O3	TiO2	Fe2O3	CaO	MgO	MnO	Na2O	K2O	P2O5	PPC	SO3	SUMA		
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)		
LL-T1-1	47,55	12,04	1,74	12,24	5,61	4,95	0,11	7,52	0,88	0,42	5,99	0,2	99,25		
LL-T1-2	47,23	12,12	1,71	12,32	5,08	5,36	0,12	7,21	0,92	0,42	6,93	0,25	99,67		
LL-T2-1	49,64	13,00	2,05	11,52	5,30	4,23	0,30	5,49	1,41	0,41	5,62	0,18	99,15		
LL-T2-2	52,19	13,36	2,02	11,33	4,97	4,02	0,25	4,89	1,41	0,40	4,12	0,15	99,11		
Promedio	49,15	12,63	1,88	11,85	5,24	4,64	0,20	6,28	1,16	0,41	5,67	0,20			
	Cu	V	Cr	Co	Ni	Zn	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Ba	Pb	Sc	
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	
LL-T1-1	1445,49	398,90	30,86	54,91	17,37	42,01	30,32	86,71	35,5	225,22	5,12	145,66	49,48	32,49	
LL-T1-2	1759,89	380,20	31,05	55,38	15,33	43,59	31,26	104,29	41,43	253,60	5,82	144,01	60,54	34,33	
LL-T2-1	3919,47	351,70	30,28	48,22	14,47	173,48	36,10	165,25	36,53	271,60	10,25	256,10	47,75	29,75	
LL-T2-2	5745,75	370,00	29,46	50,52	14,83	158,95	35,70	150,95	37,55	282,50	9,81	252,00	63,84	29,77	
Promedio	3217,7	375,2	30,4	52,3	15,5	104,5	33,3	126,8	37,8	258,2	7,8	199,4	55,4	31,6	
	Cs	Hf	Ta	Th	U										
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm										
LL-T1-1	0,94	4,86	0,42	5,12	2,44										
LL-T1-2	0,64	6,50	0,38	6,40	2,28										
LL-T2-1	3,13	6,36	0,77	5,21	1,83										
LL-T2-2	2,32	6,72	0,73	7,17	2,55										
Promedio	1,76	6,11	0,58	5,98	2,28										
	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	SUMA
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
LL-T1-1	23,4	59,2	7,7	34,0	8,5	2,0	8,4	1,4	8,2	1,8	4,9	0,7	4,7	0,7	165,6
LL-T1-2	23,1	59,0	7,7	33,6	8,5	2,0	8,4	1,4	8,3	1,8	4,9	0,7	4,7	0,7	164,8
LL-T2-1	21,0	52,8	6,8	29,7	7,5	2,0	7,5	1,2	7,4	1,6	4,3	0,6	4,2	0,6	147,2
LL-T2-2	20,9	52,9	6,9	30,0	7,6	2,0	7,5	1,3	7,6	1,6	4,4	0,6	4,3	0,6	148,2
Promedio	22,1	56,0	7,3	31,8	8,0	2,0	8,0	1,3	7,9	1,7	4,6	0,7	4,5	0,7	
	As	Mo	Sb	Sn	Ag	Cd	Bi	W	Se	Te	Ga	Ge			
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm			
LL-T1-1	15,0	4,5	9,0	15,0	0,8	0,5	9,0	9,0	0,5	2,1	20,3	6,2			
LL-T1-2	15,0	4,5	9,0	15,0	0,8	0,5	9,0	9,0	0,5	2,2	21,0	6,5			
LL-T2-1	33,8	4,5	9,0	15,0	2,9	0,5	9,0	9,0	0,5	3,8	22,9	5,8			
LL-T2-2	34,5	4,5	9,0	15,0	3,4	0,5	9,0	9,0	0,5	3,7	22,3	5,9			
Promedio	24,6	4,5	9,0	15,0	2,0	0,5	9,0	9,0	0,5	3,0	21,6	6,1			

Promedios de Análisis Químicos Planta Matta, Copiapó

	SiO2	Al2O3	TiO2	Fe2O3	CaO	MgO	MnO	Na2O	K2O	P2O5	PPC	SO3	SUMA
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Co-PM-1	46,53	10,87	0,53	21,23	6,15	3,88	0,20	0,86	2,59	0,28	5,24	0,99	99,35
Co-PM-2	49,36	11,37	0,47	17,61	5,53	3,87	0,19	1,30	2,92	0,25	5,72	0,96	99,55
Co-PM-3	50,03	12,39	0,58	13,14	6,97	4,05	0,16	1,26	2,73	0,24	6,54	0,71	98,80
Promedio	48,64	11,54	0,53	17,33	6,22	3,93	0,18	1,14	2,75	0,26	5,83	0,89	

	Cu	V	Cr	Co	Ni	Zn	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Ba	Pb	Sc
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Co-PM-1	3156,7	117,4	27,2	61,7	28,5	171,6	39,2	56,9	15,3	196,4	4,5	566,0	75,7	11,3
Co-PM-2	2646,2	109,6	23,9	54,8	29,9	225,2	43,0	63,1	14,7	226,5	4,5	735,9	102,6	7,3
Co-PM-3	2267,2	123,8	32,0	45,9	31,1	122,2	50,6	148,2	15,1	236,2	4,5	573,2	18,2	4,8
Promedio	2690,0	116,9	27,7	54,1	29,8	173,0	44,3	89,4	15,0	219,7	4,5	625,0	65,5	7,8

	Cs	Hf	Ta	Th	U
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Co-PM-1	1,7	4,8	0,7	3,4	2,6
Co-PM-2	1,5	5,4	0,8	3,9	2,8
Co-PM-3	2,8	5,7	0,7	5	2,3
Promedio	2,0	5,3	0,7	4,1	2,6

	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	SUMA
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Co-PM-1	32,5	57,9	6,0	20,3	3,4	0,8	3,0	0,5	2,6	0,6	1,8	0,3	2,0	0,4	132,1
Co-PM-2	31,5	57,5	6,0	19,8	3,2	0,8	2,8	0,4	2,4	0,6	1,6	0,3	1,8	0,3	129,0
Co-PM-3	28,5	53,4	5,8	19,9	3,5	0,9	3,1	0,5	2,6	0,6	1,7	0,3	1,8	0,3	122,9
Promedio	30,8	56,3	5,9	20,0	3,4	0,8	3,0	0,5	2,5	0,6	1,7	0,3	1,9	0,3	

	As	Mo	Sb	Sn	Ag	Cd	Bi	W	Se	Te	Ga	Ge
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Co-PM-1	30,3	4,5	12,2	15,0	2,5	0,6	9,0	21,9	0,5	8,8	37,0	10,0
Co-PM-2	61,9	5,6	15,3	15,0	2,7	1,0	9,0	19,3	0,5	10,4	39,4	8,9
Co-PM-3	31,4	4,5	9,0	15,0	1,0	0,5	9,0	9,0	0,5	8,4	35,3	7,4
Promedio	41,2	4,9	12,2	15,0	2,1	0,7	9,0	16,7	0,5	9,2	37,2	8,8

Promedios de Análisis Químicos Planta Minera Carola

	SiO2	Al2O3	TiO2	Fe2O3	CaO	MgO	MnO	Na2O	K2O	P2O5	PPC	SO3	SUMA
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Carola Tran 1	44,5	12,5	0,5	20,2	4,1	6,3	0,2	0,8	4,4	0,2	5,1	0,5	99,3
Carola Tran 2	32,4	11,2	0,4	33,9	4,1	6,4	0,1	0,8	3,2	0,3	5,4	0,9	99,1
Carola Tran 3	36,4	11,5	0,4	26,6	5,0	7,3	0,2	0,6	3,9	0,3	5,8	1,6	99,6
Carola Tran N	37,4	12,0	0,4	28,4	3,2	6,4	0,2	1,0	4,2	0,3	4,6	0,8	98,9
Promedio	37,7	11,8	0,4	27,3	4,1	6,6	0,2	0,8	3,9	0,3	5,2	1,0	

	Cu	V	Cr	Co	Ni	Zn	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Ba	Pb	Sc
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Carola Tran 1	887,0	184,6	43,1	103,4	57,6	292,7	59,1	93,7	10,7	178,1	4,5	905,8	8,5	8,6
Carola Tran 2	7348,9	224,0	35,5	237,4	184,7	1883,4	40,4	83,6	10,5	185,8	4,5	657,4	55,3	4,5
Carola Tran 3	2161,5	206,3	42,7	107,4	73,9	752,7	50,0	98,7	10,7	163,7	4,5	850,3	29,9	10,6
Carola Tran N	1293,4	187,4	48,6	180,0	95,2	1073,6	51,7	118,9	10,0	214,3	4,5	989,6	63,8	14,7
Promedio	2922,7	200,6	42,5	157,1	102,9	1000,6	50,3	98,7	10,5	185,5	4,5	850,8	39,4	9,6

	Cs	Hf	Ta	Th	U
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Carola Tran 1	1,9	4,4	0,7	3,3	1,4
Carola Tran 2	1,2	4,4	0,7	4,4	1,3
Carola Tran 3	1,7	4,1	1,2	4,1	1,5
Carola Tran N	1,4	5,1	0,7	3,9	1,5
Promedio	1,6	4,5	0,8	3,9	1,4

	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	SUMA
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Carola Tran 1	104,3	181,1	14,7	34,5	4,1	0,8	3,3	0,4	1,8	0,4	1,2	0,2	1,3	0,2	348,3
Carola Tran 2	194,7	307,6	24,3	59,7	6,2	1,0	4,5	0,4	1,8	0,3	1,0	0,1	1,0	0,2	602,8
Carola Tran 3	138,0	229,6	18,4	45,0	5,1	0,9	3,9	0,4	1,8	0,4	1,1	0,1	1,2	0,2	446,1
Carola Tran N	269,9	434,1	33,6	85,4	8,1	1,3	5,6	0,5	1,9	0,4	1,1	0,1	1,1	0,2	843,3
Promedio	176,7	288,1	22,8	56,2	5,9	1,0	4,3	0,4	1,8	0,4	1,1	0,1	1,2	0,2	

	As	Mo	Sb	Sn	Ag	Cd	Bi	W	Se	Te	Ga	Ge
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Carola Tran 1	11,9	4,5	9,5	15,0	0,7	0,5	9,5	9,5	0,5	12,7	46,9	13,4
Carola Tran 2	28,9	4,5	14,5	15,0	2,4	4,0	9,5	11,8	1,5	9,9	39,6	16,4
Carola Tran 3	25,2	4,5	17,1	15,0	1,1	1,3	9,5	15,3	0,5	20,2	79,7	23,5
Carola Tran N	18,1	4,5	9,5	15,0	1,7	1,8	9,5	15,1	1,2	25,0	90,1	30,1
Promedio	21,0	4,5	12,7	15,0	1,5	1,9	9,5	12,9	0,9	17,0	64,1	20,9

Promedios de Análisis Químicos Planta Chañaral

	SiO2	Al2O3	TiO2	Fe2O3	CaO	MgO	MnO	Na2O	K2O	P2O5	PPC	SO3	SUMA		
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)		
Relaves Ch	64,82	16,1	0,63	1,95	0,82	0,69	0,01	3,37	3,17	0,19	6,03	1,11	98,89		
	Cu	V	Cr	Co	Ni	Zn	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Ba	Pb	Sc	
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	
Relaves Ch	1273	123	11	5	5	5	68	336	9	494	9	383	14	5	
	Cs	Hf	Ta	Th	U										
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm										
Relaves Ch	1,65	11,24	0,74	3,3	0,72										
	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	SUMA
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Relaves Ch	25,0	37,2	4,64	17,6	3,53	0,93	2,76	0,36	1,83	0,35	0,94	0,13	0,93	0,15	96,4
	As	Mo	Sb	Sn	Ag	Cd	Bi	W	Se	Te	Ga	Ge			
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm			
Relaves Ch	70	87	9	15	1	1	9	19	1	5	23	5			

Promedios de Análisis Químicos Planta El Salado

	SiO2	Al2O3	TiO2	Fe2O3	CaO	MgO	MnO	Na2O	K2O	P2O5	PPC	SO3	SUMA
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
El Salado Tr. 1	59,14	15,21	0,68	9,23	1,19	2,44	0,14	0,92	5,34	0,31	4,09	0,16	98,85
El Salado 4 Tr. 2	60,21	13,92	0,67	8,09	1,87	2,70	0,09	1,41	4,76	0,22	3,65	0,18	97,77

	Cu	V	Cr	Co	Ni	Zn	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Ba	Pb	Sc
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
El Salado Tr. 1	7712	213	29	34	31	185	148	96	30	458	7	804	31	5
El Salado 4 Tr. 2	16902	174	55	31	19	138	127	131	29	552	7	735	32	6

	Cs	Hf	Ta	Th	U
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
El Salado Tr. 1	2,30	10,51	0,80	8,7	10,33
El Salado 4 Tr. 2	1,85	12,43	0,88	7,6	7,07

	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	SUMA
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
El Salado Tr. 1	88,4	146,9	13,07	36,2	6,6	1,31	6,10	0,89	4,94	1,08	3,07	0,50	2,93	0,50	312,5
El Salado 4 Tr. 2	88,4	150,4	13,50	37,7	6,6	1,21	6,03	0,85	4,72	1,00	2,85	0,45	2,76	0,44	316,9

	As	Mo	Sb	Sn	Ag	Cd	Bi	W	Se	Te	Ga	Ge
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
El Salado Tr. 1	44	252	22	15	1	7	9	91	1	11	38	6
El Salado 4 Tr. 2	85	182	56	15	1	1	9	54	1	10	36	6

#### **14- Mesas de Trabajo Para la 2° Selección, Definición Residuos Objeto de Estudio**

**Proyecto:** Identificar elementos de valor en residuos mineros (relaves) y evaluar su recuperación como productos comerciales

**Código:** 13BPC3-19021

**Etapas:** Desarrollo del Bien

**Actividad 9:** Mesas de trabajo para la segunda selección, definición de 1 o 2 residuos que serán objeto de estudio

**Hito:** Definición de 4 relaves que serán objeto de estudio en mayor profundidad

**Fecha:** Septiembre 2014

## **Muestreo**

Utilizando los datos de las dos primeras campañas de muestreo se seleccionaron cuatro tranques de relaves para una investigación más profunda y detallada. Estos relaves objetos de nuevos estudios e investigaciones, fueron seleccionados en base a los contenidos de elementos de valor, el tamaño (tonelaje) y la accesibilidad de las instalaciones. Con la accesibilidad se quiere decir, entre otras cosas, si las Plantas procesadoras siguen activas (excluyendo para esta fase del proyecto), o se encuentran en fase de remediación ya exitosa (partes de Planta Panulcillo en Ovalle, así como el tranque 1 de Planta Matta cerca de Copiapó).

### **14.1- Los Objetos Seleccionados**

**Minera Carola:** El tranque de relaves 1 de Minera Carola contiene 25 millones de toneladas, es con mucho, el mejor objeto que se estudiará. Comparable sólo con los tranques de la planta Matta ENAMI en Copiapó. Aunque en la actualidad sigue recibiendo relaves, lo cual dificultaría su reprocesamiento.

Por otra parte, Minera Carola está planeando un nuevo tranque, mucho más grande, en el cual podría depositar material ya reciclado, desde antiguos tranques de relaves. El contenido de cobre es heterogéneo (0,1 a 0,7 %). La distribución de los contenidos de elementos de valor debe ser examinada más detalladamente. Interesante aparecen los contenidos de Fe, expresados como Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> de 20 y 34 %. El hierro está presente principalmente como magnetita, por lo que debería ser relativamente fácil de reciclar. En total en Minera Carola existen actualmente unos 30 millones de toneladas de relaves.

**Planta Bellavista:** Se encuentra al noroeste de San Felipe. En Planta Bellavista el contenido de cobre en los relaves fluctúa entre 0,2 – 0,4 %. Esto por sí solo no justificaría una mayor investigación, sin embargo en una capa de 50 cms. se han verificado altos valores de 2,3 % de cobre, lo que justifica de manera interesante una investigación más profunda.

**El Salado:** Las dos muestras de relaves de El Salado contienen 0,8 % y 1,7 % de Cu respectivamente. Más allá de algunos enriquecimientos en algunas capas, especialmente en Minera Clarita, estos valores son los más altos contenidos de cobre de todos los residuos analizados. Además, contienen una cantidad relativamente alta de molibdeno, 180 y 250 ppm. Estos altos contenidos de Mo encontrados, justificarían realizar una flotación selectiva de Mo.

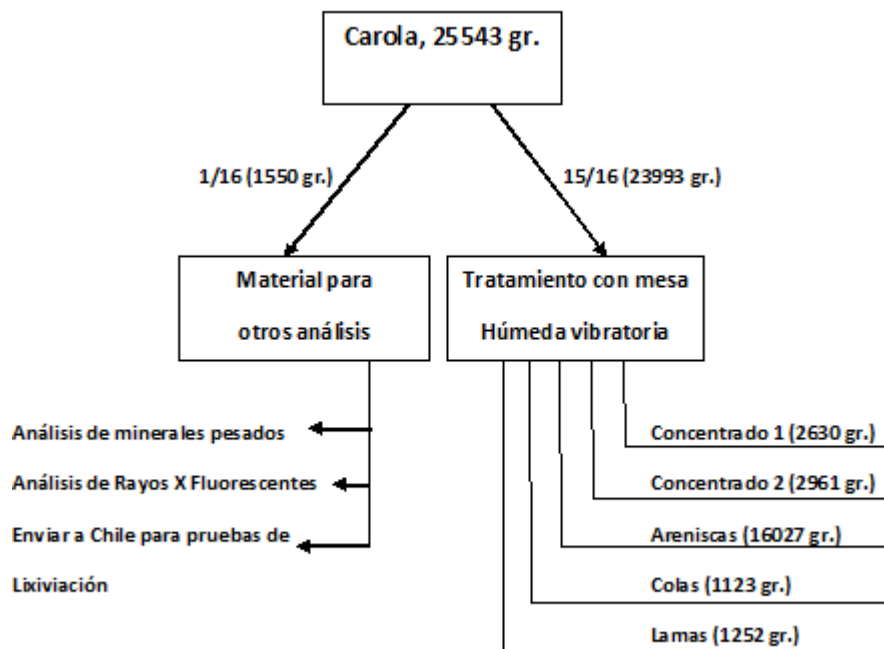
**Taltal:** El tranque de relaves de la planta ENAMI en Taltal muestra contenidos de Cu entre 0,3 – 0,6 %. Además, el contenido de Fe expresado como Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> va del 30 % a más del 50 %. El hierro

parece estar presente principalmente como magnetita y por lo tanto se asume que se podría recuperar con técnicas relativamente sencillas.

De estos cuatro relaves mencionados se tomaron muestras entre 20 – 25 kg. Estas muestras serán caracterizadas química y mineralógicamente, además de ser estudiadas más a fondo en la BGR y otras instituciones y empresas privadas tanto en Alemania como en Chile.

#### **14.2- Esquemas de Procesamiento**

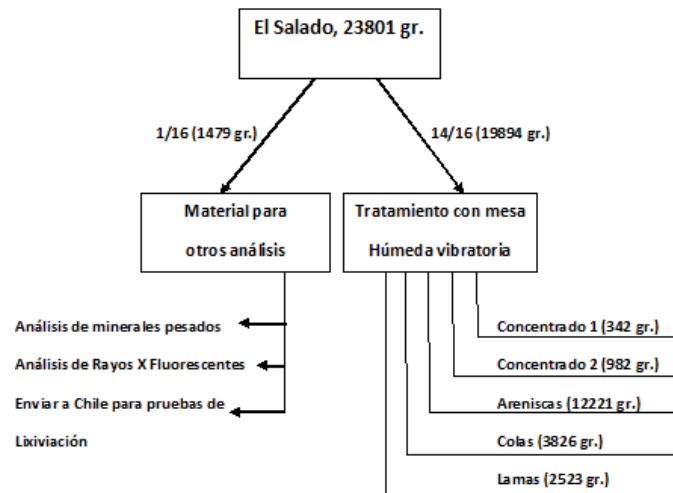
A continuación se muestran los esquemas de procesamiento de las cuatro muestras, de las cuales se obtuvieron entre 20 – 25 kg.



**Figura 6:** esquema de procesamiento del material de la muestra de Minera Carola. Debido al tamaño de grano se reportó como pérdida poco material en la fracción de lodo. En total hay 23 % de la muestra en los dos concentrados. El peso de la fracción de lodo se determinó indirectamente como la diferencia en peso de las fracciones producidas en la distribución granulométrica y la muestra inicial.



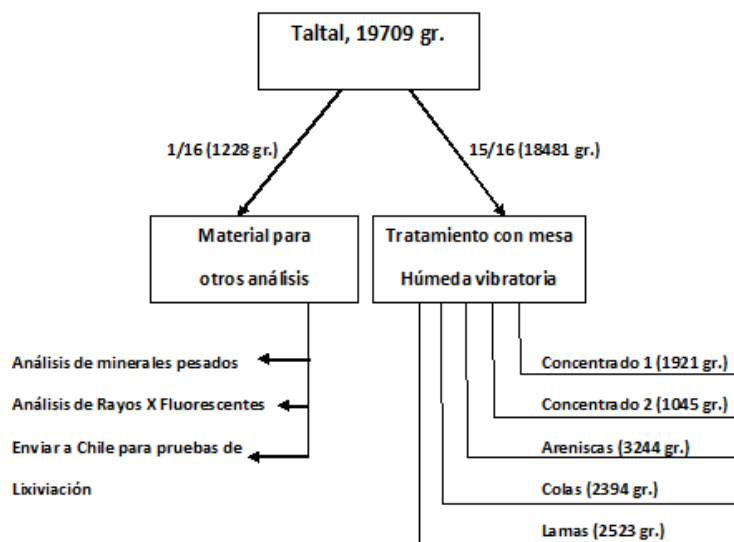
**Figura 7:** Esquema de Procesamiento del material de la muestra de El Salado

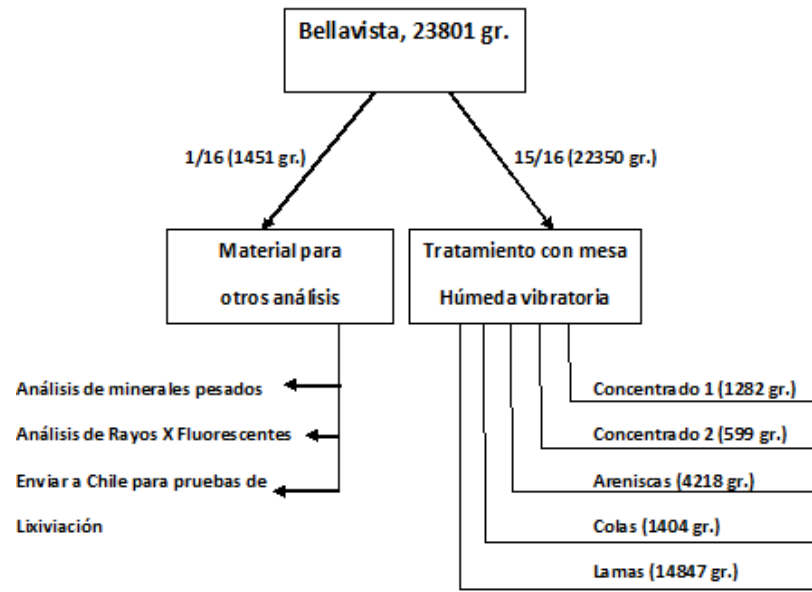


El material de la muestra tenía una cierta cantidad de humedad residual, por lo que tuvo que ser secado primero. Después del secado, el material fue dividido en un divisor de muestras acanalado. La mayoría, es decir, 15/16 de la muestra, se cargó y procesó en una mesa húmeda de vibración (a excepción de El Salado, donde solamente se cargó 7/8 de la muestra original). Del resto de las muestras se tomó una parte para análisis de minerales pesados, otra para separación en una fracción magnética y otra fracción no magnética. (Usando un imán manual). Luego la fracción no magnética fue sometida a pruebas de lixiviación.

En la BGR se realizaron pruebas para caracterizar el material. Lo primero fue realizar análisis de minerales pesados y después análisis geoquímicos con la RFA.

**Figura 8:** Esquema de Procesamiento del material de la muestra de Planta Taltal





**Figura 9:** Esquema de Procesamiento del material de la muestra de Planta Bellavista

### **14.3- Análisis de Minerales Pesados**

Por medio de un análisis de minerales pesados se ha sabido qué minerales pesados se encuentran presentes en las diversas muestras objeto de estudio. Se debía analizar que minerales se esperaban en la fracción > 63 micras. Debido a las características de la muestra de material, solamente las muestras de EL Salado y Minera Carola eran adecuadas para el análisis de minerales pesados. Las muestras de Planta Bellavista y desde Taltal eran demasiado finas.

Para el análisis de mineral pesado se ocupó una parte de la muestra total, 33,7 gr (Minera Carola) y 25,0 gr (El Salado), el que fue atacado por medio de una cámara divisora de muestra. Este material fue luego tamizado a mano, logrando una banda granulométrica entre 63 – 630 micras, dado que es necesario un tamaño de partícula mínimo para la determinación óptica de minerales, porque granos individuales extremadamente grandes, distorsionan las estadísticas. El material de Minera Carola era relativamente grueso, de modo que sólo 2,8 gr fueron < 63 micras. Lo mismo se aplica a El Salado. En esta muestra, solamente 0,7 gr fueron < 63 micras. Granos > 630 micras no fueron encontrados. Desde los restantes 30,9 gr y 24,3 gr se separó manualmente con un imán la magnetita (4,5 gr = 15 % muestra Carola y 0,3 gr = 1,2 % muestra El Salado). De la cantidad restante 26,4 gr y 24,0 gr se obtuvo un concentrado de mineral pesado, mediante diferencia de densidad, usando un líquido de densidad específica de 2,82 gr/cm<sup>3</sup> (polyvolframato de sodio). Del concentrado obtenido, 9,6 gr (36 %) de muestra Carola y 3,0 gr (13 %) de la muestra de El Salado, se preparó una parte para determinación óptica (briqueta pulida). Con los respectivos análisis, fueron examinadas por microscopía de luz 300 partículas (granos).

Los resultados se encuentran en la Tabla 24 y 25 tabla XX: cantidad de muestra utilizada en el análisis de minerales pesados

Tabla 24: cantidad de muestra utilizada en análisis de minerales pesados.

	<b>Minera Carola</b>	<b>El Salado</b>	
<b>Peso Total</b>	<b>33,7</b>	<b>25</b>	<b>gr</b>
<b>Peso para Separación por Densidad</b>	<b>26,4</b>	<b>24</b>	<b>gr</b>
	<b>78</b>	<b>96</b>	<b>%</b>
<b>Concentrado de Mineral Pesado</b>	<b>9,6</b>	<b>3</b>	<b>gr</b>
	<b>28</b>	<b>12</b>	<b>%</b>
<b>Magnetita No Utilizada</b>	<b>4,5</b>	<b>0,3</b>	<b>gr</b>
	<b>13</b>	<b>1</b>	<b>%</b>
<b>Fracción &lt; 63nm No Utilizada</b>	<b>2,8</b>	<b>0,7</b>	<b>gr</b>
	<b>8</b>	<b>3</b>	<b>%</b>

Tabla 25: composición mineralógica del mineral pesado. Para el análisis fueron ocupados 300 granos (partículas).

Mineral	Proporción en %	
Verde claro con adherencias	64	4
Cuarzo con adherencias	13	14
minerales opacos	13	7
rojo parduzco	6	8
Amarillo-Bräunl. (CuFeS-resistida)		50
Turquesa minutos (Cu-Si, CuO?)		7
Epidota		7
Staurolith		2
apatita		1
Carbonato	2	Trazas
turmalina	2	Trazas
circón		Trazas
casiterita	Trazas	
clorito		
	Trazas	

Incluyendo la magnetita, hay alrededor de 40 % de la muestra de Minera Carola que esta > 63 micras y tienen una densidad de > 2,82 gr/cm<sup>3</sup>. En la muestra de El Salado, estos son sólo el 13 %. Para muestras no analizadas de Planta Bellavista y Taltal se debe suponer que una gran parte de estas muestras, después del tratamiento en la mesa húmeda de vibración, se encontrarán en la fracción de sedimento. Los metales de valor que pueden estar presentes en este tamaño de partícula (< 40 micras), se perderían en gran parte debido a que es difícil enriquecer minerales por flotación o separación por gravedad que tienen un tamaño de partícula de este tipo. Esto podría hacerse por procesos de lixiviación.

## **Geoquímica**

La geoquímica del total de las muestras, la fracción de lodos de los relaves, de las areniscas y de las colas se llevó a cabo con RFA (análisis por difracción de rayos). Los concentrados, debido a la esperada alta concentración de cobre, se debieron tratar vía húmeda y por ICP-MS. Los resultados de los análisis del material en general, y de las diversas fracciones de la separación por gravedad con la mesa húmeda de vibratoria, se presentan a continuación.

### **14.4 Separación Gravitacional Mediante Mesa Húmeda Vibratoria**

El tratamiento de la mayoría de las muestras, vía mesa húmeda de vibración se realizó en la RWTH Aachen, en la planta piloto de la Sección de Materias Primas y Tecnología de Tratamientos de Residuos, del Profesor Wotruba. El flujo de agua y la inclinación de la mesa se ajustaron de manera que entregara una banda claramente visible, oscura de minerales pesados (concentrado 1 y 2) la cual se separa claramente de una banda brillante compuesta principalmente de cuarzo y feldespatos (areniscas). Sin una clara transición, se muestra la separación de harinillas de las colas, que no contiene prácticamente mineral pesado. Durante las pruebas en la mesa vibradora, se capturó como una fracción de grano más fino - lodos – la cual también fue analizada (sólo en las pruebas con material de la muestra de El Salado y Planta Bellavista). La porción en peso de los lodos en la muestra, se determinó indirectamente por la diferencia entre la alimentación a la mesa de agitación y el peso del resto de fracciones.

El concentrado se dividió en dos porciones debido a una diferencia poco visible en la apariencia de las bandas de minerales pesados sobre la mesa vibratoria. La separación de bandas de minerales pesados basado en la suposición de que un concentrado rico (1) se puede producir con la mayoría de los minerales de valor, así como un segundo concentrado (2) en el que los minerales pesados con valor inferior o minerales valiosos incrustados de valor secundarias (por ejemplo, cobre). Minerales de cobre secundarios forman a menudo una capa en la roca estéril. Además, el segundo concentrado también tendría una mayor proporción de cuarzo y feldespatos, porque no hay una buena selectividad de las areniscas.

Debido al grano relativamente grueso del relave Carola y El Salado podrían ser colocados directamente de una canaleta vibratoria a la mesa húmeda de vibración sin más tratamiento previo. El material de Planta Bellavista y Taltal, sin embargo, contienen significativamente más grano fino. Esto tuvo como consecuencia que después del secado del material inicial, en particular, el material con altos contenidos de arcilla, se aglomeraron en terrones de mayor tamaño. Debido a la gran superficie (filosilicatos) de los minerales de arcilla, solo fue posible volver parcialmente el material de nuevo a la condición de apelmazamiento original, mediante tratamiento mecánico. Por lo tanto,

las muestras de Planta Bellavista y Taltal fueron tratadas en un recipiente, con unos 100 litros de agua. El tiempo de agitación fue de media hora por muestra. El objetivo era desaglomerar los terrones formados. El material del recipiente fue sacado con pala continuamente, después de decantado el líquido sobrenadante. El material fue llevado a la mesa húmeda de vibración para someterlo a separación por gravedad. Después de la clasificación por densidad, las fracciones producidas se secaron. Los dos concentrados producidos se separaron en: una fracción ferro magnética (en adelante llamaremos magnético) y una fracción no ferro magnética. Esta separación se llevó a cabo, primero con ayuda del campo magnético permanente de un separador magnético Franz. Las dos fracciones no magnéticas (en el contexto más amplio denominado no magnético) contenían escasamente minerales magnéticos. La fracción magnética tuvo que ser tratada adicionalmente con un imán manual para mejorar la selectividad entre los minerales magnéticos y no magnéticos. Esta metodología se ha aplicado para, por una parte aumentar el contenido de cobre en la fracción no magnética, y para producir, por otro lado, un concentrado magnético, que pueda, dependiendo del contenido de hierro y contaminante (azufre, fósforo, titanio) ser vendido como concentrado de magnetita con el fin de, en un posible reprocesamiento no tener que ser depositado de nuevo. Esto contribuiría a una reducción del volumen de los sitios necesarios para depositar relaves, además que la venta de concentrados de magnetita generaría también ingresos. Dado que la magnetita obtenida sólo viene como un subproducto en cuestión, los análisis se centraron inicialmente en el contenido de cobre y se examinó sólo la fracción magnética de concentrado 1 de Taltal mineralógicamente (microscopio electrónico de barrido). Como era de esperar el contenido de Cu de los concentrados obtenidos a través del enriquecimiento con la mesa húmeda de vibración, sería significativamente mayor que la del material inicial ya que no fue posible realizar análisis por XRF. Por lo tanto, las fracciones magnéticas y no magnéticas de los concentrados 1 y 2 fueron atacadas y digeridas químicamente y medidas por ICP-MS. Los resultados se encuentran en la tabla 5. Los resultados completos de los análisis geoquímicos de cuatro relaves se pueden encontrar en el anexo 6.

Tabla 26: en esta tabla se muestran el contenido de cobre de las muestras iniciales en comparación con los concentrados magnético y no magnético. En la columna “% de la muestra”, se muestra la proporción de concentrados y subfracciones en relación al total de la muestra total. En la columna demás a la derecha se indica el contenido de cobre en las fracciones individuales en relación de la muestra total.

Basado en los contenidos de las muestras totales y los concentrados se observa que no ha habido aumento sustancial del contenido de cobre, con el tratamiento con la mesa húmeda de vibración, tanto de las muestras de Bellavista como las de Taltal. Observando el esquema de procesamiento de estas dos muestras, se observa que una gran proporción de estas muestras se ha ido a la

fracción del sedimento (66 % en Planta Bellavista, 53 % a Taltal). Esta fracción de grano fino es difícil de reciclar. En Minera Carola el 23 % de la muestra total fueron separados como concentrados. En éstos 23 % se reportaron el 69 % del cobre. En el concentrado 1 el factor de enriquecimiento del cobre es de 4, en el concentrado 2 ese factor alcanzó solamente 2. Mediante la separación de la fracción magnética y la no magnética (3/4 a 1/4 de la masa de concentrado 1 en Minera Carola) el cobre en la fracción no magnética aumenta en comparación con el material de partida, en un factor de 16 enriquecida (factor 6 en el concentrado 2). Matemáticamente, hay 13,4 gr de cobre en las fracciones no magnéticas de concentrados. Esto corresponde a una recuperación de 56 % del cobre total. Ya a simple vista se observa que se trata de un concentrado muy puro que contiene una alta proporción de sulfuros. Dado que el contenido de cobre es relativamente bajo, se puede suponer que el concentrado se compone principalmente de pirita y no de calcopirita.

Las fracciones magnéticas de los Concentrados 1 y 2 tienen un contenido de cobre extremadamente bajo (0,08 y 0,06 %). En caso que las diferentes fracciones magnéticas resulten en un concentrado de magnetita vendible, esto correspondería a una proporción en masa del material fino (barro) equivalente a 18 %. 30 millones de toneladas de relaves, corresponden a 5,4 millones de toneladas de concentrado de magnetita. El resto de magnetita en las fracciones de areniscas y las colas de los relaves son insignificantes.

Con la muestra de Planta Bellavista no fue posible conseguir un concentrado de cobre. Como consecuencia del pequeño tamaño del material, 2/3 del material se reportaron en los barros. Esto provocó incluso un contenido poco más alto de cobre que la muestra inicial (0,16 % Cu en el barro contra 0,14 % Cu en la muestra inicial, véase anexo 7), 3/4 de la de cobre total de la muestra, se perderían en la fracción de barro. En consecuencia, una concentración de cobre por medio de separación por gravedad, obviamente que no es posible.

El contenido en cobre de la muestra de El Salado fue, dentro de las cuatro muestras estudiadas con 0,44 % de Cu, el más alto. El material es relativamente grueso. Sólo el 11 % de la muestra inicial, se separó como fracción de barro en el que con ayuda de la mesa húmeda de vibración. Los concentrados de El Salado tienen, en comparación con las otras muestras, relativamente altos contenidos de cobre 2,4 % (concentrado 1) y 1,6 % (concentrado 2). La separación en fracciones magnéticas y no magnéticas podría aumentar el contenido de cobre de los concentrados 1 y 2, incluso a 3,9 % y 1,9 %. Sin embargo, el contenido restante de Cu, estaba en las fracciones magnéticas al revés de la fracción magnética de Minera Carola, siendo relativamente alta (1,16 % concentrado 1 y 0,48 % en concentrado 2), por lo que la separación como parte de un tratamiento industrial parece tener poco sentido. A pesar de los altos contenidos en los concentrados, sólo el 29 % del cobre total se acumulan en los concentrados. Las pérdidas de cobre en la clasificación mediante separación por gravedad son muy altas, con más del 60 % del cobre total. Por lo tanto, la clasificación por densidad de la muestra de El Salado se considera inadecuada.

Similar a Planta Bellavista resultó ser muy difícil, con el material de la muestra de Taltal, producir concentrados con un contenido alto de cobre, debido a que el material era muy fino. Sobre el 50 % del material eran granos muy pequeños y al tratarlos en la mesa vibratoria, se separan como fracción de lodo. En el Concentrado 1 no se logró en absoluto un efecto de concentración, en tanto que en el Concentrado 2 sólo se logró un ligero aumento en la concentración de cobre. La naturaleza de grano fino de la muestra está en contradicción con el material obtenido en la primera campaña de muestreo. Ese material era macroscópicamente más grande en comparación con la muestra a granel de Taltal y el contenido de óxido de hierro fue del 36 % y 53 % (media de los dos sondeos), también significativamente mayor que el tratado en la mesa vibrante con sólo 28 % Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Esto sugiere que el cuerpo del relave es heterogéneo en su estructura y su composición debe ser examinado más de cerca por sondajes.

#### **14.5 RDA (Análisis por Difracción de Rayos X)**

Para las fracciones magnéticas y no magnéticas de los dos concentrados se llevaron, previo a determinar la mineralogía, investigaciones RDA. En términos gruesos se han separados en principal - secundarios y componentes trazas. Como regla general se puede decir que los componentes principales están en el rango de decenas %, los componentes menores en el rango de una cifra de %, los componentes trazas se encuentran bajo el rango de menores %. Los resultados se presentan en el Apéndice 8.

Las fracciones magnéticas de Concentrado de 1 y 2 de las cuatro muestras originales, incluidas en la fracción principal y secundaria, no contienen ningún otro mineral, salvo magnetita. Sólo el concentrado 2 de Minera Clarita contiene en la fracción magnética, además de magnetita, adicionalmente cuarzo.

En Minera Carola aparecen en calidad de minerales trazas, cuarzo y pirita (Concentrado 1), así como cuarzo + hematita (Concentrado 2).

En Planta Bellavista se encuentran en la fracción magnética de concentrado 1, rastros de cuarzo, hematita y rutilo, en tanto que en Concentrado 2, se encuentran rastro de feldespato y clorito.

Magnetita y hematita + cuarzo se encuentran en las fracciones magnéticas del Concentrado 1 de El Salado, y trazas de hematita, fayalita y piroxeno en el Concentrado 2.

En Taltal se pueden encontrar en los dos concentrados, trazas de cuarzo y hematita. De los concentrados magnéticos existe hasta ahora, sólo para el Concentrado magnético 1 de Taltal una caracterización mineralógica. Debido a las restricciones de tiempo de este proyecto, no se podrá realizar un análisis más detallado.

Especialmente azufre, fósforo, aluminio, metales no ferrosos y SiO<sub>2</sub> son componentes indeseables en los minerales de hierro, razón por la cual son llevados a escorias y son perjudiciales para el medio ambiente y puede afectar negativamente a la calidad del acero. Los datos de RDA indican



que se pueden encontrar azufre en la pirita del Concentrado 1 de Minera Carola, pero que no se encontrarán concentraciones altas en ninguna de las fracciones magnéticas de estos elementos. Sin un análisis profundo de la composición química y mineralógica de los concentrados magnéticos, no se puede decir nada acerca de la comercialización de estos.

Los datos de la Tabla 27 muestran que la producción de un concentrado magnético, solamente es procedente de Minera Carola y Taltal. En el material de la muestra de Minera Carola hay 18 % de la masa total como magnetita. En tanto que en Taltal aproximadamente el 12 %. Considerando que la masa de los relaves en Minera Carola es de unos 30 millones de toneladas, se podrían producir allí alrededor de 5,4 millones de toneladas de concentrado de magnetita. En los relaves de Taltal se detectó una proporción significativamente más grande de magnetita en muestras de las investigaciones preliminares. Sin embargo, estos altos niveles no pudieron ser confirmados por la muestra a granel. Para dilucidar el punto será necesario realizar un muestreo más exhaustivo.

Tabla 27 masa y composición química de los concentrados magnéticos.

Material	Carola		Bellavista		El Salado		Taltal	
	[g]	%	[g]	%	[g]	%	[g]	%
<b>Muestra Total</b>	<b>23.993</b>		<b>22.350</b>		<b>19.89</b>		<b>18.481</b>	
<b>Concentrado 1 Magnético</b>	<b>2.027</b>	<b>8,4</b>	<b>642</b>	<b>2,9</b>	<b>147</b>	<b>0,7</b>	<b>1.669</b>	<b>9</b>
<b>Concentrado 2 Magnético</b>	<b>2.304</b>	<b>9,6</b>	<b>183</b>	<b>0,8</b>	<b>234</b>	<b>1,2</b>	<b>524</b>	<b>2,8</b>
<b>Suma Concent. Magnético 1 y 2</b>	<b>4.331</b>	<b>18</b>	<b>825</b>	<b>3,7</b>	<b>381</b>	<b>1,9</b>	<b>2.193</b>	<b>11,8</b>

Las fracciones no magnéticas de Minera Carola contienen pirita, hematita y trazas de calcopirita (Concentrado 1) y pirita y cuarzo, así como trazas de clorito, hornablenda, calcita y feldespato.

En el Concentrado 1 se ha logrado aparentemente producir un muy buen concentrado de mineral pesado. Pero, sin embargo, es probable que el contenido de cobre sea bajo dado que la pirita domina la muestra. Una separación de pirita y calcopirita mediante separación por gravedad o separación magnética, es poco probable que sea factible, de modo que sólo la flotación podría ser aplicable.

El tratamiento del material de Planta Bellavista con la mesa húmeda de vibración, resultó difícil de implementar debido a los altos contenidos de material fino, ya que una gran parte del material se pierde en la fracción de iodós. Los concentrados no magnéticos resultantes, están formados principalmente por cuarzo. Los minerales traza, en los dos Concentrados contienen, de acuerdo al

análisis RDA feldespato, clorito, ankerita, calcita, moscovita-illita. El Concentrado 1 contiene adicionalmente, como mineral traza pirita y en el Concentrado 2, hornblenda.

Con el material de Planta Bellavista no ha sido posible producir un concentrado con alto contenido de minerales pesados.

En el tratamiento de los relaves de El Salado los volúmenes de concentrados, como se esperaba tras el análisis de minerales pesados, eran sustancialmente menores que el material de Minera Carola. Los principales componentes de la fracción no magnética de Concentrado 1 son hematita y cuarzo, seguido por trazas de hornblenda, clorito, apatita y feldespato. El Concentrado no magnético 2 contiene como componentes principales cuarzo, seguido de hematita, micas feldespato y apatita.

Aunque en la muestra de El Salado, se midieron los más altos contenidos de cobre en la muestra total, no ha sido posible aquí probar mediante RDA la presencia de minerales de cobre en el concentrado. En los datos MLA más abajo, se observa que en contraste con Minera Carola no hay un mineral de cobre (calcopirita) que domine, sino que hay al menos cuatro minerales. Esto tiene como consecuencia de que las concentraciones individuales de minerales de cobre bajan, por lo tanto la detectabilidad de RDA disminuye.

El tratamiento con el material de la muestra de Taltal, señala que como consecuencia de la gran cantidad de material fino, el 50 % del material se reporta en los lodos. Los concentrados producidos contenían en el caso de la fracción no magnética de Concentrado 1 como componentes principales y secundarias cuarzo, pirita, hematita y hornblenda. Como trazas se detectaron apatita, feldespato y clorito. Exceptuando cuarzo, se encuentran en esta muestra solamente minerales pesados. El Concentrado no magnético 2 tiene cuarzo y hornblenda como componentes principales y trazas de mica, feldespato y calcita como componentes secundarios.

Con la ayuda de RDA, fue posible detectar un solo mineral en la fracción no magnética de Concentrado 1 de Minera Carola. La calidad de los concentrados parece, visto desde el contenido de especies minerales, que contiene pocos metales valiosos. Nuevas investigaciones utilizando el  $\mu$ RFA y MLA proporcionarán una mejor visión en cuanto a las menas minerales.

**14.6-  $\mu$ RFA** (Análisis de fluorescencia de rayos X con una placa de rayos X que tiene alta resolución espacial), por lo que puede analizar áreas muy pequeñas (alrededor de 20 micrómetros de diámetro)

Para investigar más detalladamente la mineralogía de las muestras individuales, se trabajaron un total de cinco fracciones de concentrado:

Minera Carola	Concentrado 1, No Magnético
Minera Clarita	Concentrado 1, No Magnético

El Salado	Concentrado 1, No Magnético
El Salado	Concentrado2, No Magnético
Taltal	Concnetrado1, Magnético

Mediante la confección de briquetas pulidas. Estas cinco muestras se analizaron con M4 Tornado Bruker en la BGR. Se trata en las investigaciones de análisis  $\mu$ RFA.

La resolución del haz de rayos X es de aproximadamente 20 micras. Usando este método, los minerales individuales podrían ser detectados en su composición. Con este método no se pueden realizar análisis cualitativo de mineral, sin embargo, el valor de importantes metales elementos trazas de minerales, podría ser mucho mejor analizada que el método RDA.

El análisis de las muestras de Minera Carola reveló que, además de mucha pirita, hay también calcopirita, como hemos visto, incluso en los análisis con RDA, así como también se ha reconocido esfalerita como los minerales metálicos que predominan. Además, aluminosilicatos, feldespato potásico, cuarzo y algunos óxidos de cobre y de hierro estaban presentes.

El análisis de la muestra de Planta Bellavista mostró poca evidencia de minerales metálicos de valor. Hubo algunos granos de calcopirita y también se detectaron algunos Cu-Fe-óxidos secundarios. Componente principal eran cuarzo y aluminosilicatos (por ejemplo, feldespato y mica). Los principales minerales de cobre en el Concentrado1 de El Salado fueron, de acuerdo a los análisis  $\mu$ RFA; calcopirita y óxidos de cobre. Los óxidos reportados indican una relación de Cu-Fe variable y fluctúa de 6:1 a 9:1 aproximadamente.

Otros minerales fueron la magnetita/hematita, cuarzo, pirita, calcita, feldespato y rutilo, así como trazas de scheelita.

En el Concentrado 2 de El Salado, el cobre se encuentra presente tal como en el Concentrado 1, esto es en forma de calcopirita y de Cu-oxidado con relativo alto contenido de hierro.

Sin embargo, los niveles eran mucho menos (marcadamente menos minerales que contiene Cu) significativamente más bajos. Además se encontró crisocola, que no había sido detectada en la briqueta pulida del primer concentrado. También apareció considerablemente más cuarzo e inversamente proporcional, menos minerales de hierro, lo que también ha sido esperado en el Concentrado 2.

En contraste con las otras cuatro muestras, se analizó la fracción magnética del primer concentrado en Taltal. Minerales de hierro dominaron la muestra. Sólo ocasionalmente se detectaron aluminosilicatos y cuarzo. Pirita aparece minerales de forma subordinados, minerales de cobre están casi totalmente ausentes.

#### **14.7- MLA (Análisis de Liberación de Minerales)**

Finalmente, con las mismas briquetas que se usaron para los análisis con el  $\mu$ RFA, se realizaron también análisis mineralógicos cualitativos con ayuda de un microscopio electrónico de barrido de la FEI Company, mediante análisis cualitativamente de Liberación Mineral (MLA). No sólo se estudió la mineralogía, sino también el tamaño de grano y el grado de interpenetración de los minerales.

La proporción de cada mineral individual se expresa en % de área. Debido a que los minerales se calculan automáticamente en función de la composición a través de la computadora, se debe ser cuidadoso con minerales de composición similar porque, dada la similitud en la evaluación podría dar lugar a errores. La evaluación ha sido optimizada para los minerales de mineral y no para silicatos. Así feldespato potásico y mica son difíciles de diferenciar. También una variedad de aluminosilicatos (granate, plagioclasa, cianita o similar) no se pueden mantener bien separados, de forma que es mejor la suma de los minerales parecidos, que los números absolutos de cada mineral.

En el caso de Minera Carola se aplica el ejemplo para “esfalerita” con 1,81 % y “esfalerita con Hife” (alto contenido de Hierro) con 0,38 % de área, que corresponde a 2,2 % juntos. Además, en fases minerales con una relación de área menos de 0,1 % se recomienda precaución.

Aquí pueden realizarse mediciones individuales de impurezas o mezclas pueden conducir a fases minerales calculados, que no están presentes en el material original.

Dado que para este proyecto los minerales metálicos son de mucho mayor interés que los silicatos, y que la evaluación está optimizado para los minerales de mineral, no serán considerados fases minerales de silicato por debajo del 0,1 %.

Dado que en el pulido de la briqueeta, sólo se refleja un corte en los minerales, se muestran como tendencia, menos incrustaciones de las que realmente, están presentes. Dado que para la mayoría de los granos no se corta el mayor nivel posible se ha reducido en la mayoría de los granos, las distribuciones de tamaño de partículas especificados desplazada hacia tamaños de grano más pequeños.

En el Concentrado No Magnético 1 de Minera Carola es la pirita con 70 %, con mucho, el mineral más abundante, seguido de un mineral de hierro (computacionalmente goetita, pero probablemente magnetita) con 6 %, aluminosilicatos (aproximadamente 5 %), la calcopirita (4 %), feldespato (3,7 %), cuarzo (2,6 %) y esfalerita (2,2 %). Solo el 1,5 % del área del mineral no se pudo asociar a minerales asociados almacenados en la composición. En total se midieron en esta muestra 262.496 granos, los cuales 255.615 granos pueden ser relacionados con una fase mineral. El 80 % de los granos medidos con la microsonda, tiene un tamaño de grano entre 40 y 200 micras. El tamaño medio de grano es de aproximadamente 85 micras. Se debe tener en cuenta que alrededor del 5 % del material de la muestra se quedó en el procesamiento con la mesa húmeda de

vibración, en la fracción de lodos. Aquí también podría haberse encontrado una cantidad de minerales pesados, que no han sido consignados o no se pueden visualizar.

Los tamaños promedio de granos de la esfalerita y la calcopirita son mayores que el promedio de los granos de la muestra total (85 micras) y está entre 150 – 170 micras. Las partículas más grandes llegan a 500 micras. En la calcopirita 40 % de los granos son más grandes que 200 micras. Al mismo tiempo, los minerales de cobre son poco menos de 50 % sin adhesión y 40 % son meramente fusionados con otra fase. Sólo alrededor del 10 % de granos de calcopirita se fusionan con dos o más otras fases minerales. Es importante señalar que las adhesiones, así como todas las demás mediciones sólo reflejan en una sección pulida de una capa del grano. Por tanto, el grado real de coalescencia debe ser un poco más alto que el que se muestra aquí. Sin embargo, bajo un microscopio de disección fue bien reconocido que la mayor parte del grano libre, por lo tanto existido sin adherencias.

El tamaño de grano de la esfalerita (clasificados por la microsonda como esfalerita y blenda Hife (con alto contenido de hierro) es algo más fino que el grano de la calcopirita, pero también significativamente más gruesa que el tamaño medio de grano de la muestra. Las adherencias son todavía algo menores que la calcopirita, más del 90 % de los granos de esfalerita están expuestos, o unidos sólo con una fase diferente. En la planta de tratamiento de Minera Carola la esfalerita no se recupera. El contenido de los relaves refleja el contenido del mineral original, dado entonces que el contenido original era demasiado bajo, no fue posible recuperar Zinc por flotación.

El contenido de cobre en esta muestra de relaves no es muy alta 0,1 % (en el muestreo inicial hubo dos muestras con 0,2 % y 0,7 % de Cu). Los minerales de cobre sin embargo, se encuentran liberados, o con pequeñas incrustaciones. Tal vez el tamaño medio de grano de los minerales de cobre libres, fue demasiado grande para ser flotado. Eso se debe tener en cuenta en un posible re-tratamiento por flotación. Lo mismo aplica para los granos de esfalerita.

Desde Minera Carola se podrá generar un concentrado de pirita con contenido de cobre. Aquí será interesante considerar si este concentrado es comercializable.

En las operaciones de bio-lixiviación se necesita azufre como alimento para las bacterias. Este podría estar disponible a través de la pirita. Además, un cierto porcentaje de cobre de estos concentrados, incluso si el mineral principal es calcopirita puede ser lixiviado. Si algún proyecto ha sido definido como proyecto para bio-lixiviación y el azufre disponible es demasiado bajo, esto podría ser solucionado añadiendo pirita en el concentrado.

30 millones de toneladas de relaves a razón de 2,5 % de masa total, generan 750.000 toneladas de concentrado con 12.000 toneladas de cobre contenido.

En Planta Bellavista se midieron 275.605 granos, de los cuales en 272.157 granos se encontraron minerales identificados. Sólo en el 0,15 % de la superficie de la muestra se encuentran fases minerales desconocidas. Debido al gran contenido de finos y a la mineralogía de la materia prima, no fue posible producir un buen concentrado de mineral pesado con el relave de Planta Bellavista.

Un representativo 50 % de la muestra son silicatos de aluminio (feldespato de potasio plagioclasa, granate, epidota, moscovita) y casi el 30 % de cuarzo. Pirita está presente al 4 %, calcopirita sólo el 0,3 %. Otros minerales de cobre no pudieron ser identificados. Esto coincide con los bajos contenidos de Cu, que se midieron por el ICP-MS en los concentrados.

El tamaño medio de grano del Concentrado No Magnético 1 es de 125 micras, sin embargo 2/3 de la muestra han ido a parar a la fracción de sedimento durante la clasificación por densidad. 80 % de la muestra tiene un tamaño de partícula de 45-300 micras. Además de los muy bajos contenidos de calcopirita, los granos existentes también tienen un tamaño más pequeño que los granos promedios que los otros minerales (80 micras en comparación con 125 micras).

Debido al bajo contenido de metales y el pequeño tamaño de grano de la muestra global, parece que un enriquecimiento gravimétrica o una concentración por flotación tienen poco sentido.

El análisis químico de los concentrados de Salado dio el más alto contenido de cobre de todos los concentrados analizados. Estos rondaron el 4 % para la fracción no magnética de Concentrado 1 y casi el 2 % para la fracción no magnética de Concentrado 2.

En el análisis de Concentrado 1 de El Salado se analizaron 403 110 granos, de los cuales se identificaron 357.340. Los minerales no identificados tienen una superficie de 4,5 %. Las fases principales de minerales identificadas con MLA, corresponde al 37 % como goetita (probablemente magnetita o hematita pero), seguido por diversos aluminosilicatos con 32 % y 12 % de cuarzo. La calcopirita es el mineral de cobre más abundante (2%). Los otros minerales de cobre son todos los minerales secundarios, como Cuprita (1,7 %), Atacamita (0,5 %), Brochantita (0,2 %) y Crisocola (0,1 %).

El tamaño medio de grano de todos los minerales es de aproximadamente 125 micras. La distribución del tamaño de partícula es ligeramente más estrecha con el mismo tamaño de partícula medio como en Planta Bellavista. Así que 90 % de los granos están entre 55 y 225 micras.

La calcopirita primaria tiene un poco menos de 200 micras, lo cual significa el tamaño medio de grano más grande de todos los minerales de cobre. Brochantita, Atacamita y Cuprita tienen tamaños de grano promedio de 80 a 100 micras y con 40 micras la Crisocola tiene el tamaño promedio más bajo de grano. Las adherencias de granos de calcopirita con otras fases minerales son similares a los de Minera Carola (40 % libre, 40 % con otra fase asociada). La distribución del tamaño de partícula es similar, por lo que es válida la misma conclusión, respecto a la presencia de grandes granos libres de calcopirita, no permitirían ser flotados.

Brochantita y Cuprita se encuentran en gran parte libres, por el contrario la Atacamita ha crecido en más del 50 % con otros minerales. Estas adhesiones son en su mayoría con Cuprita o minerales

desconocidos. Estos minerales desconocidos pueden ser igualmente minerales de cobre secundarios, cuya composición química no está presente en la base de datos de la computadora, por lo que no pueden ser claramente identificados y se clasifican como desconocido. Los minerales de cobre secundarios muy probablemente no serán tratados por flotación, estos son más adecuados para la lixiviación. Para la lixiviación no es tan importante si los minerales lixiviables han crecido, sino más bien la forma en que estos han crecido. Las partes componentes lixiviables no pueden ser encapsulados completamente por los minerales insolubles, ya que esto impediría el acceso de licor al componente lixiviable.

De la muestra no magnética del Concentrado 2 de El Salado, se midieron 373 735 granos, de los cuales 345 424 eran granos asociados de minerales conocidos. El área de minerales indeterminados es 2,4 % del total. Como era de esperar son minerales similares, como en el primer concentrado, pero con una menor proporción de minerales pesados. El cuarzo es, con 27 %, el mineral principal, seguido de goetita (magnetita/hematita) con 17 % y con 44 % aluminosilicatos. Con cuprita (1,1 %), calcopirita (0,5 %), Atacamita (0,3 %), Brochantita (0,2 %) y crisocola (0,1 %) se identifican cinco minerales de cobre, que corresponde en total a 2,2 por ciento del área de los granos, que se deben sumar al total de la superficie.

El tamaño medio de todos los granos es de 100 micras, algo menor que en el concentrado 1. La distribución de los granos no es tan pronunciada, así por ejemplo, los granos se encuentran en un 80 % entre 45 a 300 micras. Los granos de los minerales de cobre como calcopirita y crisocola, son muy parecidos, casi idénticos con los del concentrado (200 a 40 micras). El tamaño promedio de la cuprita, Brochantita y Atacamita es de 55 a 65 micras, sin embargo, más bajos que en el primer concentrado en el que se encuentran entre 80 y 100 micras.

Los minerales muestran fuertes adherencias (crisocola) o similares grados de liberación (cuprita, Atacamita, Brochantita) como en el Concentrado 1. La calcopirita sin embargo, se encuentran con un 60 % libre y 20 % simplemente granos crecidos minerales más libre que el 1. Concentrado (40 % y 40 %). La atacamita también se encuentra incrustada ya sea con cuprita o con un mineral desconocido.

Las propiedades de procesamiento del material del tranque de El Salado son realmente favorables. Las pérdidas por la fracción de los lodos en El Salado fue de 13 %, lo cual es relativamente baja (esto era de esperar ya que la muestra fue tomada en la pared del tranque constituido de grano grueso), también el contenido de cobre en los concentrados es relativamente alta. El problema de la separación por gravedad en El Salado es que, con sólo el 29 % del total de cobre, se considera baja. Una razón podría ser la formación de minerales secundarios, que pueden ser de grano muy fino (difíciles de enriquecer), o simplemente revisten otros minerales. Si está sólo como un revestimiento, aumentan la densidad total de granos y por lo tanto no puede ser enriquecido por gravimetría. Eso significa que llegan a los relaves y las areniscas de tratamiento. Del mismo modo, una flotación de minerales secundarios es difícil. Con un contenido de cobre de las areniscas (0,36

%) y residuos (0,27 %) en comparación con el 0,44 % de la materia prima, se puede suponer que una gran parte del cobre presente se encuentra como cobre secundario y no se puede recuperar por gravedad o flotación.

Del material proveniente de Taltal, se analizó la fracción magnética del Concentrado 1, ya que no hay acumulación de cobre en la fracción no magnética. La fracción magnética podría, sin embargo, debido al alto contenido de hierro de la materia prima, tener importancia comercial. En los análisis mineralógicos con el microscopio electrónico de barrido, se analizaron 398 004 granos, de los cuales 391 768 se destinaron a minerales específicos. Sólo el 1,2 % de las superficies mineral, no pudieron ser asociados a una fase mineral conocida. En esta muestra el 82 % del área se identifican como goetita (hematita/magnetita), otros 5,7 % son óxidos de Fe-Mn. El 12,5 % restante se distribuye entre otros en 7 % como aluminosilicatos y 2 % en cuarzo. Minerales que contienen azufre suman casi 1 % (0,8 % de pirita y 0,1 % de calcopirita y Apatita como mineral que contiene fósforo está presente con 0,4 %.

El tamaño medio de partícula es de 45 micras y el 80 % de los granos son > 20 micras < 100 micras. A pesar del alto contenido de finos, que se separó en el enriquecimiento con la mesa de vibración húmeda (50 %), el concentrado es todavía muy bien. Dado que la mayoría de la muestra se compone de minerales de hierro, la distribución del tamaño de partícula de los minerales de hierro es casi idéntica al tamaño total de partículas. Las incrustaciones de minerales de hierro con otros minerales son bajas.

#### **14.8- Informe de Separación Magnética**

Para el estudio se utilizaron muestras de las siguientes faenas mineras, a las cuales se les realizó una separación magnética en forma manual.

- Planta Taltal ENAMI
- Minera Carola
- Planta Salado ENAMI
- Planta Bellavista, San Felipe

Los materiales que fueron utilizados junto con las muestras ya descritas fueron un imán, guantes, regla plástica, mascarilla, frascos plásticos, papeles de diarios, plumones, una balanza, bolsas herméticas.

Por su parte el procedimiento de trabajo utilizado fue el siguiente: las muestras de los relaves descritos se pusieron sobre una superficie lisa, cubierta con una hoja de papel. Pequeñas fracciones de muestra se esparcieron por la superficie usando una regla para homogeneizar la muestra.



Luego se utilizó un imán, el cual en forma manual se hizo pasar por sobre la superficie de la muestra donde son atraídos los materiales magnéticos, los que son posteriormente depositados en un recipiente, generándose una fracción magnética y un residuo no magnético para cada muestra. Este proceso se realizó reiteradas veces, para asegurar que prácticamente la totalidad del material magnético fuera separado de la fracción no magnética.

Finalmente, se almacenaron el Concentrado Magnético (C.M.) y la Fracción No Magnética (R.N.M.). Tanto a la muestra inicial antes de la separación (M.I.), como a las muestras de C.M. y R.N.M. se les realizó caracterización química.

## **Resultados**

Tabla 28: Distribución másica de las Fracciones Magnéticas y No Magnét. por muestra, % en peso

<b>Muestra</b>	<b>Concentrado Magnético (%)</b>	<b>Fracción No Magnética (%)</b>
<b>Minera Carola</b>	<b>41,09</b>	<b>58,91</b>
<b>ENAMI Taltal</b>	<b>87,32</b>	<b>12,68</b>
<b>ENAMI El Salado</b>	<b>3,72</b>	<b>96,28</b>
<b>Planta Bellavista</b>	<b>19,86</b>	<b>80,14</b>

La tabla 28 muestra la distribución másica de las Fracciones Magnética y No Magnética de cada una de las muestras de relaves tratada. Se observa que la muestra de planta Taltal con un 87,32 % de material magnético es la mayor fracción magnética. Por el contrario la muestra de El Salado es que contiene el más bajo porcentaje de material magnético con sólo 3,72 %. En Minera Carola ambas fracciones están distribuidas relativamente similares.

Tabla 29: Presencia de diferentes elementos y compuestos en muestra Taltal

<b>Elemento</b>	<b>Recuperación en Fracción Magnética (%)</b>	<b>Recuperación en Fracción No Magnética (%)</b>
<b>SiO<sub>2</sub></b>	<b>87,6</b>	<b>12,4</b>
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>86,5</b>	<b>13,5</b>
<b>TiO<sub>2</sub></b>	<b>86,3</b>	<b>13,7</b>
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>91,2</b>	<b>8,8</b>
<b>Cu</b>	<b>84,9</b>	<b>15,1</b>
<b>V</b>	<b>91,5</b>	<b>8,5</b>
<b>Ni</b>	<b>89,4</b>	<b>10,6</b>
<b>Zn</b>	<b>80,0</b>	<b>20,0</b>

Como era de esperar la muestra de Taltal contiene un alto contenido de Fe expresado como Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, sobre 91 %. Ahora lo que sorprende es el alto contenido, sobre 80 %, de otros elementos y componentes tales como SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, Cu, V, Ni, Zn. Esta situación indica que con una alta probabilidad, estos elementos o varios de ellos se encuentran ocluidos o han cocristalizado con la magnetita y por lo tanto al ser expuestos a un imán son llevados a la fracción magnética. Esta situación es muy importante al momento de pensar o dibujar un esquema tecnológico que pretenda recuperar o separar de manera relativamente selectiva alguno de estos elementos.

Tabla 30: Presencia de diferentes elementos y compuestos en muestra de El Salado

<b>Elemento</b>	<b>Recuperación en Fracción Magnética (%)</b>	<b>Recuperación en Fracción No Magnética (%)</b>
<b>SiO<sub>2</sub></b>	<b>2,46</b>	<b>97,54</b>
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>2,77</b>	<b>97,23</b>
<b>TiO<sub>2</sub></b>	<b>4,22</b>	<b>95,78</b>
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>14,21</b>	<b>85,79</b>
<b>Cu</b>	<b>3,04</b>	<b>96,96</b>
<b>V</b>	<b>8,17</b>	<b>91,83</b>
<b>Ni</b>	<b>9,82</b>	<b>90,18</b>
<b>Zn</b>	<b>22,33</b>	<b>77,67</b>

En la muestra El Salado, se observa que claramente la cantidad de Fe magnético en la Fracción Magnética (14,2 % expresado como Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) es significativamente menor que en la muestra de Taltal. También se observa claramente que la cantidad de elementos y componentes que se encuentran ocluidos o cocrystalizados con magnetita son mucho más bajos en comparación con la muestra de Taltal, con excepción del Zn, no superando el 10 % e incluso el 5 %.

Tabla 31: Presencia de diferentes elementos y compuestos en muestra de Minera Carola

<b>Elemento</b>	<b>Recuperación en Fracción Magnética (%)</b>	<b>Recuperación en Fracción No Magnética (%)</b>
<b>SiO<sub>2</sub></b>	<b>29,80</b>	<b>70,20</b>
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>35,38</b>	<b>64,62</b>
<b>TiO<sub>2</sub></b>	<b>35,81</b>	<b>64,19</b>
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>69,84</b>	<b>30,16</b>
<b>Cu</b>	<b>29,52</b>	<b>70,48</b>
<b>La</b>	<b>39,99</b>	<b>60,01</b>
<b>Ce</b>	<b>39,59</b>	<b>60,41</b>
<b>Pr</b>	<b>38,71</b>	<b>61,29</b>
<b>Nd</b>	<b>39,36</b>	<b>60,64</b>
<b>Sm</b>	<b>38,82</b>	<b>61,18</b>
<b>Eu</b>	<b>41,09</b>	<b>58,91</b>
<b>Gd</b>	<b>36,15</b>	<b>63,85</b>
<b>Tb</b>	<b>44,15</b>	<b>55,85</b>
<b>Dy</b>	<b>40,39</b>	<b>59,61</b>
<b>Ho</b>	<b>36,42</b>	<b>63,58</b>
<b>Er</b>	<b>39,75</b>	<b>60,25</b>

La muestra de Minera Carola indica una alta presencia de Fe magnético. Prácticamente el 70 % del Fe, expresado como Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Esto podría explicar la importante cantidad, entre 30 y 40 %, de elementos que se reportan en la fracción magnética. Esta situación, como ya se indicaba, prácticamente forzará a tener que ocuparse de liberar elementos de valor tales como Cu, La, Ce, Nd entre otros, de la magnetita, a objeto que estos elementos sean reportados en la Fracción No magnética. Lo más probable es que mediante una clasificación por fracciones granulométrica y la determinación de la composición química de estas, se logre, mediante una remolienda de la fracción gruesa, librar parte importante de los elementos ocluidos o atrapados por la magnetita.

Tabla 32: presencia de diferentes elementos y compuestos en muestra Bellavista

<b>Elemento</b>	<b>Recuperación en Fracción Magnética (%)</b>	<b>Recuperación en Fracción No Magnética (%)</b>
<b>SiO<sub>2</sub></b>	<b>8,08</b>	<b>91,92</b>
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>17,63</b>	<b>82,37</b>
<b>TiO<sub>2</sub></b>	<b>20,93</b>	<b>79,07</b>
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>42,57</b>	<b>57,43</b>
<b>Cu</b>	<b>13,30</b>	<b>86,70</b>
<b>Te</b>	<b>16,40</b>	<b>83,60</b>
<b>Ga</b>	<b>16,67</b>	<b>83,33</b>

Los resultados de la muestra de Planta Bellavista señalan contenidos medios de Fe-magnético, respecto a las otras tres muestras. En todo caso, ratifica una regla empírica que ha quedado en evidencia, cual es, que a mayor contenido de Fe magnético mayor es el contenido de cuarzo y Cu, en la fracción magnética. En consecuencia es importante tener en cuenta esta constatación empírica a la hora de diseñar un esquema tecnológico que pretenda recuperar elementos de valor de manera económicamente eficiente.

## **14.9- Lixiviación**

### **14.9.1- Biolixiviación**

En la BGR fueron sometidas a lixiviación bacteriana, cinco muestras, en el grupo de investigación del Profesor Schippers se trataron en suspensión 4 gr de material de muestra original en un total de 200 ml de líquido. Este líquido se inoculó con bacterias. Además se añadió una solución 1 molar Fe<sup>2+</sup> para cada muestra. Se realizaron tres pruebas paralelas para cada muestra. Otra prueba de control se hizo sin la adición de bacterias, pero bajo las mismas condiciones. Las muestras se tomaron durante la segunda campaña de muestreo. Se trata de las muestras que se mencionan en el capítulo 2 “toma de muestras”:

Carola Tran 3 muestra 1	0-1 m Muro (el actualmente Tranque 3 activo)
El Salado Tranque 1 – 1	0-1 m
SF-PB-1	0-1 m
SF-PB-1	1-2 m
TT-PTT-2	1-2 m

A estas muestras se realizaron adicionalmente, además de los análisis existentes antes y después de la lixiviación nuevamente la geoquímica con XRF. Durante el desarrollo de las pruebas de lixiviación se tomaron muestras en 5 momentos que fueron analizadas con ayuda del ICP- MS. Los análisis se realizaron en los siguientes tiempos de reacción t=0, después de 2, 7, 14, 21 días y al final de la lixiviación después de 28 días. La lixiviación se realizó en un matraz sacudido mantenido a una temperatura constante de 30° C.

Los resultados de la tabla 33 muestran que la recuperación metalúrgica en las cinco muestras varía significativamente entre 21 % (Minera Carola) y 69 % (Taltal). Una razón de esto, pueden ser los diferentes contenidos de elementos de la muestra inicial, que en el tratamiento se establece una correlación empíricamente positiva de difusión y se espera que contenido original. Pero sobre todo, las grandes diferencias mineralogía de las muestras es probablemente lo más responsable. Esto permite que la calcopirita lixivie significativamente peor que los minerales secundarios de cobre. Las dos muestras de Planta Bellavista (SF-PB-1 de 0-1 m y SF-PB-1 de 1-2 m) se puede ver claramente que las muestras con un contenido de cobre similar de 0,1 %, que en el relave se encuentran directamente uno encima de otro, muestran durante la lixiviación bacteriana, comportamiento significativamente diferente en relación con su lixiabilidad. Así lo señala la muestra superficial 0-1 m, recuperaciones de 50 % y la muestra de 1-2 m sólo el 30 %. En un experimento paralelo, incluso solo se llegó a 17 %, aquí se podría hablar de un punto fuera de serie. Con concentraciones iniciales tan bajas, pequeñas diferencias en la mineralogía pueden tener un impacto importante en la recuperación. Despreciando el valor atípico, cabe señalar que el contenido de Cu en los residuos de Bellavista de 0-1 m, 675 ppm y en la Planta Bellavista de 1-2 m

es de 917 ppm (tabla 33). Los diferentes resultados de las dos muestras, puede ser explicado de diferentes maneras. Por ejemplo, por una mayor presencia de minerales lixiviables en la capa cercana a la superficie de los relaves. Sin embargo, el nivel de certeza sobre la recuperación, se relativiza por la incertidumbre de la medición y los valores absolutos bajos. La diferencia en los niveles de residuos de cobre está a sólo 141 ppm. Teniendo en cuenta el error de medición, este error es despreciable, pero tiene un muy fuerte impacto debido al bajo contenido de Cu en la muestra. A niveles mínimos de minerales de cobre secundarios y aumento mínimo simultaneo de calcopirita, podrían explicar las diferencias en la recuperación de 30 % a 50 % en esta muestra. La influencia de la lixiviación bacteriana de las dos muestras de Planta Bellavista es relativamente baja. La recuperación de la muestra de control no difiere sustancialmente de las tres pruebas con bacterias.

La muestra de Minera Carola muestra el mismo contenido de cobre que la muestra de Minera Clarita con 0,1 %. La recuperación promedio es de sólo el 21 % y es de todos los residuos de relaves analizados, el más bajo. La razón de esto, es la comprobada, mediante MLA, alto contenido calcopirita, de cerca del 100 % del total de los minerales de cobre. Dado que la calcopirita es difícil de lixiviar, también la recuperación es baja. Con las bacterias, sin embargo, resulta un aumento de la recuperación en promedio en cuatro puntos porcentuales.

El material de El Salado con 0,4 % de cobre es significativamente más rico que las muestras analizadas anteriormente. La evaluación con la MLA ha demostrado que la proporción de minerales de cobre secundarios en comparación con Minera Carola es significativamente mayor (aproximadamente 15 – 20 % del cobre corresponde a calcopirita y el resto a minerales de cobre secundarios). La recuperación de casi el 60 % refleja esto. La lixiviación bacteriana, en comparación con la lixiviación no bacteriana de la muestra de control (44 % de recuperación) significativamente mejor.

La muestra de Taltal analizada, tiene 0,46 % cobre, una cantidad mucho más alta que la cantidad medida en las muestras a granel 0,27 %. No existen datos mineralógicos de la MLA. Puesto que no hay acumulación de cobre en el Concentrado No Magnético. Se examinó sólo la fracción magnética con la MLA. Los resultados de la aplicación de la lixiviación bacteriana señalan casi el 70 % (53 % en el control sin bacterias) de recuperación. Esto sugiere que una gran parte del cobre está presente en minerales de cobre secundarios. Estos no pueden ser concentrados en la mesa húmeda de vibración. Hay varias causas posibles que no permiten la concentración. Por ejemplo, los minerales contienen demasiado grano fino (fracción de lodo), o porque están ocluidos con otros minerales, o que están cubriendo como un revestimiento otros minerales (diferencia de densidad demasiado baja para producir un concentrado). Otra posibilidad es que la solubilidad de algunas fases minerales secundarias es tan alta que se han ido en la preparación con la mesa húmeda en solución y el cobre fue simplemente enjuagado.

Tabla 33: Resumen Resultados Lixiviación Bacterial

<b>Faena</b>	<b>Proceso</b>	<b>Cabeza</b>	<b>Residuo</b>	<b>Recuperación</b>
		<b>Cu [ppm]</b>	<b>Cu [ppm]</b>	<b>[ % ]</b>
<b>Carola</b>	<b>Lix. Bacterial</b>	<b>1155</b>	<b>861</b>	<b>25,5</b>
<b>Carola</b>	<b>Lix. Bacterial</b>	<b>1155</b>	<b>944</b>	<b>18,3</b>
<b>Carola</b>	<b>Lix. Bacterial</b>	<b>1155</b>	<b>923</b>	<b>20,1</b>
<b>Carola</b>	<b>Lix. Bacterial</b>	<b>1155</b>	<b>951</b>	<b>17,7</b>
<b>El Salado</b>	<b>Lix. Bacterial</b>	<b>3991</b>	<b>1570</b>	<b>60,7</b>
<b>El Salado</b>	<b>Lix. Bacterial</b>	<b>3991</b>	<b>1708</b>	<b>57,2</b>
<b>El Salado</b>	<b>Lix. Bacterial</b>	<b>3991</b>	<b>1615</b>	<b>59,5</b>
<b>El Salado</b>	<b>Lix. Bacterial</b>	<b>3991</b>	<b>2227</b>	<b>44,2</b>
<b>Bellavista 0-1 m</b>	<b>Lix. Bacterial</b>	<b>1234</b>	<b>591</b>	<b>52,1</b>
<b>Bellavista 0-1 m</b>	<b>Lix. Bacterial</b>	<b>1234</b>	<b>675</b>	<b>45,3</b>
<b>Bellavista 0-1 m</b>	<b>Lix. Bacterial</b>	<b>1234</b>	<b>567</b>	<b>54,1</b>
<b>Bellavista 0-1 m</b>	<b>Lix. Bacterial</b>	<b>1234</b>	<b>612</b>	<b>50,4</b>
<b>Bellavista 1-2 m</b>	<b>Lix. Bacterial</b>	<b>1107</b>	<b>917</b>	<b>17,2</b>
<b>Bellavista 1-2 m</b>	<b>Lix. Bacterial</b>	<b>1107</b>	<b>739</b>	<b>33,2</b>
<b>Bellavista 1-2 m</b>	<b>Lix. Bacterial</b>	<b>1107</b>	<b>765</b>	<b>30,9</b>
<b>Bellavista 1-2 m</b>	<b>Lix. Bacterial</b>	<b>1107</b>	<b>785</b>	<b>29,1</b>
<b>Taltal</b>	<b>Lix. Bacterial</b>	<b>4582</b>	<b>1432</b>	<b>68,7</b>
<b>Taltal</b>	<b>Lix. Bacterial</b>	<b>4582</b>	<b>1386</b>	<b>69,8</b>
<b>Taltal</b>	<b>Lix. Bacterial</b>	<b>4582</b>	<b>1491</b>	<b>67,5</b>
<b>Taltal</b>	<b>Lix. Bacterial</b>	<b>4582</b>	<b>2144</b>	<b>53,2</b>

#### **14.9.2- Lixiviación Convencional**

Con el fin de comparar la lixiviación bacterial con la lixiviación convencional se llevaron a cabo en la empresa química IZB-Salzchemie de Alemania, pruebas de lixiviación con ácido sulfúrico al 5%. Con este fin, se testearon los dos Concentrados No Magnéticos de El Salado, los dos Concentrados No Magnéticos de Minera Carola y la muestra de relaves sin tratamiento de Taltal y Planta Bellavista. En el material no magnético del primer concentrado de Minera Carola se realizaron pruebas preliminares a la lixiviación. Dado que prácticamente no hubo disolución de



cobre se decidió cancelar la prueba y probar la disolución del segundo concentrado. En este material el contenido de cobre es bajo, además se estimó que el contenido de mineral secundario podría ser más alto, lo cual debe tener un efecto favorable sobre la lixiviación. El material a ser lixiviado se analizó antes y el residuo después de la lixiviación para determinar el contenido de cobre y zinc. Las muestras de Bellavista, Taltal, El Salado Konzentrat 1 y El Salado Konzentrat 2 fueron lixiviadas con  $\text{KHSO}_4$  en tanto que las muestras de Minera Carola Concentrado 2 fueron lixiviadas con  $\text{Na}_2\text{CO}_3 / \text{K}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{Cu}^{2+}$  y  $\text{Zn}^{2+}$  y el contenido total de hierro se determinó por fotometría.

### **Procedimiento Experimental**

En cada prueba se pusieron 100 gr del material de muestra en 1.000 ml de ácido sulfúrico diluido con una concentración de 48,99 gr  $\text{H}_2\text{SO}_4 / \text{l}$  y se lixivió durante 24 horas (tabla 34). La toma de muestras durante la lixiviación se llevó a cabo en el momento  $t=0$  y luego cada hora, hasta doce horas después del inicio del experimento y se mantiene a 24 ( $t=0,1,2,\dots,12,24$ ). Dado que de la muestra de El Salado 1, no habían 100 gr de concentrado, se pesó 50 gr y se lixivió con a 500 ml de líquido.

Tabla 34, muestra el peso de las muestras, la temperatura y la concentración del medio lixivante, de las pruebas realizadas por la empresa IZB-Salzchemie, Alemania.

<b>Muestra</b>	<b>Peso muestra</b>	<b><math>\text{H}_2\text{SO}_4</math> 49,99 g/l</b>	<b>Temperatura</b>
	<b>[ gr ]</b>	<b>[ ml ]</b>	<b>[ °C ]</b>
<b>Bellavista</b>	<b>100</b>	<b>1000</b>	<b>30</b>
<b>Taltal</b>	<b>100</b>	<b>1000</b>	<b>30</b>
<b>Carola 2. Conc.</b>	<b>100</b>	<b>1000</b>	<b>30</b>
<b>El Salado 1. Conc.</b>	<b>50</b>	<b>500</b>	<b>30</b>
<b>El Salado 2. Conc.</b>	<b>100</b>	<b>1000</b>	<b>30</b>

Los resultados de la lixiviación del segundo Concentrado de Minera Carola, demostró ser menos exitoso. Al parecer también en el segundo Concentrado hay prácticamente solamente calcopirita, que prácticamente no es lixiviable con ácido sulfúrico al 5 %. Por lo tanto, la recuperación está cerca de 0 % (tabla 35).

En Planta Bellavista, a pesar del bajo contenido inicial de 0,1 % de cobre se logran lixiviar en total 2/3. Esto es significativamente más que en la lixiviación bacteriana donde se obtuvieron

recuperaciones de 50 % y en el caso de la muestra tomada entre 1 – 2 m de profundidad se lograron solamente en 30 % de recuperación de cobre. De todas las muestras lixiviadas el contenido de cobre 0,04 % en el residuo es el más bajo. En la lixiviación bacteriana la concentración de los residuos fue de 0,06 %. Al igual que con las dos pruebas de lixiviación bacteriana el material de Planta Bellavista experimenta muy pequeños cambios en el contenido de cobre, ya sea en el material de origen, o en los residuos (0,04 % en la lixiviación convencional, 0,06 % en la lixiviación bacteriana). Las pocas diferencias en las recuperaciones durante las pruebas puede deberse a que el contenido de cobre en el material inicial es extremadamente baja (0,11 a 0,12 % para las tres muestras, que fueron sometidas a la lixiviación bacteriana o lixiviación convencional).

El contenido de cobre del relave inicial de Taltal es 0,47 % (tabla 35) significativamente superior a la cifra registrada en los análisis de la BGR 0,27 %. Las razones pueden radicar en que en la BGR, la determinación química se realizó en la IZBI, o puede deberse a inhomogeneidad del material. Observando el balance de masa de la lixiviación se ve que alrededor de 330 mg Cu / l a 100 gr de peso de la muestra han sido disueltos (aproximadamente 330 mg Cu / l a 100 gr de peso de la muestra, o 3.300 mg en 1.000 gr de peso inicial) y 76 mg se mantuvo en el residuo (tabla XX) (76 mg / 100 gr o 757 mg / kg.). De acuerdo con estas cifras, el contenido original de cobre debió ser de 0,4 % (3.300 mg + 757 mg = 4.057 mg / kg). El margen de error es más grande para el análisis RFA que la determinación químico húmedo. Un contenido de cobre de más del 0,4 % corresponde al contenido de las muestras tratadas en las pruebas de lixiviación bacteriana (tabla XX), de modo que se puede suponer que en el análisis RFA, que se llevó a cabo en el BGR, se produjo una determinación menor a lo que realmente se encontraba en la muestra o el material que se utilizó en las pruebas realizadas por IZB Salzchemie, simplemente tenían un contenido de cobre superior a 0,4 %. La recuperación de la lixiviación convencional fue del 84 %, la más alta de todas las muestras, similar a la biolixiviación, donde la recuperación fue de casi 70 %. La mejora de la recuperación en la lixiviación convencional conduce a un menor contenido de cobre en el residuo, 0,08 % lixiviación convencional y 0,14 % en lixiviación bacteriana.

Los dos Concentrados de El Salado tenían los más altos niveles de cobre de las muestras lixiviadas con 3,5 y 1,8 %. Sin embargo, la recuperación en 1 Concentrado fue de 60 % y de 70 % en el Concentrado 2. La razón para la menor recuperación de Concentrado 1, está probablemente relacionado con el aumento de la cantidad de calcopirita presente, 2 % del inventario total de minerales. Esta situación es en el segundo Concentrado más bajo (0,5 % de la composición mineral total) de modo que el contenido de cobre en los residuos con 0,5 %, en el primer Concentrado, donde el residuo contenía 1,4 % de cobre. Esto conduce a un mayor porcentaje de recuperación (60 % para Concentrado 1 y 70 % en el segundo Concentrado). Los valores de recuperación desde los Concentrados utilizando lixiviación convencional no son, sin embargo, significativamente más altos que los valores de la lixiviación bacteriana para relaves sin tratamiento (60 % recuperación). Además, el contenido de Cu de los residuos de la lixiviación bacteriana de

relaves 0,16 % de Cu es significativamente menor que la lixiviación de Concentrados con 1,4 % y 0,5 % de Cu. La razón se encuentra probablemente, en el hecho de que durante la preparación con la mesa húmeda de vibración incluso se concentran los minerales secundarios así como también mejora la concentración de la calcopirita que prácticamente no es lixiviable. En el relave sin tratar, que se ha utilizado en la lixiviación bacteriana, la relación de buenos minerales secundarios lixiviables versus calcopirita demasiado mala lixiviable debe haber sido significativamente mayor, lo que resulta en una buena recuperación y especialmente, con un bajo contenido de Cu en el residuo.

Tabla 35: lixiviación con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 5 %. En la tabla se encuentran las Concentraciones de Cu, Zn y Fe antes y después de la lixiviación, después de 24 horas. Las Concentraciones de Cu y Zn son en mg/kg, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> está expresado en % en peso, la recuperación está expresada en % del material inicial.

<b>Elemento</b>	<b>Carola Concentr. 2</b>	<b>Bellavista</b>	<b>Taltal</b>	<b>El Salado Concentr. 1</b>	<b>El Salado Concentr. 2</b>
<b>Cu<sub>2</sub> antes laug.</b>	<b>6703</b>	<b>1068</b>	<b>4695</b>	<b>35068</b>	<b>17927</b>
<b>Cu<sub>2</sub> después laug</b>	<b>6623</b>	<b>363</b>	<b>757</b>	<b>14203</b>	<b>5014</b>
<b>Recuperación</b>	<b>1,2</b>	<b>66</b>	<b>83,9</b>	<b>59,5</b>	<b>72</b>
<b>Zn<sub>2</sub> antes laug.</b>	<b>12002</b>	<b>460</b>	<b>156</b>	<b>833</b>	<b>632</b>
<b>Zn<sub>2</sub> después laug.</b>	<b>11930</b>	<b>136</b>	<b>148</b>	<b>326</b>	<b>204</b>
<b>Recuperación</b>	<b>15,9</b>	<b>15,3</b>	<b>7,3</b>	<b>1,6</b>	<b>1,5</b>
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> antes laug.</b>	<b>30,90%</b>	<b>15,0%</b>	<b>22,0%</b>	<b>25,0%</b>	<b>22,1%</b>
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> después laug.</b>	<b>26,0%</b>	<b>12,7%</b>	<b>20,4%</b>	<b>24,6%</b>	<b>22,1%</b>
<b>Solución Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> en% Prod</b>	<b>4,9%</b>	<b>2,3%</b>	<b>1,6%</b>	<b>0,4%</b>	<b>0,3%</b>

Un punto y tema muy importantes en la lixiviación convencional, es la cinética de reacción y el consumo de ácido.

Tabla 36: Concentración y recuperación de cobre en la solución en relación al tiempo de reacción. El valor que esté por sobre 100 % de recuperación de cobre en mineral, se debe seguramente, a la muy baja cantidad de cobre en el análisis de la muestra original.

Tiempo	Carola Concentr. 2		Planta Bellavista		Taltal		El Salado 1		El Salado 2	
	Cu [mg/l]	Recuperación [%]	Cu [mg/l]	Recuperación [%]	Cu [mg/l]	Recuperación [%]	Cu [mg/l]	Recuperación [%]	Cu [mg/l]	Recuperación [%]
0	8,5	1,3	64,8	60,7	296,6	63,2	1130,0	32,2	828,7	46,2
1	14,5	2,2	106,6	99,8	337,6	71,9	1934,0	55,1	1172,0	65,4
2	15,8	2,4	108,8	101,9	333,1	70,9	2054,0	58,6	1228,0	68,5
3	15,0	2,2	110,1	103,1	336,1	71,6	2146,0	61,2	1260,0	70,3
4	16,4	2,4	115,0	107,7	325,2	69,3	2116,0	60,3	1271,0	70,9
5	15,3	2,3	114,0	106,7	329,4	70,2	2309,0	65,8	1267,0	70,7
6	17,0	2,5	118,5	111,0	312,9	66,6	2311,0	65,9	1315,0	73,4
7	15,8	2,4	114,0	106,7	332,6	70,8	2375,0	67,7	1289,0	71,9
8	17,1	2,6	117,6	110,1	348,9	74,3	2340,0	66,7	1349,0	75,2
9	16,2	2,4	120,9	113,2	348,3	74,2	2332,0	66,5	1268,0	70,7
10	18,0	2,7	125,0	117,0	316,5	67,4	2253,0	64,2	1337,0	74,6
11	17,8	2,7	121,1	113,4	327,2	69,7	2484,0	70,8	1336,0	74,5
12	17,0	2,5	123,2	115,4	327,4	69,7	2435,0	69,4	1359,0	75,8
24	19,8	3,0	121,9	114,1	327,8	69,8	1889 x	69,4	1364,0	76,1

x comentario: Formación de una solución turbia

El contenido de cobre de la solución varió significativamente. Para el material de Minera Carola, la concentración máxima fue de 61 mg/L. El contenido de Planta Bellavista y Taltal se situó en 120 y 330 mg/L respectivamente y los dos concentrados de El Salado lograron los más altos valores 2.400 (El Salado 1) y 1.400 mg/L (El Salado 2).

Con la muestra de Taltal se alcanzó el contenido máximo de cobre de la solución después de una hora. Para todas las demás muestras después de una hora, se alcanzaron entre 80 y 90 % de la concentración final después de 12 horas. Después de 12 horas el contenido de cobre alcanzado en la solución, se mantiene prácticamente hasta el final de la prueba. Es decir, que no se disolvió más cobre. Sólo en el segundo concentrado de Minera Carola, se pudo medir un leve aumento, pero a un nivel extremadamente bajo. La razón para el ligero aumento después de una hora de reacción, reside en el hecho de que prácticamente todos los minerales de cobre soluble de la muestra de Planta Bellavista, Taltal y El Salado 2 se habían disuelto durante la primera hora. En la muestra El Salado 1, se formó después de la medición 12 horas, una turbidez hacia el final de la prueba. Después de las 12 horas, se formaron precipitados que pueden ser responsables por la baja recuperación de cobre y probablemente por el aumentado del consumo de ácido (tabla 36).

El contenido de Zinc ascendió a un máximo de 60 mg/L. Sin embargo, en contraste con los contenidos de cobre, los valores de zinc aumentaron incluso después de una hora, de forma continua.

En la tabla 37 se muestra el consumo de ácido de cada muestra, con relación al tiempo de reacción. Se puede constatar que a pesar de que durante la primera hora, en la mayoría de las muestras se había disuelto 90 % del cobre de las muestras, se observa que durante el posterior desarrollo, entre la primera y hasta la hora 12 de lixiviación de Planta Bellavista, Taltal y El Salado 2 se consumieron entre 4,2 y 5,3 gr de ácido sulfúrico. El Concentrado 1 de El Salado consumió 7,3 gr e incluso Minera Carola consumió 8,7 gr. Entre las 12 y las 24 horas, punto final de las pruebas de lixiviación se consumieron con Bellavista y Taltal entre 1,3 o 1,5 gr de ácido adicionales. El segundo Concentrado de El Salado consumió 3,1 gr, en tanto que Minera Carola consumió 4,5 gr y el primer Concentrado de El Salado llegó a 6,1 gr. El alto valor de El Salado puede estar relacionado con la formación de suspensión, descrito en la tabla XX. Después de una hora de reacción prácticamente no se disuelve más cobre, sin embargo, el ácido sulfúrico reacciona continuamente reaccionado con otros minerales, por lo que el consumo total sigue aumentando.

Tabla 37 consumo de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> en [gr], en las pruebas de lixiviación durante el tiempo de reacción

<b>Tiempo [hrs]</b>	<b>Carola 2 Conc.</b>	<b>Bellavista</b>	<b>Taltal</b>	<b>El Salado 1 Conc.</b>	<b>El Salado 2 Conc.</b>
<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>0,05</b>	<b>0,9</b>	<b>2,6</b>	<b>3,9</b>	<b>1,6</b>	<b>1,9</b>
<b>1</b>	<b>1,9</b>	<b>3</b>	<b>4,6</b>	<b>4,3</b>	<b>4,4</b>
<b>2</b>	<b>2,9</b>	<b>4,1</b>	<b>5,4</b>	<b>5,1</b>	<b>4,7</b>
<b>3</b>	<b>3,4</b>	<b>4,5</b>	<b>5,6</b>	<b>6,4</b>	<b>5,4</b>
<b>4</b>	<b>4,6</b>	<b>5,3</b>	<b>6,1</b>	<b>6,9</b>	<b>5,7</b>
<b>5</b>	<b>5,8</b>	<b>5,6</b>	<b>6,8</b>	<b>7,8</b>	<b>6,4</b>
<b>6</b>	<b>6,4</b>	<b>5,7</b>	<b>6,9</b>	<b>7,9</b>	<b>6,9</b>
<b>7</b>	<b>7,3</b>	<b>5,8</b>	<b>7,2</b>	<b>8,4</b>	<b>7,7</b>
<b>8</b>	<b>7,6</b>	<b>6,1</b>	<b>7,9</b>	<b>9,4</b>	<b>7,9</b>
<b>9</b>	<b>8,7</b>	<b>6,7</b>	<b>8,7</b>	<b>10,3</b>	<b>8,6</b>
<b>10</b>	<b>8,8</b>	<b>6,2</b>	<b>8,7</b>	<b>10,7</b>	<b>8,7</b>
<b>11</b>	<b>9,6</b>	<b>6,8</b>	<b>8,9</b>	<b>11,1</b>	<b>9,5</b>
<b>12</b>	<b>10,6</b>	<b>7,2</b>	<b>9</b>	<b>11,6</b>	<b>9,7</b>
<b>24</b>	<b>15,1</b>	<b>8,5</b>	<b>10,5</b>	<b>17,7</b>	<b>12,8</b>

Si se considera el contenido de cobre en las soluciones y el consumo de ácido durante la primera hora, tenemos que los consumos teóricos fluctúan entre 2,2 a 131 toneladas de ácido por tonelada de cobre (tabla 38). Estos números tienen solo carácter teórico, porque la lixiviación por agitación

de material con 0,1 a 0,5 % de cobre, como los relaves de Planta Bellavista y Taltal no se podría ocupar por razones de costos. El objetivo de las pruebas de lixiviación por agitación, fue determinar cuánto material idealmente puede ser lixiviado. En la lixiviación en pilas dinámicas de minerales oxidados en Planta Matta de ENAMI se muestra en tabla 38 que requieren aproximadamente 4 toneladas de ácido por 1 tonelada de cobre.

Tabla 38 consumo de ácido calculado en ton/tonelada de cobre disuelto

Tiempo [hrs]	Carola 2 Conc.	Pl. Bellavista	Taltal	El Salado 1 Conc.	El Salado 2 Conc.
1	131	28,1	13,6	2,2	3,8

A continuación se destacan algunas fotos de las pruebas realizadas por la BGR en Alemania:

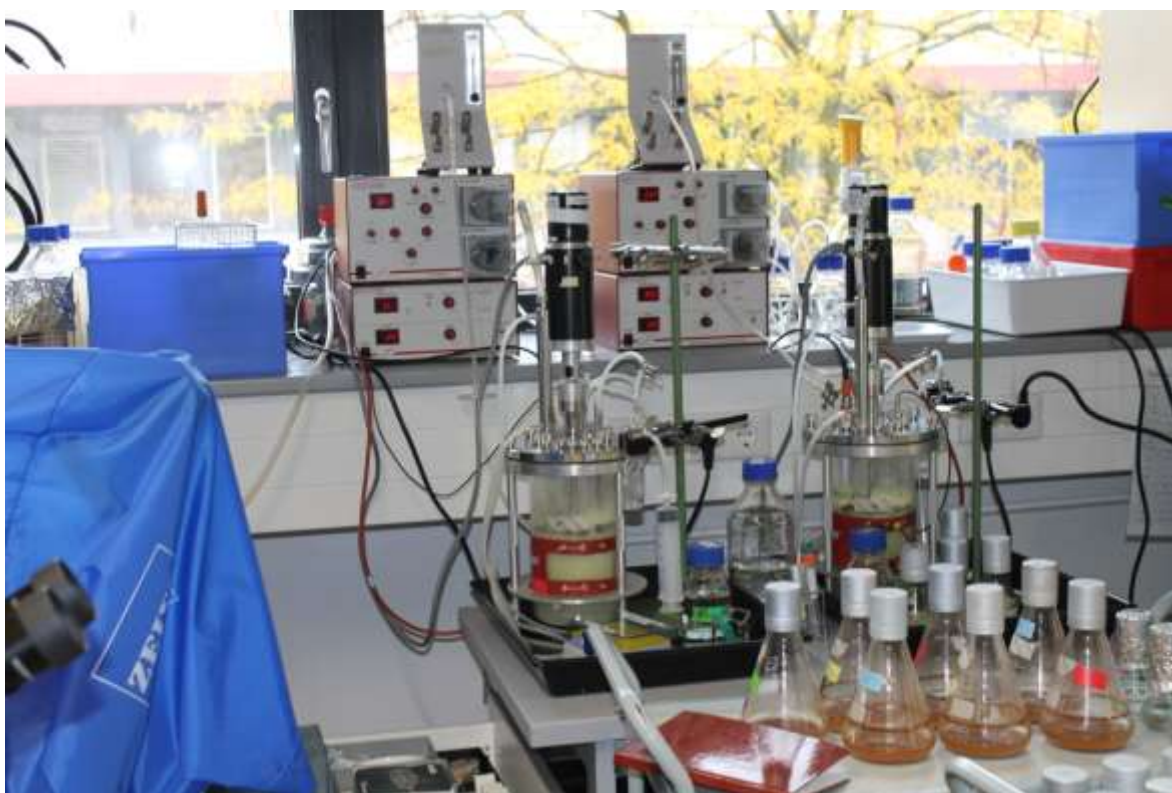


Foto 26: Análisis de pruebas de Lixiviación realizadas por la BGR en Alemania



Foto 27: Análisis de pruebas de Lixiviación realizadas por la BGR en Alemania

### **14.9.3- Informe Pruebas de Lixiviación en Chile**

El siguiente paso en el programa del Proyecto fue la realización de pruebas de lixiviación, tanto en Alemania como en Chile.

Estas pruebas de lixiviación se realizaron a las cuatro muestras objeto de estudio, provenientes de relaves mineros en Chile, de las siguientes faenas:

- Planta Taltal ENAMI
- Minera Carola
- Planta Salado ENAMI
- Planta Bellavista, San Felipe

Dado que la estrategia más probable a seguir para la recuperación de elementos de valor sea la de, en primer lugar, ir disminuyendo la masa en la cual se encuentran los elementos de valor, para luego en una segunda etapa proceder a ataques químicos. Esto significa por ejemplo, separar el cuarzo, eventualmente vía flotación y el fierro vía imantación. En este caso el material a tratar vía húmeda (lixiviación), será la fracción no magnética. Por esta razón las pruebas de lixiviación solo se realizarán con material no magnético de cada muestra.

Las pruebas de lixiviación se realizaron en las instalaciones de BASF Chile, Laboratorios de Con-Con.

La siguiente tabla muestra el programa de lixiviación que se realizó en Chile, con el importante apoyo que entregó BASF Chile, quienes pusieron a disposición del Proyecto sus laboratorios, personal y además financiaron la realización de los análisis químicos de las muestras de cabeza, de los residuos sólidos, de la solución rica generada y del agua de lavado. En la tabla se pueden apreciar los medios lixiviantes y oxidantes empleados, las condiciones de las pruebas tales como temperatura, cantidad de muestra ocupada y cantidad de residuo generado, así de cómo de filtrado.



Tabla 39: Programa de pruebas de lixiviación realizadas en Chile

Muestra	Prueba	Sistema Lixiviente	Temperatura	Relave Seco [gr]	Filtrado [ml]	Residuo Seco
Carola	1	H2SO4	Ambiente	15,09	150	13,65
	2	H2SO4	70 ° C	15,02	100	12,88
	3	H2SO4 + Fe2(SO4)3	Ambiente	15,02	150	12,32
	4	H2SO4 + Fe2(SO4)3	70 ° C	15,1	150	12,55
	5	HCl	Ambiente	15,12	150	12,43
	6	HCl	70 ° C	15,3	150	11,86
	7	HCl + FeCl3	Ambiente	15,05	150	11,76
	8	HCl + FeCl3	70 ° C	15,07	150	12,37
Salado	1	H2SO4	Ambiente	15,07	150	13,09
	2	H2SO4	70 ° C	15	150	12,64
	3	H2SO4 + Fe2(SO4)3	Ambiente	15,13	150	13,45
	4	H2SO4 + Fe2(SO4)3	70 ° C	14,99	150	12,99
	5	HCl	Ambiente	15,09	150	13,51
	6	HCl	70 ° C	15,02	150	12,79
	7	HCl + FeCl3	Ambiente	15,01	150	12,06
	8	HCl + FeCl3	70 ° C	15,1	150	13,43
Bellavista	1	H2SO4	Ambiente	15,03	150	12,17
	2	H2SO4	70 ° C	15,02	150	11,39
	3	H2SO4 + Fe2(SO4)3	Ambiente	15,07	150	11,82
	4	H2SO4 + Fe2(SO4)3	70 ° C	15,01	150	12,44
	5	HCl	Ambiente	15,06	150	12,2
	6	HCl	70 ° C	15,08	150	12,4
	7	HCl + FeCl3	Ambiente	15,07	150	11,23
	8	HCl + FeCl3	70 ° C	15,04	150	11,99
Taltal	1	H2SO4	Ambiente	5,02	150	3,25
	2	H2SO4	70 ° C	5	150	2,34
	3	H2SO4 + Fe2(SO4)3	Ambiente	4,95	150	3,44
	4	H2SO4 + Fe2(SO4)3	70 ° C	5,02	150	2,78
	5	HCl	Ambiente	5,02	150	2,87
	6	HCl	70 ° C	5,01	150	2,83
	7	HCl + FeCl3	Ambiente	4,96	150	3,09
	8	HCl + FeCl3	70 ° C	5,03	150	2,91

En particular se va a explorar el comportamiento de disolución en base Sulfato y en base Cloruro, con y sin la adición de Ion Férrico como agente oxidante. La concentración de Ión Férrico objetivo es de 5 g/l, lo que se ajustará por la adición de Sulfato Férrico y Cloruro Férrico en cada caso.

La reacción se llevó a cabo con agitación mecánica, utilizando un agitador magnético, asegurándose que el sólido quede suspendido homogéneamente en la solución, se utilizó el agitador a una misma velocidad (rpm) para así mantener el mismo nivel de agitación en todas las pruebas. El tiempo de cada prueba fue de 2 horas. Luego, se filtró inmediatamente para detener la reacción, a través de un sistema de filtro al vacío. El residuo se lavó con agua destilada. Se pesó el residuo húmedo. El residuo se secó a temperatura controlada en una estufa a 90° C. Por diferencia de peso se definió la humedad del residuo. Las caracterizaciones químicas de las muestras de cabeza, residuos, soluciones ricas y agua de lavado se realizaron en los Laboratorios del Sernageomin. La tabla 40 muestra las caracterizaciones químicas de los RNM de cada muestra.

Tabla 40: Resultados Análisis Químicos, Fracción No Magnética  
RNM [%] RNM [%]

Elementos	Taltal	Salado	Carola	Bellavista	Elementos	Taltal	Salado	Carola	Bellavista
SiO2	43,39	61,14	50,03	57,41	Pb	152	61	106	140
Al2O3	12,05	15,20	12,89	13,40	Sc	11	15	12	12
Fe2O3	14,61	8,46	13,78	10,52	Cs	1,92	2,26	0,82	4,85
CaO	5,97	1,63	3,66	3,79	Hf	3,04	6,01	2,84	2,87
MgO	5,49	2,45	5,89	3,26	Ta	1,30	0,63	2,86	1,91
Na2O	5,81	1,06	0,73	1,23	Th	7,21	7,33	3,58	3,62
K2O	1,66	4,47	5,12	4,87	U	4,17	5,96	1,28	0,90
PPC	9,41	3,88	6,31	3,67	La	49,43	61,87	205,14	12,53
ppm					Ce	82,41	97,98	331,58	29,72
Cu	4140	4355	1184	1440	Pr	8,17	10,69	28,35	4,13
V	178	134	84	179	Nd	29,47	32,11	73,60	17,06
Cr	32	31	31	38	Sm	5,16	4,37	6,54	4,06
Co	88	31	180	90	Gd	4,46	3,77	3,77	3,61
Ni	100	17	124	18	Dy	3,63	2,62	1,40	2,55
Zn	174	223	2177	514	Yb	1,76	1,24	0,72	0,96
Rb	43	120	78	73	As	78	82	87	54
Sr	115	113	86	170	Mo	46	122	< 5	5
Y	17	< 10	< 10	13	Sn	46	97	23	10
Zr	100	213	93	102	Te	7	19	24	115
Ba	235	652	1082	5038	Ga	44	47	76	259
					Ge	32	24	32	31

La tabla 40 muestra concentraciones de cobre sobre los 4.000 ppm en la fracción de la muestra de Taltal y El Salado. En las muestras de Carola y Bellavista la concentración de cobre no sobrepasa los 2.500 ppm. La concentración de Zn de Minera Carola (2.177 ppm), también parece interesante. También mencionar que las concentraciones de Lantano, Cerio, Ce y Niobio Nd, con 205, 331, y 73,6 ppm respectivamente se ven también interesantes dentro de los resultados.

### Resultados Pruebas de Lixiviación

Tabla 41 Muestra los mejores resultados de lixiviación de Taltal con dos medios lixiviantes

<b>Taltal</b>					
<b>Mejores Resultados [%]</b>			<b>Mejores Resultados [%]</b>		
<b>Elementos</b>	<b>H2SO4</b>	<b>HCl</b>	<b>Elementos</b>	<b>H2SO4</b>	<b>HCl</b>
<b>Cu</b>	<b>97</b>	<b>95</b>	<b>Sc</b>	<b>63</b>	<b>61</b>
<b>V</b>	<b>53</b>	<b>45</b>	<b>Cs</b>	<b>58</b>	<b>53</b>
<b>Cr</b>	<b>74</b>	<b>65</b>	<b>Ta</b>	<b>53</b>	<b>87</b>
<b>Co</b>	<b>64</b>	<b>53</b>	<b>Th</b>	<b>87</b>	<b>85</b>
<b>Ni</b>	<b>62</b>	<b>50</b>	<b>La</b>	<b>55</b>	<b>50</b>
<b>Zn</b>	<b>72</b>	<b>67</b>	<b>Pr</b>	<b>58</b>	<b>53</b>
<b>Rb</b>	<b>70</b>	<b>68</b>	<b>Cd</b>	<b>84</b>	<b>91</b>
<b>Sr</b>	<b>78</b>	<b>80</b>	<b>Se</b>	<b>73</b>	<b>76</b>
<b>Y</b>	<b>89</b>	<b>80</b>	<b>Te</b>	<b>93</b>	<b>86</b>
<b>Ba</b>	<b>40</b>	<b>30</b>	<b>Ga</b>	<b>75</b>	<b>73</b>
<b>Pb</b>	<b>85</b>	<b>92</b>	<b>Ge</b>	<b>97</b>	<b>96</b>

Tabla 42 muestra los mejores resultados de la lixiviación de muestra de El Salado con dos medios lixiviantes

<b>Salado</b>					
<b>Mejores Resultados [%]</b>			<b>Mejores Resultados [%]</b>		
<b>Elementos</b>	<b>H2SO4</b>	<b>HCl</b>	<b>Elementos</b>	<b>H2SO4</b>	<b>HCl</b>
<b>Cu</b>	<b>98</b>	<b>98,0</b>	<b>As</b>	<b>45</b>	<b>34,0</b>
<b>V</b>	<b>19</b>	<b>15,0</b>	<b>Mo</b>	<b>43</b>	<b>26,0</b>
<b>Cr</b>	<b>51</b>	<b>37,0</b>	<b>Sb</b>	<b>30</b>	<b>24,0</b>
<b>Co</b>	<b>62</b>	<b>51,0</b>	<b>Sn</b>	<b>95</b>	<b>95,0</b>
<b>Ni</b>	<b>55</b>	<b>43,0</b>	<b>Cd</b>	<b>92</b>	<b>93,0</b>
<b>Zn</b>	<b>65</b>	<b>51,0</b>	<b>Bi</b>	<b>78</b>	<b>79,0</b>
<b>Pb</b>	<b>45</b>	<b>50,0</b>	<b>Se</b>	<b>64</b>	<b>26,0</b>
<b>Sc</b>	<b>65</b>	<b>58,0</b>	<b>Te</b>	<b>95</b>	<b>96,0</b>
<b>Th</b>	<b>56</b>	<b>45,0</b>	<b>Ga</b>	<b>35</b>	<b>41,0</b>
			<b>Ge</b>	<b>93</b>	<b>92,0</b>

La tabla 42 indica los mejores resultados logrados en las pruebas de lixiviación de la muestra de relaves de El Salado. Como se observa, la recuperación de Cu alcanza con los dos medios lixiviantes, un 98 %. También resultan muy interesantes las recuperaciones de Sn, Cd, Te y Ge que alcanzan sobre el 90 %, con los dos lixiviantes. La recuperación de Bi alcanza casi 80 %.

Tabla 43 muestra los mejores resultados de la lixiviación de Minera Carola con dos medios lixiviantes

<b>Carola</b>					
<b>Mejores Resultados [%]</b>			<b>Mejores Resultados [%]</b>		
<b>Elementos</b>	<b>H2SO4</b>	<b>HCl</b>	<b>Elementos</b>	<b>H2SO4</b>	<b>HCl</b>
<b>Cu</b>	<b>87,0</b>	<b>65,0</b>	<b>Ta</b>	<b>92,0</b>	<b>98,0</b>
<b>V</b>	<b>30,0</b>	<b>62,0</b>	<b>Th</b>	<b>31,0</b>	<b>94,0</b>
<b>Ni</b>	<b>23,0</b>	<b>93,0</b>	<b>La</b>		<b>95,0</b>
<b>Zn</b>	<b>94,0</b>	<b>65,0</b>	<b>Ce</b>		<b>70,0</b>
<b>Sr</b>		<b>93,0</b>	<b>Sn</b>	<b>94,0</b>	<b>94,0</b>
<b>Ba</b>	<b>58,0</b>	<b>81,0</b>	<b>Bi</b>		<b>84,0</b>
<b>Pb</b>	<b>57,0</b>	<b>89,0</b>	<b>Se</b>	<b>74,0</b>	<b>51,0</b>
<b>Sc</b>	<b>75,0</b>	<b>74,0</b>	<b>Te</b>	<b>98,0</b>	<b>98,0</b>
<b>Cs</b>		<b>96,0</b>	<b>Ga</b>	<b>47,0</b>	<b>85,0</b>
<b>Hf</b>		<b>94,0</b>	<b>Ge</b>	<b>92,0</b>	<b>92,0</b>

De la tabla 43 se desprenden los mejores resultados de las pruebas de lixiviación de la muestra de Minera Carola, con los dos medios lixiviantes. La mejor recuperación de cobre se logra bajo el sistema con H2SO4 alcanzando un 87 %; en tanto, con HCl alcanza sólo un 65 %. Níquel Ni, Estroncio Sr, Cesio Cs, Hafnio Hf, Tantalio Ta, así como las tierras raras Lantano La, Torio Th, alcanzan bajo el sistema con HCl recuperaciones sobre el 90 %.

Tabla 44 muestra los mejores resultados de la lixiviación de muestras de Bellavista con dos medios lixiviantes

<b>Bellavista</b>					
<b>Mejores Resultados [%]</b>			<b>Mejores Resultados [%]</b>		
<b>Elementos</b>	<b>H2SO4</b>	<b>HCl</b>	<b>Elementos</b>	<b>H2SO4</b>	<b>HCl</b>
<b>Cu</b>	<b>85,0</b>	<b>81,0</b>	<b>La</b>	<b>19,0</b>	<b>64,0</b>
<b>Cr</b>	<b>64,0</b>	<b>52,0</b>	<b>Ce</b>	<b>19,0</b>	<b>70,0</b>
<b>Co</b>	<b>47,0</b>	<b>45,0</b>	<b>Nd</b>	<b>17,0</b>	<b>68,0</b>
<b>Ni</b>	<b>62,0</b>	<b>55,0</b>	<b>Eu</b>	<b>11,0</b>	<b>67,0</b>
<b>Zn</b>	<b>75,0</b>	<b>72,0</b>	<b>Sb</b>	<b>72,0</b>	
<b>Sr</b>	<b>49,0</b>	<b>68,0</b>	<b>Cd</b>	<b>90,0</b>	<b>76,0</b>
<b>Y</b>	<b>53,0</b>	<b>71,0</b>	<b>Se</b>	<b>88,0</b>	<b>99,0</b>
<b>Pb</b>	<b>53,0</b>	<b>80,0</b>	<b>Te</b>	<b>99,0</b>	<b>98,0</b>
<b>Sc</b>	<b>60,0</b>	<b>61,0</b>	<b>Ga</b>	<b>86,0</b>	<b>38,0</b>
			<b>Ge</b>	<b>97,0</b>	<b>97,0</b>

En la tabla 44 se pueden observar los resultados de las pruebas de lixiviación de las muestras de Bellavista, San Felipe. Las recuperaciones de cobre alcanzan 85 % con H2SO4 y logran un 81 % con HCl. Interesantes recuperaciones se lograron de Cd, Se, Te, Ge superando los 90 % de obtención.

En resumen, se han logrado muy interesantes grados de disolución, tanto de Cu como de Zn. En algunas muestras como Carola, se han logrado grados de disolución de Ni por sobre el 93 % con HCl. Resultan muy interesantes los niveles de recuperación de varios elementos de tierras raras, tales como La, Ce, Nd con recuperaciones por sobre el 90 %.

Evidentemente que estos resultados se pueden mejorar mediante pruebas tendientes a optimizar el uso de los insumos y mejorar la eficiencia de los procesos, mediante un menor ajuste de los parámetros de operación y funcionamiento.

A continuación fotos con el detalle de las 96 muestras enviadas a Análisis a los Laboratorios del Sernageomin:



Foto 28: Distribución de 96 muestras para análisis en Laboratorios del Sernageomin



Foto 29: Distribución de 96 muestras para análisis en Laboratorios del Sernageomin

#### **14.10- Conclusiones**

**Minera Carola:** La separación por gravedad mediante mesa húmeda de vibración tuvo buenos resultados, consiguiendo recuperaciones de cobre de (69 % en los concentrados 1 y 2). El cobre se encuentra en un concentrado de pirita (70 % pirita, 4 % calcopirita). Por otra parte, fue posible enriquecer un 18 wt. % de los relaves se concentrarán en los dos Concentrados Magnéticos 1 y 2. El siguiente paso sería examinar cómo un concentrado de pirita que contiene cobre – es comercializable, como refuerzo para lixiviación bacterial, o lo mejor chequear que tan buena resulta la separación por flotación de calcopirita desde el concentrado de pirita. También se debe estudiar la viabilidad de comercializar concentrados magnéticos, dado que la geoquímica no es conocida y la mineralogía ha sido hasta el momento determinado sólo aproximadamente por RDA.

**Planta Bellavista:** A pesar de recuperaciones obtenidas en las pruebas de lixiviación convencional (66 %), el tratamiento se ve difícil de realizar, debido al bajo contenido de cobre 0,1 %, porque este contenido no se puede confirmar en la caracterización química general. Una recuperación económica sólo sería posible si en un muestreo más detallado se encuentran leyes promedio superiores. Debido a la granulometría fina de los relaves, la lixiviación sería eventualmente el método de reprocesamiento más probable, ya que tanto la flotación y la separación gravitacional no son eficientes en la separación bajo tamaño de granos bajo 30 micrones. La magnetita prácticamente no juega ningún papel en Bellavista.

**El Salado:** el muestreo general entregó valores entre 0,7 y 1,7 % de cobre, siendo los más altos de cobre de todos los tranques muestreados. En la muestra a granel, el contenido de 0,4 % Cu, resultó significativamente menor, pero aún así la más alta de las cuatro muestras a granel. Debido a lo grueso de los granos, estas muestras de relaves se podrían preparar bien con la mesa húmeda de vibración. Los concentrados no magnéticos muestran concentraciones de 3,9 % Cu (en el Concentrado 1) y 1,9 % de Cu (en el Concentrado 2), con lo cual resultan ser los más altos contenidos de cobre de todas las muestras. Sin embargo, dado que sólo el 29 % del cobre total se recupera en los Concentrados 1 y 2, los medios de tratamiento de separación por gravedad no son recomendables. La lixiviación convencional de los dos concentrados no magnéticos dio lugar a un promedio de 60 % de recuperación en el Concentrado 1 y 72 % en el Concentrado 2. La razón de la mayor recuperación del Concentrado 2 se encuentra en el menor contenido de calcopirita en el contenido total de cobre de este concentrado. Las pruebas de lixiviación bacterial de los relaves originales dio una recuperación de 60 %. Debido a las altas pérdidas en el tratamiento y la lixiviación de concentrados no es recomendable la separación por gravedad, a pesar de la



distribución favorable del tamaño de partícula. Reprocesamiento por lixiviación parece ser el único método viable.

El hierro no juega en El Salado un papel importante, sin embargo, se encontró una muestra con una concentración de 2 gr/t de Oro. Si lograra repetirse esa concentración en otras muestras, sería necesario realizar estudios tendientes a determinar la recuperación de oro y el consumo de cianuro. Si se confirmara el contenido de oro y el consumo confirmado de cianuro fuere moderado, estaríamos ante un reprocesamiento muy interesante. Para el análisis de oro se utilizó una digestión con regia, seguido de la determinación del contenido de oro mediante Espectrometría de Absorción Atómica. El análisis debe extenderse a un número de muestras y el análisis de un ensayo de fuego se debe utilizar para nuevas reducciones de efecto pepita de oro. Se detectaron contenidos Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> de 30, 36 y 53 % en las tres muestras para los estudios preliminares: Taltal. Por lo tanto, (0,34 % como el promedio de investigación preliminar) se ha sugerido especialmente hierro aquí como un material valioso, además de cobre. En la muestra global, ha caído 28 % de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y 0,27 % reciclables cobre contenido, que eran de la toma de muestras de visión general en el nivel inferior de los resultados. El tamaño de grano de la muestra a exploratorias fue mucho menor que la evaluación óptica de las anteriores muestras. Debido a la granulometría fina, los medios de procesamiento de separación por gravedad no tuvo éxito. La lixiviación de las muestras originales con la lixiviación bacterial logra recuperaciones de casi el 70 % y en el de lixiviación convencional del 84 %. Estos son claramente los más altos valores conseguidos con los diferentes métodos las diferentes muestras.

Debido a la heterogeneidad de otras muestras se debieron tomar muestras adicionales en Taltal para determinar el contenido de hierro promedio, la distribución del tamaño de las partículas y el contenido de cobre. En caso que se confirme el alto contenido de hierro y los más altos de cobre, a partir de la toma de muestras exploratorias, Taltal sería un objeto interesante para su reprocesamiento.

## **15- Evaluación de Disposición de Residuos Generados en el Ámbito Medio-Ambiental, Seguridad y Legalidad**

**Proyecto:** Identificar elementos de valor en residuos mineros (relaves) y evaluar su recuperación como productos comerciales

**Código:** 13BPC3-19021

**Etapas 1:** Desarrollo del Bien

**Actividad 11:** Evaluación de disposición de Residuos Generados en el Ámbito Medio-Ambiental, Seguridad y Legalidad. Viaje de Personal de AHK a Alemania.

**Fecha:** Octubre 2014

### **15.1- Evaluación de Disposición de Residuos Generados**

Las caracterizaciones químicas, mineralógicas y geoquímicas de los productos intermedios y productos finales, así como de los residuos, han demostrado ser muy complejos y altamente dependientes de los procesos que los generan.

De acuerdo al esquema tecnológico más probable a ser implementado, que resulta de la estrategia de ir llevando los elementos de valor presentes o contenidos en los relaves, a estar cada vez más, en volúmenes más pequeños de muestras, tiene como consecuencia la separación por ejemplo de Cuarzo, que en algunos casos como en las muestras de El Salado constituye el 61 % de la masa. En el caso de Bellavista constituye el 57 %, en la muestra de Carola el 50 %, y en la muestra de Taltal el 43 % de la masa. Estos procesos de separación de Cuarzo por flotación tienen productos y residuos seguramente diferentes a los productos y residuos que generará la separación magnética de Fe-magnético. Estos a su vez serán de muy diferente carácter de los productos y residuos de procesos de disolución mediante lixiviación que puede ser ácida o básica. Sin aún mencionar los productos y residuos que generarán los procesos aguas abajo de la lixiviación.

Por las razones expuestas creemos que en etapas más avanzadas del tema, cuando se tenga información suficiente, se deberán elaborar los informes de pertinencias que indiquen, atendiendo el carácter de los residuos, bajo que normativa de seguridad y medioambientales deberán ser dispuestos. Promoviendo siempre que se realicen bajo las normativas más exigentes.

## **15.2- Viaje de Personal de AHK a Alemania**

En el contexto del plan de actividades que contemplaba el Proyecto, el Director Dr. Roberto Mallea Correa, realizó un viaje de trabajo a Alemania con el objeto de reunirse con autoridades y especialistas de la BGR, coejecutores del proyecto, y con empresas que tuvieran experiencia en el desarrollo de programas de pruebas metalúrgicas y tecnologías tendientes a recuperar elementos de valor desde residuos mineros, chatarra electrónica y residuos industriales.

### **20-21 de Octubre de 2014**

Encuentro con el Dr. Malte Drobe, Vicedirector del Proyecto, encargado del Proyecto en la BGR.

El encuentro con el Dr. Drobe estuvo centrado en analizar las actividades realizadas, tales como el envío y recepción de las muestras enviadas desde Chile, producto de la segunda selección (cuatro relaves: Taltal, El Salado, Carola y Clarita).

También se concordaron y coordinaron las actividades contempladas en el programa de trabajo, que estaban relacionadas básicamente con:

- Preparación de las muestras (secado, homogenización, partición, etc.).
- Realización de caracterizaciones químicas y mineralógicas (geoquímica, difracción de rayos X, análisis con micro rayos de fluorescencia, análisis de liberación de minerales.
- Pruebas de concentraciones mediante métodos gravitacionales.
- Pruebas de lixiviación con bacterias (grupo de trabajo del Profesor Dr. Axel Schippers en la BGR).
- Pruebas de lixiviación convencional.

En parte de las conversaciones participó el Profesor Alex Schippers, Jefe del grupo de Biolixiviación, con quien visitamos los laboratorios en donde se realizarían pruebas con las muestras de los relaves seleccionados por el Proyecto.

A continuación se muestran fotos que dan cuenta de la visita, las reuniones de trabajo con motivo del Proyecto:



Foto 30: Reunión Dr. Roberto Mallea, Dr. Malte Drobe y Dr. Axel Schippers



Foto 31: Reunión Dr. Roberto Mallea y Dr. Malte Drobe



Foto 32: Visitan Laboratorio, Dr. Roberto Mallea y Dr. Axel Schippers



Foto 33: Visitan Laboratorio Dr. Roberto Mallea, Dr. Malte Drobe y Dr. Axel Schippers



Foto 34: Visitan Laboratorio Dr. Roberto Mallea, Dr. Malte Drobe y Dr. Axel Schippers

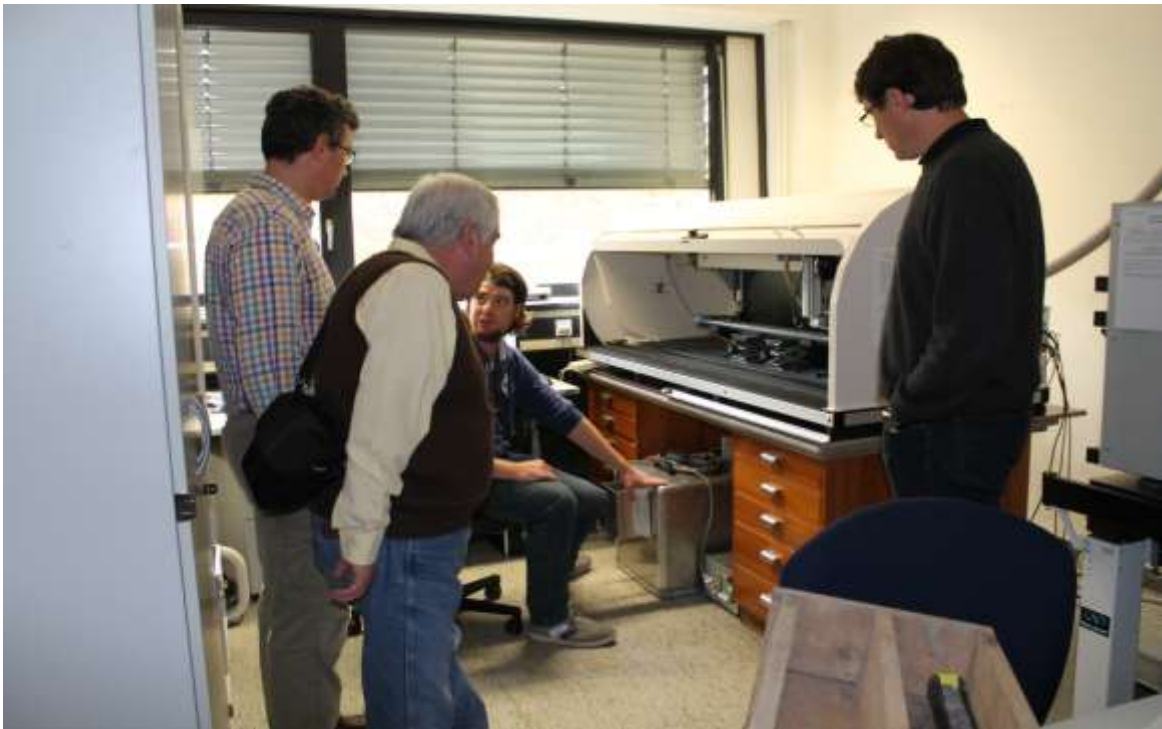


Foto 35: Visitan Laboratorio Dr. Roberto Mallea, Dr. Malte Drobe y Dr. Axel Schippers

Durante la estada en Hannover se tomaron los primeros contactos en conjunto con la BGR, con algunas empresas de investigación alemanas, con la idea de solicitar la realización de pruebas metalúrgicas.

Estas empresas son:

IBZ-Salzchemie GmbH & Co. KG was founded by Dipl. Chem. Gabriele Ziegenbalg and Prof. Dr. Gerald Ziegenbalg in 2003. We are a reliable partner for the industry and we bring in our know-how to solve your problem. We are working in lab scale and we are able carrying out research in pilot plant tests. We act as consultant in field tests and assist the work on construction sites.

We are a small company of 7 employees and have experience in a wide range of fields (technical chemistry, material science, mining industry, conservation and remediation).

Our own research is concentrated on rock sealing, immobilization of contaminants, nanomaterials and material science. We received 4 patents, started our own production and we are publishing many scientific papers. Our work is of very good quality and we try to do our jobs in time as partners and clients expect. IBZ-Salzchemie GmbH & Co. KG team moved successfully into its new building containing 7 well equipped laboratories in June 2011.



Fotos 36, 37: Instalaciones de IBZ-Salzchemie, Alemania



**Research in inorganic, technical chemistry,  
Investigations for conditioning of raw materials,**



**Application of crystallization processes ( made from oversaturated solutions) for sealing of sediments and rocks as well as immobilization of contaminants,  
Production of nanomaterials for stone conservation and cultural heritage preservation,  
Giving further training e.g. on technical chemistry and phase equilibrium science.**

Since many years we are working together with different schools and universities in the area of Freiberg. We are trying to qualify well educated people from the Saxon region. Our team takes very good care of students during their work on bachelor/master thesis and giving hints and advices for laboratory work.

**IBZ-Salzchemie GmbH & Co. KG**

Schwarze Kiefern 4

09633 Halsbrücke / OT Tuttendorf

Tel : + 49 – (0) 3731 / 200 155

Fax: + 49 – (0) 3731 / 200156

Mail: [info@ibz-freiberg.de](mailto:info@ibz-freiberg.de)

Web: [www.ibz-freiberg.de](http://www.ibz-freiberg.de)

Services offered are e.g. measurements of viscosity, strengths of different materials or analysis for grain size distribution until nanometer level as well as chemical analysis. We are also doing research for you. In the past we successfully improved products and processes of our clients which you can find here.

We are looking forward solving your problem and we improve your products/processes

Con IBZ-Salzchemie GmbH & Co. KG, se contrató la realización de una serie de pruebas de lixiviación por suspensión, con las muestras de los relaves enviados. En lo fundamental se trataba de saber el grado de extracción, especialmente de Cu y Zn, desde las muestras.

Otra empresa contactada durante la estadía en Alemania fue la empresa **Loser Chemie**.

Esta empresa posee tres departamentos de producción, uno de los cuales se dedica especialmente al reciclaje de chatarra electrónica, con el objetivo de recuperar elementos estratégicos y de alto valor.

Loser Chemikalienhandel und Anlagenbau wurde 1998 von U. Loser gegründet. Als Kerngeschäft konnte man damals den Handel mit Prozesschemikalien für die Papierindustrie und die entsprechenden Anlagen für den Einsatz bzw. Die Dosierung dieser Chemikalien bezeichnen.

Mit Beginn des Jahres 2004 erfolgte die Gründung einer GmbH.

Heute entwickelt und vertreibt Loser Chemie zukunftsorientierte und umweltfreundliche Produkte, Anlagen und Verfahren für Bereiche, die mit Wasser in jeglicher Form zu tun haben. Dabei bieten wir einen Komplettservice für die Kunden aus der Papier-, Trink und Abwasserindustrie.

Mit der Übernahme der Chemischen Fabrik und der Gründung der Loser Chemie Werk Langenbach GmbH setzen wir seit 2005 die über hundertjährige Tradition am Chemiestandort in Langenweißbach fort. Im Werk Langenbach werden vorrangig Aluminiumverbindungen hergestellt. Im Jahre 2007 wurde der ehemalige Rotta-bzw. Dystar-Standort in Zwickau als Betriebsstätte Zwickau in die Loser Chemie Werk Langenbach GmbH eingegliedert.

2010 erfolgte die Zusammenlegung der Firmen in die Loser Chemie GmbH und im August 2011 wurde der Standort Hainichen aufgelöst und den beiden Produktionsstätten Langenweißbach und Zwickau zugeteilt.

Aufgrund der immer aktuelleren Ressourcendiskussion bearbeiten wir auch Themen des Recyclings bzw. Der Verwertung von "Abfällen", die uns in Bezug auf Rohstoffe oder aufgrund von vorhandenem Synergiepotenzial als interessant erscheinen.

De igual manera se contrató con la empresa Loser Chemie, la realización de pruebas exploratorias de lixiviación de elementos, tales como Cu, Ni, V, Fe y Al entre otros.

#### **23-24 de Octubre de 2014**

La siguiente empresa visitada fue K-UTEC, KALI-UMWELTECHNIK, GmbH.

Nombre:	K-UTEC AG Salt Technologies
Sector:	Minería, Ingeniería de Procesos
Dirección:	Am Petersenschacht 7, 99706, Sonderhausen, Alemania
Teléfono:	00 49 – 3632 – 610 0
Fax:	00 49 – 3632 – 610 105
Página Web:	<a href="http://www.k-utec.com">www.k-utec.com</a>
Nombre Contacto:	Dr. Heiner Marx
Cargo en la Empresa:	CEO
E-mail:	<a href="mailto:heiner.marx@k-utec.de">heiner.marx@k-utec.de</a>

Los servicios ofrecidos por la empresa:

- Servicios de Minería y Específicos
- Servicios de Ingeniería y Construcción
- Otros Procesamiento de sales sólidas y líquidas

K-UTEC AG Salt Technologies es una empresa de ingeniería e investigación que opera en todo el mundo desde hace casi 60 años en el campo de la industria de los potasios y de la sal de gema. El lema de la compañía es “Cum granos salis sana”, este lema caracteriza de mejor manera las exigencias de K-UTEC AG, que se considera como un centro de excelencia en todos los aspectos de la minería y de procesamientos de esta industria. La gama de servicios ofrecidos por K-UTEC AG abarcan desde la exploración y evaluación de los depósitos, la planificación para la recuperación y purificación de sales y salmueras hasta el desarrollo de conceptos para la reutilización de cavidades minadas.

La materia prima base para la producción de fertilizantes y sales específicas para la industria química (por ejemplo Sales de K-Mg, boratos, nitratos, sales de litio) se obtiene de sales extraídas mediante mineral convencional, mediante salmueras procedentes de la minería por disolución, así como de salmueras naturales procedentes de lagos salados o del agua de mar.

Para una utilización comercial de estos depósitos, K-UTEC AG se basa en muestras representativas de los materiales, en sus análisis geoquímicos y su modelado, así como en el cálculo de sus recursos y la planificación de la planta de enriquecimiento de la materia prima y sus procesos químico-físicos.

Esto incluye, además de la realización de pruebas a escala de laboratorio y a escala piloto, el desarrollo de las diferentes rutas de proceso y su evaluación económica, el diseño de las instalaciones en una escala de varios miles a varios cientos de miles de toneladas, el apoyo al operador en la fase de construcción y puesta en marcha.

Se utilizan como pasos importantes de la ingeniería de procesos la trituración, cribado, flotación, disolución, evaporación, precipitación por cristalización y cristalización por enfriamiento, así como secado y compactado de(l) producto(s).

A continuación se presentan algunas fotos que dan testimonio de dicha visita y reuniones de trabajo:



Foto 38: Dr. Heiner Marx, Dr. Roberto Mallea y Agustín Cáceres en K-UTEC



Foto 39: Visita a las Plantas e Instalaciones de K-UTEC en Alemania



Foto 40: Vista de las dependencias, instalaciones y laboratorios de empresa K-UTEC en Alemania



Foto 41: Revisión de las instalaciones y planta piloto de empresa K-UTEC, con motivo de la visita de personal de AHK



Foto 42: Reuniones de trabajo en planta de K-UTEC, con motivo de visita a Alemania de Dr. Roberto Mallea

### **27 de Octubre de 2014**

Nuestro Director Dr. Roberto Mallea Correa, junto al Vicedirector Dr. Malte Drobe, fueron invitados a la 3° Sesión del Foro Chileno – Alemán de Minería y Recursos Minerales y Fraunhofer Foro de Innovación y Energía.

Durante el desarrollo de la sesión, que se desarrolló en la ciudad de Berlín, Alemania, nuestro Director y Vicedirector tuvieron la posibilidad de intercambiar experiencia con numerosos expertos, científicos, académicos, representantes de empresas y autoridades políticas alemanas y chilenas.

Un momento importante ocurrido al final de la jornada fue cuando nuestro Director Dr. Roberto Mallea tuvo la posibilidad de intercambiar breves palabras con la Presidenta de la República Michelle Bachelet.



**Foto 43: Encuentro con la Presidenta de la República Michelle Bachelet, con motivo del Foro Chileno-Alemán de Minería en Berlín, Alemania**



Foto 44: Vista General del Foro Chileno-Alemán de Minería y Recursos Minerales, 27 Octubre 2015, en Berlín

La invitación al Foro se adjunta en la **Imagen 4** siguiente:



Imagen 4: Invitación al Foro Chileno-Alemán de Minería y Recursos Minerales

## **16- Confección de Material de Apoyo que Contenga la Información de la Etapa 1**

**Proyecto:** Identificar Elementos de Valor en Residuos Mineros (relaves) y Evaluar su Recuperación como Productos Comerciales

**Código:** 13BPC3-19021

**Etapa 2:** Transferencia de Conocimiento de AHK a Oferentes

**Actividad 14:** Confección de material de apoyo que contenga toda la información de la etapa 1 (metodología usada tanto para la caracterización de la muestras y de los productos, el desarrollo de las pruebas de laboratorio, la evaluación de los resultados)

**Fecha:** Marzo – Abril 2015



### **16.1- Resultados, Propuestas y Sugerencias para Acciones Futuras**

Para definir un orden de importancia, de los residuos que genera la producción de cobre, se deben tener presente diversos criterios que apunten, en el fondo, a dimensionar un negocio a partir de estos residuos. Dentro de los criterios más relevantes están: Presencia de elementos de valor en estos residuos, cantidad de residuo que contienen estos elementos de valor (tonelaje, volumen, etc.), valor de los elementos potencialmente recuperables, nivel de demanda de esos mismos elementos, existencia de tecnologías o esquemas tecnológicos que permitan su recuperación.

De acuerdo a lo señalado y como lo muestra tabla 10, la generación de relaves para los próximos años muestra una clara tendencia al crecimiento. Así por ejemplo para el 2020 se pronostica que la generación de relaves será casi 2,6 veces mayor en comparación al año 2012, llegando cerca de 600 millones de toneladas por año. La generación acumulada de relaves desde el año 1993 al año 2002 fue de 1.087 millones de ton. En tanto entre los años 2003 al 2012 se han acumulado 2.337 millones de ton. Esto significa que durante los últimos 20 años se han acumulado 3.424 millones de toneladas de relaves en el país.

Estos relaves acumulados, prácticamente no han sido tratados metalúrgicamente en el sentido de recuperar algún elemento de valor contenido. Justamente, su posible tratamiento significa un enorme desafío, pero a su vez una tremenda oportunidad, dado que se requiere primero, un amplio trabajo de caracterización y a partir de esto desarrollar esquemas tecnológicos que permitan recuperar económicamente algunos de los elementos contenidos.

Si bien, la generación de ripios de lixiviación muestra una tendencia a disminuir hacia el año 2020, existe una importante cantidad acumulada en los últimos años. Así por ejemplo desde el año 2003 al 2012, se acumularon 5.028 mill de toneladas. Es decir, en los últimos 10 años se han acumulado 1.660 millones de toneladas de ripios más, que en los últimos 20 años, de relaves. Al igual que los relaves estos residuos prácticamente no están siendo tratados con el objeto de recuperar de ellos elementos de valor contenidos. Se debe mencionar, que los ripios en su estado original, como mineral, a diferencia de los relaves, ya fueron tratados metalúrgicamente mediante procesos de lixiviación con ácido sulfúrico, por lo que la recuperación de elementos de valor solubles, será seguramente más difícil y onerosa.

Otros residuos, como las escorias, que muestran una tendencia a la baja en su generación, y al compararlos con la masividad de los ripios y los relaves, son de importancia menor.

En el estudio se entrega información, que no solo respalda la presunta existencia de elementos de valor en los residuos mineros, sino que también entrega información que demuestra

fehacientemente la real existencia de ello. Junto con ello se han señalado las demandas futuras de ciertos elementos necesarios para sostener tecnologías de última generación.

Por lo expuesto, se considera importante continuar generando información a partir del estudio y análisis cada vez más profundo de la documentación existente y por otro lado con trabajos en terreno. Esta información servirá de base para la confección y desarrollo de procesos que permitan levantar un nuevo segmento en la actividad minera en Chile, cual es la minería secundaria.

### **16.2- Metodología Usada durante las Actividades de la Etapa 1**

La selección de los relaves en los cuales se podía realizar un muestreo general, tuvo como base el catastro del Sernageomin, las plantas de tratamiento de ENAMI y de las medianas empresas asociadas a la SONAMI. Es importante señalar, que los relaves de las grandes empresas, tanto nacionales como extranjeras, no se tuvieron en consideración, porque sus directivos no mostraron mayor interés por participar del Proyecto, por otra parte algunos indicaron que lo hacían bajo la premisa de confidencialidad y exclusividad de los resultados, lo que chocaba con el carácter público del Proyecto, y por último porque el Proyecto no contaba con los recursos para haber realizado campañas de muestreo de enormes tonelajes.

Las muestras fueron tomadas manualmente con una sonda que permite tomar muestras de 0 a 1 mt y de 1 a 2 mt. De esta forma se pudieron tomar muestras en varios puntos de un relave por día. Esto es especialmente importante, ya que los relaves son cuerpos heterogéneos, tanto vertical como horizontalmente. En los depósitos en que se construyen las paredes mediante hidrociclones, se encuentra que los taludes están constituidos de material más grueso que en el centro del tranque.

En la primera campaña de muestreo se tomaron muestras de 12 relaves, las que fueron caracterizadas químicamente. Todas las muestras fueron analizadas por 57 elementos. Los resultados de las caracterizaciones muestran presencia de varios elementos de interés, tales como cobre, hierro, vanadio, zinc, cobalto, así como también algunos elementos de tierras raras como lantano, cerio y niobio.

Con los resultados de las caracterizaciones químicas a la vista, se seleccionaron a posterior cuatro relaves para estudios más amplios y profundos. Criterios de selección fueron presencia de elementos de valor, tamaño, situación legal y accesibilidad. Los tranque finalmente seleccionados fueron: Planta Taltal, El Salado, Minera Carola y Bellavista San Felipe.

De estos cuatro relaves seleccionados se tomaron mayores cantidades de muestra y se enviaron a Alemania para caracterizaciones mineralógicas y pruebas de concentración y lixiviación. El análisis de minerales pesados fue posible realizarlo sólo a las muestras de Carola y El Salado, ya que tenían una fracción de minerales de tamaño grueso necesarios para este tipo de análisis. Las muestras de Taltal y Bellavista eran muy finas, lo que impidió poder analizarlas por minerales pesados.

Se realizaron pruebas de concentración por densidad en una mesa húmeda de vibración.

Con la muestra de Carola se logró un concentrado con 70 % de pirita y 4 % de calcopirita. Se debiera estudiar la posibilidad de separar el cobre mediante flotación o evaluar la posibilidad de agregar este concentrado a la lixiviación bacteriana de concentrados pobres en azufre.

Las muestras de Taltal exploratorias y las tomadas para la realización de pruebas mostraron gran diferencia en el contenido de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (41,7 % exploratorias y 28 % pruebas). Esto no permitió tener resultados concluyentes en el tratamiento con la mesa de vibración.

Con las muestras de El Salado se logró un concentrado con un contenido de solo el 29 % del cobre inicial, lo cual no hace recomendable este proceso.

Por el alto contenido de finos de Bellavista, no se realizaron pruebas en la mesa de vibración.

Dado el alto contenido de hierro, especialmente en las muestras de Taltal y Carola, se realizaron pruebas de separación magnéticas, para cuantificar la eficiencia de esta técnica para separar hierro magnético.

En la empresa de Ingeniería JRI, se realizaron pruebas de caracterización magnética a muestras de Taltal. Las pruebas consistieron en una evaluación preliminar respecto a cuán magnetizable es la muestra. Para esto se realizó un análisis granulométrico, luego se realizó un ensayo con el tubo Davis (DTT) y se definió la susceptibilidad magnética. Los resultados indican que a diferentes campos magnéticos (1000, 3000 y 4000 Gauss), la recuperación de hierro magnético fluctúa entre 42 a 46 %.

También se realizaron en Chile pruebas de separación magnética manual. Los resultados muestran que el 87,3 % de la muestra de **Taltal** se reportan en la fracción magnética. La muestra de **Carola** se divide en 41 % en la fracción magnética y el 58,9 % la fracción no magnética. **Bellavista** reporta 19,8 % como fracción magnética y 80 % no magnética. **El Salado** reporta solamente 3,7 % magnético y 96,3 % no magnético.

Los análisis químicos de las fracciones magnéticas y No magnéticas muestran resultados sorprendentes. En el caso de las fracciones de la muestra de Taltal tenemos que sobre el 91 % del hierro se reporta en la fracción magnética. Lo sorprendente es que también se reportan en la

fracción magnética altas concentraciones de cobre (84,9 %), vanadio (91,5 %), zinc (80 %) y níquel (89,4 %). Esto indica que estos elementos se encuentran ocluidos o cocrystalizados con magnetita. Para su recuperación será necesario liberar los minerales de cobre, mediante por ejemplo una molienda más fina.

En la muestra de Carola el 69,8 % del hierro se reporta en la fracción magnética. El contenido de otros elementos como por ejemplo cobre, lantano y cerio, es de 29,5 %, 40 % y 39,6 % respectivamente en la fracción magnética.

La muestra de El Salado reporta que el 14,2 % del hierro se encuentra en la fracción magnética. En tanto que elementos como el cobre, vanadio, níquel y zinc se encuentran con 3 %, 8,2 %, 9,8 % y 22,3 % respectivamente en la fracción magnética.

La muestra de Bellavista reporta que el 42,6 % del hierro se encuentra en la fracción magnética. En tanto que cobre, telurio y galio se encuentran con 13,3 %, 16,4 % y 16,7 % respectivamente en la fracción magnética.

Complementario a las pruebas de concentración y separación magnética se realizaron pruebas de lixiviación bacteriana y convencional por suspensión.

La lixiviación bacteriana se realizó con muestra original, en la BGR en el grupo de trabajo del Profesor Dr. Axel Schipper.

El tiempo de lixiviación se extendió por 24 días, en condiciones estable de temperatura (30 %) y concentración de ácido.

Las mejores recuperaciones de cobre por muestra fueron: Taltal 70 %, Carola 2,5 %, Bellavista 54 % y El Salado 76 %.

En la empresa **IZB-Salzchemie** de Alemania se realizaron pruebas de lixiviación por suspensión. Se usó ácido sulfúrico al 5 %. El material probado fueron los dos concentrados no magnéticos de minera El Salado, el Concentrado 2 no magnético de Minera Carola y las muestras originales de Taltal y Bellavista.

Los mejores resultados de las recuperaciones de cobre y zinc fueron las siguientes:

**Taltal** 83,9 % de Cu y 7,3 % de Zn, **Minera Carola** 1,2 % de Cu y 15,9 % de Zn, **Bellavista** 66 % de Cu y 15,3 % de Zn y **El Salado** 72 % de Cu y 1,5 % de Zn.

Las pruebas de lixiviación realizadas en Chile, se realizaron en los laboratorios de la empresa BASF.

Se emplearon HCl y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> como medios lixiviantes y Fe<sub>3</sub> (5 g/l) como medio oxidante. El tiempo de reacción fue de 2 horas a 25 y 70 ° C. las muestras corresponden a las fracciones no magnéticas de cada sitio.

Los mejores resultados de recuperación por muestra fueron: Taltal 97 % Cu con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y 95 % con HCl. Las recuperaciones de Cr, Co, Ni, ZN con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> fueron 74 %, 64 %, 62 %, 72 % y 85 % respectivamente.

En El Salado la recuperación de Cu alcanza con los dos medios lixiviantes, 98 %. También resultan muy interesantes las recuperaciones de Sn, Cd, Te y Ge que alcanzan sobre el 90 %, con los dos lixiviantes. La recuperación de Bi alcanza casi 80 %.

Por su parte Minera Carola, obtiene la mejor recuperación de cobre bajo el sistema con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> con 87 %, en tanto, con HCl alcanza sólo el 65 %. Níquel Ni, Estroncio Sr, cesio Cs, hafnio Hf, Tantalio Ta, así como las tierras raras lantano La, torio Th, alcanzan en el sistema con HCl recuperaciones sobre el 80 %.

En Bellavista las recuperaciones de cobre alcanzan 85 % con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y 81 % con HCl. Interesantes recuperaciones se lograron de Cd, Se, Te, Ge superando los 90 % de rango.

En resumen se han logrado muy interesantes grados de disolución, tanto de Cu como de Zn y otros elementos. En algunas muestras como Carola se han logrado grados de disolución de Ni por sobre 93 % con HCl.

En resumen creemos que se ha cumplido totalmente con uno de los objetivos centrales del Proyecto, el cual era la evidenciación y cuantificación de elementos de valor presentes en los relaves.

El segundo tema al cual creemos haber aportado importantes conocimientos, tiene que ver con saber con qué esquemas tecnológicos y bajo que parámetros es posible lograr disoluciones con altos grados de extracción de elementos de valor. Todo esto junto con importante información respecto a la composición mineralógica, clave para desarrollar esquemas tecnológicos tendientes a la recuperación de elementos de valor.

Las tareas pendientes del Proyecto que no se pudieron abordar por falta de tiempo y fundamentalmente de recursos financieros, son la realización de pruebas que permitan definir procesos (extracción mediante extractantes orgánicos, intercambiadores iónicos, cementación, cristalización fraccionada, osmosis, etc.) de recuperación de elementos de valor desde la matriz acuosa, después de la lixiviación.

En caso de una posible continuación del tema, se recomienda la realización de pruebas tendientes a liberar los minerales de los elementos de valor, de otros minerales, especialmente magnetita y cuarzo.

También la realización de pruebas a mayor escala a objeto por un lado de validar los resultados en este trabajo y por otro lado con el fin de generar cantidad de soluciones que permitan realizar las pruebas aguas debajo de la lixiviación y obtener muestras de productos comerciales.

Con todos estos antecedentes recopilados producto de la investigación y desarrollo del Proyecto, se procedió a realizar una serie de reuniones (con el fin de transmitir los resultados hasta aquí obtenidos de acuerdo a la metodología descrita), con las instituciones asociados oferentes y empresas externas que manifestaron interés de participar aportando conocimientos, recursos y productos, mención especial cabe hacerle a BASF Chile, quien estuvo acompañando durante todo el Proyecto, a partir de las actividades de separación magnética de las muestras y a través de sus Laboratorios para las pruebas de lixiviación efectuadas en Chile, junto con estar presentes en las reuniones para conocer estados de avances y resultados de las distintas etapas del Proyecto.

## **17- Reuniones, Mesas de Trabajo, Talleres Capacitación y Entrega Material Apoyo**

**Proyecto:** Identificar Elementos de Valor en Residuos Mineros (relaves) y Evaluar su Recuperación como Productos Comerciales

**Código:** 13BPC3-19021

**Etapas 2:** Transferencia de Conocimiento de AHK a Oferentes

**Actividad 15:** Reuniones, mesas de trabajo, talleres de capacitación y entrega de material de apoyo para la transferencia del bien

**Fecha:** Abril 2015

Con el fin de transmitir los resultados aquí obtenidos a la fecha, y con el ánimo de empezar a definir lo que posiblemente sería la continuación del Proyecto, se llevaron a cabo una serie de reuniones durante el mes de Abril del 2015, con integrantes o representantes de las instituciones asociadas del Proyecto, así como con BASF Chile, en las que se presentaron los resultados logrados a través de elementos audiovisuales, así como también con la entrega de material impreso en pequeñas carpetas que contenían los principales hitos y resultados del Proyecto, así como también con la entrega en pendrives con las presentaciones y resúmenes de las distintas pruebas o caracterizaciones y con los análisis de los resultados, las tareas venideras, así como también las actividades realizadas y bajo qué condiciones.

A continuación se muestran una serie de fotos que ilustran una de las varias reuniones en las dependencias de BASF Chile en la comuna de Quinta Normal, con el fin de seguir colaborando en I+ D, investigación y desarrollo, ya que para ellos el Proyecto se enmarca de forma perfecta en lo que es la recuperación de elementos de valor desde relaves, por su negocio de extractantes, para así tener pruebas concretas o evidencia respecto a que productos son los más adecuados bajo ciertos parámetros.



**Foto 45: Directivos de BASF Chile junto con Directivos de AHK Business Center en reuniones del Proyecto**





**Foto 46: Reunión de Director Proyecto con Directivos de BASF Chile y Directivos AHK Business Center**



**Foto 47: Reunión de Director Proyecto con Directivos de BASF Chile y Directivos AHK Business Center**

## **18- Difusión del Bien Público a través de las Páginas Web de los Oferentes**

**Proyecto:** Identificar Elementos de Valor en Residuos Mineros (relaves) y Evaluar su Recuperación como Productos Comerciales

**Código:** 13BPC3-19021

**Eta 3:** Difusión del Bien Público

**Actividad 17:** Difusión del Bien Público mediante las páginas web de los oferentes, visualización de los documentos generados por el Proyecto en las páginas web de las instituciones oferentes

**Fecha:** Mayo 2015

### **Difusión del Bien Público a través de las Páginas Web de los Oferentes**

Con fecha 02 de Junio y con motivo de la presentación preliminar de los resultados generados por el Proyecto en el Ciclo de Charlas Técnicas de Exponor 2015, en Antofagasta, y teniendo en cuenta el interés generado en la comunidad científica y de investigación en el transcurso del desarrollo del Proyecto, además visualizando y definiendo la continuación del Proyecto ya en una etapa de Planta Piloto, con más envergadura así como con mayor utilización de recursos, se ha establecido el compromiso de todos los asistentes integrantes del Comité técnico del Proyecto, de difundir los resultados tanto preliminares como el Informe Técnico Final del Proyecto en las respectivas páginas web de las Instituciones Asociadas y Beneficiaria, junto con los Estudios realizados por el Sernageomin, a las muestras de relaves objeto de estudio, todo esto dado el carácter de Bien Público de los resultados de la investigación,

Es así como se definió por los integrantes del comité que se subirán a las páginas web de las Instituciones primeramente la Presentación de Resultados que se realizará en Antofagasta con motivo del Seminario de Cierre del Proyecto, El Informe Técnico Final del Proyecto, junto con los estudios solicitados al Sernageomin de las muestras de relaves de la 1° y 2° selección.

En lo que respecta a que instituciones y sus links en los que tendrán disponible estos antecedentes, será de la siguiente manera:

Beneficiario: AHK Business Center: [www.camchal.cl](http://www.camchal.cl)

Link de la publicación web: <http://chile.ahk.de/es/novedades/news/single-view/artikel/camchal-publica-informe-tecnico-concluyendo-el-proyecto-identificar-elemento-de-valor-en-residuos-mineros-relaves-y-evaluar-su-recuperacion-como/?cHash=1d9ecc930c7bc4b439269872ab18ed28>

Mandante 1: Ministerio de Minería: [www.minmineria.cl](http://www.minmineria.cl)

Mandante 2: COCHILCO : [www.cochilco.cl](http://www.cochilco.cl)

Mandante 3: SONAMI : [www.sonami.cl](http://www.sonami.cl)

Los resultados del Proyecto, contenidos en el Informe Técnico Final, estarán plenamente disponibles a partir del 01 de Octubre de 2015 en las páginas web antes citadas, para que la mayor cantidad de público objetivo pueda acceder a la información generada por este estudio.

Por otra parte esta información estará disponible de manera permanente, ya que las páginas web de las instituciones citadas no requieren del pago o suscripción de ciertos servicios o productos para su mantención y funcionamiento.

## **19- Jornadas de Divulgación**

**Proyecto:** Identificar Elementos de Valor en Residuos Mineros (relaves) y Evaluar su Recuperación como Productos Comerciales

**Código:** 13BPC3-19021

**Eta**pa 3: Difusión del Bien Público

**Actividad 19:** Jornadas de Divulgación, Reuniones, Mesas de Trabajo, Participaciones en Ferias, Eventos y Jornadas Científico-Tecnológicas, Foros

**Fecha:** Mayo – Julio 2015

### **Jornadas de Divulgación**

Como parte de las jornadas de divulgación del bien público, se tuvieron muy en cuenta todas las iniciativas realizadas y llevadas a cabo por las instituciones asociadas al Proyecto, tales como la Exponor 2015, evento ícono del clúster minero en Chile que se realizó durante la quincena de mayo en Antofagasta, que junto con presentar las últimas novedades tecnológicas en materia minera y de acercar a proveedores de insumos mineros, tuvo también una serie de charlas técnicas que permitieron a muchos patrocinadores de investigación la oportunidad de dar a conocer la vanguardia en investigación y estudios en materia minera, junto con la realización y presentación de proyectos. Es así como el día jueves 14 de mayo del 2015, y como iniciativa de Camchal, Dr. Roberto Mallea tuvo la oportunidad de concurrir y exponer los resultados preliminares del Proyecto como parte de este ciclo de charlas. Se adjuntan antecedentes y fotos de dicho ciclo de charlas.



Imagen 5: Credencial de Expositor en Charla Técnica Exponor 2015



Foto 48: Dr. Roberto Mallea realizando Charla Técnica con motivo de Exponor 2015 en Antofagasta



Foto 49: Dr. Roberto Mallea realizando Charla Técnica con motivo de Exponor 2015 en Antofagasta

Por otra parte, durante la primera semana de junio, se reunió el Comité Técnico del Proyecto, a fin de conocer los resultados preliminares de la investigación llevada a cabo por el Dr. Roberto Mallea, esto se realizó en las dependencias del Ministerio de Minería, y posterior a la presentación de los resultados preliminares del Proyecto, doña Grecia Pérez de Arce dio algunas indicaciones junto con la gente de Corfo presente respecto a lo que sería la etapa venidera o posterior de este Proyecto, se discutió con el Comité Técnico respecto a si lo venidero debía ser la continuación de la investigación de recuperación de elementos de valor a través de una planta piloto, a escala industrial, para poder tener resultados más certeros, se discutieron sobre cuáles serían las fuentes de financiamiento, tales como instrumentos Corfo o del FIE, y se dejó la invitación para que empresas de investigación privadas tales como BASF o JRI pudieran sumarse para trabajar en conjunto en la próxima etapa. Se envió por mail la Presentación de los Resultados Preliminares del Proyecto a todos los Asistentes.

Se adjuntan fotos de dicha reunión:



**Foto 50: Presentación de Resultados Preliminares del Proyecto, 02 Junio 2015, Ministerio de Minería.**



Foto 51: Presentación de Resultados Preliminares del Proyecto, 02 Junio 2015, Ministerio de Minería.



Foto 52: Presentación de Resultados Preliminares del Proyecto, 02 Junio 2015, Ministerio de Minería

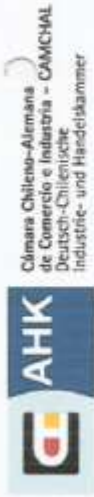


La lista de Asistentes a la Reunión en el Ministerio de Minería se adjunta en la **imagen 6** siguiente:

N°	Nombre	Empresa o Institución	Firma
1	Alejandro Alvarez J.	SRT	[Firma]
2	SERGIO ABUELO G	BASF	[Firma]
3	JORGE MEDIAS E.	BASF.	[Firma]
4	Jürgen Leisbrandt	SONAMI	[Firma]
5	JORGE MARTINEZ SAavedra	COCHILCO	[Firma]
6	Juan D. RAYO C.	JRI	[Firma]
7	Enzo Cantillo	Cochilco	[Firma]
8	Francisco Donolo R.	Cochilco	[Firma]
9	Jorge Martinez S.	<del>COCHILCO</del>	[Firma]
10	Daniel Scahill C.	ENAMI	[Firma]
11	JAYSON SIGARRA V.	FLOMETALES LTD	[Firma]
12	Roberto Malle C.	Canchel	[Firma]
13	CARLOS SOTO T.	CATI CHAL	[Firma]
14	BENJAMIN CAMPOS CRUZ	MINERA UNICOM GENERAL	[Firma]
15	Gisela Peltzer de Anic	MINISTERIO DE MINERIA	[Firma]

**Reunión Dentro del Marco del Proyecto: Identificar Elementos de Valor en Residuos Mineros (Relaves) y Evaluar su Recuperación Como Productos Comerciales**

Fecha: 02 de junio de 2015  
 Lugar: Sala de Reuniones Ministerio de Minería  
 Hora Inicio: 15:00



Por otra parte, con fecha 01 de Julio de 2015, se participó en el Foro: Optimización de procesos en la minería: Made in Germany; foro organizado por la Cámara Alemana de Comercio e Industria, en un salón del Hotel Plaza El Bosque, en la comuna de Las Condes, evento al que concurrieron unas doscientas personas del clúster minero, entre proveedores, investigadores, delegaciones de Alemania de importantes Institutos y Centros de Investigación y Desarrollo, además de la participación de empresas proveedoras de tecnología de Inglaterra, con quienes se pudo conversar acerca de las últimas tendencias en innovación y desarrollo en la industria minera y con quienes se pudieron realizar reuniones para concretar futuras alianzas en materia de cooperación y traspaso de información y conocimientos, desde luego que se informó de la situación del Proyecto y se comentaron los resultados preliminares obtenidos a la fecha.

En la imagen 7 se puede apreciar la tarjeta que da cuenta de la participación y asistencia al Foro



Imagen 7: Tarjeta de Identificación de Asistencia al Foro de Optimización de Procesos en la Minería

## **20- Realización de Seminario de Cierre del Proyecto**

**Proyecto:** Identificar Elementos de Valor en Residuos Mineros (relaves) y Evaluar su Recuperación como Productos Comerciales

**Código:** 13BPC3-19021

**Etapas 3:** Difusión del Bien Público

**Actividad 20:** Realización de un Seminario de Cierre del Proyecto, procurando la participación de los beneficiarios finales atendidos, autoridades locales, centros académicos y de investigación, asociaciones gremiales y otros.

**Fecha:** Julio 2015

## Presentación de Resultados del Proyecto

Con fecha 30 de Julio de 2015 se llevó a cabo en la ciudad de Antofagasta la Charla de Presentación de Resultados del Proyecto: **“Identificar Elementos de Valor en Residuos Mineros (Relaves) y Evaluar su Recuperación Como Productos Comerciales”**. Esta iniciativa de CAMCHAL a través de su filial AHK Business Center S.A. estuvo apoyada por el Programa InnovaChile de CORFO, a través de su Instrumento Bienes Públicos para la Competitividad, y contó con el apoyo del Ministerio de Minería de Chile, SONAMI, ENAMI, COCHILCO, SERNAGEOMIN y el Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, BGR de Alemania.

Esta Charla se realizó en el Salón Linzor, del Hotel Terrado Suites de Antofagasta, Av. Baquedano 015, Antofagasta, II Región, y contó con la participación y asistencia de importantes representantes de instituciones y autoridades públicas, junto con representantes de empresas mineras, y académicos e investigadores de importantes institutos de investigación y universidades de la región. La invitación enviada con motivo de esta charla se muestra en la **Imagen 8**, siguiente:

**AHK**  
Cámara Chileno-Alemana  
de Comercio e Industria - CAMCHAL  
Deutsch-Chilenische  
Industrie- und Handelskammer

Proyecto apoyado por

**CORFO**  
sueña emprende crece

*Marlene Sánchez Tapia, Directora Regional CORFO y Cornelia Sonnenberg, Gerente General de la Cámara Chileno - Alemana de Comercio e Industria - CAMCHAL, tienen el agrado de invitarle a la Charla de Presentación de Resultados del Proyecto:*

**“Identificar Elementos de Valor en Residuos Mineros (Relaves) y Evaluar su Recuperación como Productos Comerciales”**  
dictada por **Dr. Roberto Mallea Correa, Director en Chile del Proyecto BGR-CAMCHAL**

A realizarse el día Jueves 30 de Julio en el Hotel Terrado Suites de Antofagasta (Baquedano 015), Salón Linzor,  
a partir de las 10:30 AM.

*Esta iniciativa de Camchal a través de su filial AHK Business Center S.A, es apoyada por el Programa Innova Chile de CORFO, y cuenta con la participación y el apoyo del Ministerio de Minería de Chile, SONAMI, ENAMI, COCHILCO, SERNAGEOMIN y el Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales, BGR de Alemania.*

Le agradecemos confirmar su asistencia al correo: [csoto@camchal.cl](mailto:csoto@camchal.cl) , fono: 6 3402142

**BGR**  
Bundesanstalt für  
Geowissenschaften  
und Rohstoffe

**ENAMI**  
EMPRESA NACIONAL DE MINERÍA

**SONAMI**

Esta iniciativa financiada por el Programa InnovaChile de CORFO en su línea de apoyo, Bienes Públicos para la Competitividad, fue presentada en la ocasión por el Sr. Carlos Patricio Soto, Ingeniero de Proyecto AHK-BGR de la Cámara Alemana de Comercio e Industria CAMCHAL, junto con Sr. Juan Ignacio Zamorano, Sub-Director Regional de CORFO Antofagasta, también dedicó algunas palabras la Srta. Annika Glatz, Project Manager Minería de la Cámara Alemana de Comercio e Industria CAMCHAL; Por su parte, el Director del Proyecto Dr. Roberto Mallea Correa realizó la exposición de la presentación de los resultados obtenidos durante la investigación, ejecución y desarrollo del proyecto. Posteriormente, una vez expuestas las conclusiones y las tareas venideras del proyecto, se realizó una ronda de preguntas por parte de los asistentes con respecto a los resultados, metodología e investigación. Finalmente se realizó un Catering para que disfrutaran los asistentes y se conversara y comentara de manera más informal sobre los resultados y estudios.

El programa de la Charla de Presentación de Resultados del Proyecto estuvo distribuido de acuerdo a la **Imagen 9**, siguiente:

#### **PROGRAMA DE CHARLA DE EXPOSICION DE RESULTADOS PROYECTO:**

##### **“IDENTIFICAR ELEMENTOS DE VALOR EN RESIDUOS MINEROS (RELAVES) Y EVALUAR SU RECUPERACION COMO PRODUCTOS COMERCIALES”**

- 1- 10:45 A.M Palabras de Bienvenida a la Charla, Comentarios y Agradecimientos por Parte de Ingeniero de Proyecto Sr. Carlos Soto Muñoz.
- 2- 10:55 A.M. Palabras de Bienvenida a la Charla y Comentarios por parte de Director Regional de CORFO Antofagasta, Sr. Juan Ignacio Zamorano.
- 3- 11:05 A.M. Palabras de Bienvenida a la Charla, Comentarios, Introducción, Desarrollo y Alcance del Proyecto y de Iniciativas por parte de Representante de Camchal, Srta. Annika Glatz (Project Manager Minería Camchal).
- 4- 11:15 A.M. Presentación del Proyecto, Desarrollo del Estudio, Resultados y Conclusiones del Proyecto por parte de su Director Dr. Roberto Mallea Correa.
- 5- 12:00 A.M. Ronda de Preguntas, Consultas y Comentarios por parte de los Asistentes.
- 6- 12:30 A.M. Invitación a Catering por parte de los Organizadores.

A continuación se presentan una serie de fotografías que dan cuenta de la Presentación realizada en Antofagasta:



Foto 53: Dr. Roberto Mallea dando inicio a la Presentación de Resultados del Proyecto en Antofagasta



Foto 54: En Primera Fila, Srta. Annika Glatz, de Camchal, Sra. Amanda Pérez Seremi Minería, y Sr. Juan Ignacio Zamorano de Corfo Dirección Regional de Antofagasta



Foto 55: Lorena Morgado Asesor Seremi Antofagasta, Sr. Salvador Barrientos, CORE Antofagasta, Sr. Luis Rojas, Director Cicitem



Foto 56: Vista General de Asistentes a la Presentación de Resultados del Proyecto en Antofagasta



Foto 57: Dr. Roberto Mallea dando cuenta de las Conclusiones y Reflexiones del Proyecto, en Antofagasta

La lista de los Asistentes a la Presentación de Resultados se encuentra en la **Imagen 10** siguiente:



**Seminario de Clausura**  
 Participantes de Charla de Exposición de Resultados Proyecto "Identificar Elementos de Valor en Residuos Mineros (Relavés) y evaluar su recuperación como productos comerciales"

Nombre	Institución	Cargo	RUT	correo electrónico	Firma
VICTOR CARRERA	UCM	ACADÉMICO	5.568.880-K	MONSERRAT@UCM	
WILSON SANCHEZ	UCV	SUB. ADM. BIOTECN.	11.214.112-0	wilson.sanchez@ucv	
PEDRO GALLEGUINO	CICITEM	INVESTIGADOR	12.417.291-2	p.galleguino@cicitem	
SUSANA STEBER	U.C.N.	CONSEJERA DE BIOTECN.	6.338.517-4	STEBER@UCN	
FABRIZIO QUINERO	U.C.N.	DIRECTOR	6.899.459-4	FABRIZIO@UCN	
LEONARDO BARRERA	Barrera	CONSULTOR	8.388.621-4	leonardo@barrera.com	
GERARDO CASTRO	DESARROLLO	✓	6.763.565-5	atacacondes@desarrollo.com	
LUIS POISSON	TILGROSA	GERENTE	7.263.796-5	POISSON@TILGROSA	
ANITA FUENTES	CEITISA	Mg. Purpura	16.672.998-8	anita@ceitisa.com	
JUAN CARLOS TAMAYO	CONSEJO	Subdirector	8.493.262-0	jtamayo@consejo.com	
MANUELA RIVERA	VA-CIATEX	Productora	7.620.705-8	manuela@ciatex.com	
AMANDA DEJES	SOLSONA	Senora	10.753.584-3	amanda@solsona.com	
MARIO ACUNA	GORE	BIOTECN.	5.962.819-6	mario.acuna@gore.com	
Diego Fernández A.	Seremi Minero	Asesor	12.495.28-7	diego.fernandez@seremi.com	
Rosaura Moya	Seremi Minero	Periodista	13.419.133-8	rosaura.moya@seremi.com	
Luis Rojas	CIATEX	Director	10.102.714-7	luis.rojas@ciatex.com	



## **21- Bibliografía**

- [1] Informe BGR, abril 2010.
- [2] Informe Comisión Europea, Junio 2010. Critical raw materials for the EU. Report of the Ad-hoc Working Group on defining critical raw materials.
- [3] Reseña metalogenica de chile y de los procesos que determinan la metalogenesis andina. Víctor Maksaev J. Septiembre, 2001.
- [4] Anuario Cochilco 2012, pág. 15.
- [5] Anuario Cochilco 2012, pág. 15.
- [6] Anuario Cochilco 2012, pág. 17.
- [7] Anuario Cochilco 2012, pág. 19.
- [8] Anuario Sernageomin 2012, pág. 44.
- [9] Anuario Sernageomin 2012, pág. 47.
- [10] Anuario Sernageomin 2012.
- [11] Reporte de sustentabilidad 2012, Grupo CAP
- [12] Reporte de sustentabilidad 2012, Grupo CAP
- [13] Anuario SERNAGEOMIN 2012.
- [14] Comisión Chilena del Cobre, Cochilco.
- [15] Gestión de Residuos Industriales Sólidos Mineros y Buenas Prácticas. ACUERDO MARCO PRODUCCIÓN LIMPIA SECTOR GRAN MINERÍA BUENAS PRÁCTICAS Y GESTIÓN AMBIENTAL Noviembre 2002
- [16] DIA Transporte de barros anódicos Codelco División Ventanas, agenda nº 1 de solicitud de aclaraciones, rectificaciones y/o ampliaciones a la declaración de impacto ambiental del proyecto "transporte de barros anódicos"
- [17] Gestión de residuos industriales sólidos mineros y buenas prácticas, subsecretaría de economía consejo nacional de producción limpia, acuerdo marco producción limpia sector gran minería buenas prácticas y gestión ambiental, noviembre 2002.
- [18] Metalurgia Extractiva, Curso E-Learning. Víctor Conejero Trujillo, Académico del departamento de Ingeniería Metalúrgica de la Universidad Católica del Norte. Antofagasta – Chile.
- [19], [R. BIPRA, "Characteristics and utilization of copper slag – a review", Resources, Conservation and Recycling 39 (2003) 299-313).

- [20] Estudio de Cochilco, Proyección del consumo de energía eléctrica de la minería del cobre en Chile al 2020. Jorge Zeballos V., Analista Dirección de Estudios. Noviembre 2012.
- [21] Geología del prospecto Cerro Carmen; mineralización de uranio y tierras raras. Heriberto Fortín Medina, Boris Alarcón Farías. Comisión Chilena de Energía Nuclear\* Amunátegui 95, Santiago- Chile.
- [22] Procesos aplicados en la concentración de minerales que contienen tierras raras. una revisión. Osvaldo Pavez, Luis Valderrama, Antônio E.C. Peres. Departamento de Metalurgia – Universidad de Atacama- COPIAPO – CHILE.
- [23] CODELCO, Barros anódicos, División Codelco Alto Norte.
- [24] Composición de escorias. El Teniente, Fundición Coletones.
- [25]. Proyecto: “Comercialización de polvos de fundición” Xstrata Copper Chile S.A.
- [26] ENAMI, Proyecto PEPA, Planta de tratamiento de polvos de fundición.
- [27] Estudios realizados por R. Mallea CIMM.
- [28] Estudio realizado en el CIMM.