

Evaluación de potenciales recursos primarios o subproductos de Co y Mn en Chile

Brian Townley, Alejandro Díaz y Rodrigo Luca

Advanced Mining Technology Center (AMTC)

Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas

Universidad de Chile

Febrero 2018



**MINERÍA
NO METÁLICA**
COMITÉ CORFO



Tabla de contenido

1. Introducción	1
1.1 Objetivos	1
1.2. Alcances del presente estudio	2
1.3. Metodología	2
1.4. Antecedentes y reseña histórica	3
1.5. Metalogénesis de Chile y ambientes de potencial por Cobalto y Manganese	5
1.5.1. Yacimientos históricos de Cobalto como mena principal	5
1.5.2. Yacimientos históricos de Manganese como mena principal.....	5
1.5.3. Metalogénesis de Chile y ambientes de potencial por Cobalto y Manganese.....	6
2. Tipos de yacimientos en Chile con potencial por Cobalto	12
2.1. Yacimientos de potencial mena primaria por Cobalto.....	12
2.2. Yacimientos con potencial por Cobalto como subproducto.....	13
2.3. Relaves con potencial por Cobalto.....	14
3. Tipos de yacimientos en Chile con potencial por Manganese	16
3.1. Yacimientos de mena primaria por Manganese	16
3.2. Otras posibles fuentes de Manganese	16
3.3. Relaves con potencial por manganese	18
4. Distritos de explotación histórica y/o con potencial para explotación de Co y Mn	20
4.1. Distritos por Cobalto como mena primaria o potencial subproducto	20
4.1.1. Distrito San Juan.....	20
4.1.2. Distrito Tambillos	35
4.1.3. Distrito Los Morteros	44
4.1.4. Distrito El Zapallo	47
4.1.5. Yacimiento Boquerón Chañar	52
4.1.6. Distrito Mina Merceditas – Sector El Volcán – Cajón del Maipo	55
4.1.7. Otros distritos de interés por Cobalto.....	58
4.2. Distritos por Manganese.....	63
4.2.1. Distrito Lambert	64
4.2.2. Distrito Arqueros.....	65
4.2.3. Distrito Talcuna	67
4.2.4. Distrito Las Cañas	68

4.2.5. Distritos Corral Quemado y Fragua.....	71
4.2.6. Distrito minero El Arrayán.....	77
4.2.7. Recursos Mineros por Manganese.....	78
5. Metalurgia extractiva y recuperación de Cobalto y Manganese	79
5.1. Mineralogía del Cobalto y metalurgia extractiva.....	79
5.1.1. Procesamiento de minerales – metalurgia extractiva.....	79
5.1.2. Extracción y refinado.....	81
5.2. Mineralogía del cobalto y metalurgia extractiva en Chile	82
5.2.1. Procesos de Concentración de Cobalto	82
5.2.2. Procesos de obtención de Cobalto.....	83
5.3. Mineralogía del Manganese y metalurgia extractiva.....	85
5.3.1. Mineralogía	85
5.3.2. Minería y concentración	85
5.3.3. Extracción y refinado.....	87
5.4. Mineralogía del manganese y metalurgia extractiva en Chile.....	89
6. Discusión y Conclusiones.....	90
6.1. Potenciales recursos minerales por cobalto en Chile: menas primarias o subproductos	90
6.2. Distritos con potencial por exploración y eventual explotación de cobre y cobalto.....	93
6.2.1. Distrito Minero San Juan – Región de Atacama	93
6.2.2. Distrito Tambillo – Región de Coquimbo	94
6.2.3. Mina La Estrella – Distrito El Zapallo, Región de Atacama.....	95
6.2.4. Otros yacimientos evaluados por Cobalto	95
6.3. Distritos con potencial por exploración y eventual explotación de manganese	97
6.4. Desafíos de exploración, explotación y metalurgia del Cobalto y Manganese	97
6.5. Comentarios Finales	98
Referencias.....	99
Anexo 1 Listado de estudios y publicaciones existentes en formato digital.....	103
Anexo 2 Resultados de Análisis geoquímicos y certificados de análisis	104

1. Introducción

El desarrollo progresivo de nuevas tecnologías y fuentes de energía en el mundo, en particular eléctrica, han impulsado una fuerte demanda por sistemas de almacenamiento, fundamentalmente baterías de diversos tipos y escalas, tanto para aparatos tecnológicos de uso cotidiano, como para las nuevas generaciones de vehículos eléctricos. La electro-movilidad ya se ha instalado en el mundo y representa con seguridad el reemplazo progresivo de vehículos de combustión, sobre todo dadas las tendencias y necesidades de reducción de emisiones de contaminantes a nivel global. Lo anterior implica una demanda creciente por baterías, donde para electro-movilidad predomina el uso de baterías en base a litio, típicamente del tipo Li-Co, Li-Ni, Li-Co-Mn, entre otros. El potencial que sostiene Chile como productor mundial de litio, uno de los países con mayores recursos por este elemento, abre espacio a una oportunidad única de diversificar la minería nacional, idealmente no solo en función de una producción de materia prima, si no una oportunidad de otorgar valor agregado a los productos minerales, llegando a la fabricación en Chile de baterías para el mercado global. Si bien la producción de litio es viable, esto dado los grandes recursos naturales existentes, queda la incógnita referente a la existencia de recursos minerales por cobalto y manganeso y las posibilidades reales de una producción nacional.

En base a las necesidades estratégicas planteadas para una producción y oferta nacional de los metales cobalto y manganeso, a solicitud de CORFO (Comité Minería No Metálica) se ha desarrollado el presente estudio de evaluación de los potenciales recursos minerales por cobalto y manganeso en Chile, centrado en las regiones de Atacama, Coquimbo y Metropolitana. En este informe se integran los trabajos previos del presente estudio, incluyendo una revisión bibliográfica de una amplia gama de antecedentes referentes a la minería pasada y distritos históricos de producción de cobalto y manganeso en Chile (Townley et al., 2017a), como también estudios en terreno, con visitas, toma de muestras y revisiones realizadas por los autores del presente estudio (Townley et al., 2017b). En base a todos los antecedentes y los estudios realizados en terreno, se incorpora una discusión referente a los potenciales de exploración y producción de cobalto y manganeso en Chile, ya sea a partir de yacimientos de mena primaria por estos minerales, o bien a partir de yacimientos desde los cuales existan posibilidades no evaluadas de recuperación como subproducto, o bien minas en las cuales se pueda evaluar la recuperación a partir de depósitos de relaves.

1.1 Objetivos

El objetivo general del presente informe es proveer una visión global de los potenciales recursos existentes en Chile por cobalto y manganeso, en particular enfocado en las regiones de Atacama, Coquimbo y Metropolitana, esto mediante la integración de la revisión bibliográfica de antecedentes y de la información levantada durante la visita en terreno de aquellos distritos más relevantes en las regiones de estudio.

Los objetivos específicos de este informe son:

- Presentar los antecedentes históricos al respecto de la explotación pasada de cobalto y manganeso en Chile.

- Describir las características minerales de ocurrencia de estos metales, los ambientes geológicos en los cuales se presentan, y la factibilidad minera y metalúrgica de recuperación según tipo de yacimiento.
- Describir los ambientes tectónicos, magmáticos y metalogénicos en los cuales existe mayor potencialidad de ocurrencia de estos metales, ya sea como yacimientos de mena primaria, o yacimientos en los cuales estos metales pudieran representar un subproducto relevante. En base a esto y a información existente, evaluar también los posibles recursos que pudieran existir y ser recuperados en forma económica en depósitos de relaves.
- Describir y evaluar algunos de los distritos mineros históricos más relevantes de explotación de estos metales en Chile, revisión de datos de recurso y producción pasada y estimación de los potenciales recursos geológicos remanentes, como también el levantamiento de información y muestreo en terreno, esto último en forma de inspección presencial y validación de antecedentes.
- En base a la ocurrencia mineral preponderante en yacimientos antiguos conocidos, evaluación de los procesos de tratamiento y recuperación metalúrgica de estos metales y análisis de factibilidad técnico-económica de recuperación respecto de otros productores internacionales.
- Evaluación del potencial existente en Chile por recursos minerales por cobalto y manganeso, tanto desde posibles yacimientos de mena primaria por estos metales, como las posibilidades de recuperación de estos como subproductos de la minería de otras menas principales, y eventualmente la posible recuperación desde depósitos de relaves.

1.2. Alcances del presente estudio

El estudio realizado se basa en antecedentes históricos y revisiones bibliográficas de la información pública existente conjuntamente con aquella información privada o confidencial que fue posible acceder vía gestión de CORFO. Las actividades de revisión y validación de información realizadas en terreno consistieron en visitas de corta duración, esto en los distritos de mayor relevancia o en aquellas donde se presentaron oportunidades de potencial interés. La toma de muestras en terreno, para análisis geoquímicos se limitó a un total de 50, las muestras obtenidas principalmente desde desmontes o acopios presentes en las diversas faenas mineras visitadas, en algunos casos desde afloramientos en superficie o subterráneos.

Se debe indicar que el enfoque del presente estudio se ha orientado netamente a las regiones de interés, Atacama, Coquimbo, y en menor medida, Metropolitana. No obstante lo anterior, en la revisión se ha incluido otros potenciales ambientes geológicos en los cuales pudiera existir ocurrencia de Co y Mn, pero esto último principalmente basado en bibliografía.

Se destaca que este informe integra y concluye las actividades e informes previos del estudio global, por lo que buena parte de la información es tomada en forma directa de estos (Townley et al. 2017a y b).

1.3. Metodología

Para el desarrollo del estudio bibliográfico se emplearon una diversidad de buscadores de información, incluyendo buscadores de publicaciones internacionales (ej. ISI Web o Knowledge, SCOPUS) y búsquedas nacionales en las bibliotecas de Universidades Chilenas, en la biblioteca y

bases de datos de SERNAGEOMIN, en la biblioteca de CORFO, y en las bases de datos públicas de ENAMI. En el anexo 1 se presenta un listado de publicaciones e informes digitales encontrados y de los cuales se tiene copia, integrados en una base datos digital adjunta al presente informe. Adicional a estas búsquedas digitales, también se revisaron y accedieron informes y bases de datos regionales, tanto de SERNAGEOMIN como otros servicios públicos de las regiones de Atacama y Coquimbo. La información obtenida de SERNAGEOMIN es factible de obtener en forma directa desde su portal web (www.SERNAGEOMIN.cl) o bien en la biblioteca de SERNAGEOMIN.

Las actividades de terreno fueron realizadas en tres campañas distintas, la primera en octubre de 2017 (Atacama y Coquimbo), la segunda en diciembre del mismo año (Atacama) y la tercera también en diciembre de 2017, una visita al distrito Las Merceditas, en el sector El Volcán, Cajón del Maipo (región Metropolitana). En estas visitas se recorrieron las antiguas y/o presentes labores mineras de los distritos mineros seleccionados. En aquellos casos en los cuales existen actividades mineras presentes se tomó contacto con los operadores de tal forma de recabar información local que pudieran aportar. En las actividades de terreno no se realizaron labores de mapeo, solamente revisión y corroboración de mapas existentes. Durante las visitas en terreno se realizaron tomas de muestras, estas principalmente de labores, desmontes, acopios y en algunos casos afloramientos. Estas muestras fueron extraídas solamente para fines de corroboración o estimación de concentraciones de los elementos de interés, no constituyendo representatividad de recursos específicos. La descripción más detallada de las actividades de terreno se describe en cada caso estudiado.

1.4. Antecedentes y reseña histórica

Chile se ha caracterizado históricamente por ser un país minero, antiguamente el primer productor mundial de nitratos (salitre) y al presente el primer productor mundial de cobre y poseedor de los recursos más grandes. Esta característica si bien es positiva, ha determinado históricamente un enfoque mono productor de la industria minera nacional, lo hace que Chile sea un país económicamente vulnerable y dependiente, en el presente, de su recurso mineral principal, cobre. Esta dependencia se relaciona intrínsecamente con las características geológicas del margen Andino Chileno, un ambiente de subducción del tipo arco continental, en el cual han ocurrido aquellos procesos geológicos conducentes a la formación de yacimientos gigantes a monstruosos de cobre. Los yacimientos más relevantes corresponden al tipo pórvido cuprífero, con menor ocurrencia de otros tipos de yacimientos de cobre (skarns, estratoligados, óxidos de hierro-cobre-oro [IOCG], vetas), de metales base (skarn, vetas), de metales preciosos (vetas y brechas) y de hierro (hierro-apatito [IOA] e IOCG).

El sitial de principal productor mundial de cobre no implica que en Chile no existan otros recursos minerales metálicos; Chile ha ocupado lugares relevantes en la producción de oro, plata, y es en el presente un importante productor de hierro. Cabe destacar que la gran minería del cobre Chilena tiene también una relevante producción de subproductos, entre estos oro, plata, molibdeno, que si bien es un aspecto positivo para la minería en Chile, es también un aspecto que opaca y resta oportunidades a la exploración y explotación de otros productos minerales metálicos, ya se traten de yacimientos con menas principales de metales distintos a cobre u oro, o a la recuperación de subproductos distintos a oro, plata, molibdeno desde los mismos yacimientos de cobre. Estos aspectos negativos de la minería chilena son conocidos desde larga data, detectados como

vulnerabilidad desde ya en la década de los 60' en el siglo pasado (D'Aubarede, 1969), existiendo esfuerzos históricos del estado por levantar interés e inversión en la explotación de otros recursos minerales, pero sin desarrollos relevantes respecto de la minería del cobre.

En tiempos actuales, los avances tecnológicos en el desarrollo de vehículos eléctricos, ha impulsado usos de una diversidad de productos minerales que en el pasado han observado menor demanda de mercado. La masificación de tecnologías de baterías de litio-níquel, litio-cobalto y litio-cobalto-manganeso imprimen una demanda en aumento creciente por estos metales, aspecto que abre una ventana de oportunidad real para una diversificación de la producción minera chilena. En una perspectiva de recursos minerales, Chile, adicional al cobre, es poseedor de enormes recursos de litio, potencialmente un fuerte competidor mundial respecto de otros productores como Bolivia, Argentina y Australia. Por otra parte, una producción interna de litio pudiera ser aprovechada para efectos de la generación y fabricación de productos de valor agregado, entre estas, baterías de ión litio. Estrategias de valor agregado de este tipo requieren la búsqueda, evaluación y explotación de otros recursos metálicos, de los mencionados para baterías, existentes en Chile, cobalto y manganeso.

En Chile fueron explotados en el pasado tanto yacimientos de cobalto como de manganeso, el cobalto en el siglo pasado, hasta 1944, y el manganeso hasta épocas más recientes, 2009 (SERNAGEOMIN, 2017). Los yacimientos de cobalto explotados se ubican en las regiones de Atacama, Coquimbo y Metropolitana. La explotación documentada de cobalto en Chile se inició el año 1844, a mitad del siglo XIX, en el distrito Tambillos, región de Coquimbo, y en la región Metropolitana, sectores del El Volcán y Río Maipo. En 1865 y 1875 se explotaron yacimientos en el distrito San Juan, sectores de Huasco, y también en las cercanías de Copiapó. La producción de cobalto se mantuvo desde aquellos tiempos, con varias interrupciones, hasta el año 1944. La explotación de cobalto se realizó principalmente para exportación, primordialmente para su uso en aleaciones de acero, la mayor demanda por este metal ocurrida durante la II Guerra Mundial. El fin de la guerra marcó también la paralización de las faenas de explotación y producción. Los distritos de mayor producción en el mencionado periodo de explotación fueron los distritos de San Juan, región de Atacama, y Tambillos, región de Coquimbo.

Los yacimientos de manganeso explotados históricamente se ubican en las regiones de Atacama y Coquimbo, la explotación mayoritariamente para uso en demanda nacional (SERNAGEOMIN, 2017). La explotación documentada de manganeso comenzó a principios del siglo XX desde el distrito de Corral Quemado, región de Coquimbo, seguido de otros distritos cercanos, Lambert, El Romero, La Liga, Arrayán y Fragua, en la misma región, y algunos yacimientos menores en la región de Atacama. La producción de manganeso en Chile ha sido destinada principalmente a su uso en aleaciones de acero, producción que se mantuvo por parte de la empresa Manganesos de Atacama S.A. hasta el 2009 (Manganesos de Atacama S.A., 2009). Posterior a esta fecha solamente existe producción menor. Las principales minas históricas de manganeso se encuentran actualmente en proceso de cierre oficial.

1.5. Metalogénesis de Chile y ambientes de potencial por Cobalto y Manganese

1.5.1. Yacimientos históricos de Cobalto como mena principal

La síntesis de información a continuación se extrajo de informes de SERNAGEOMIN, resumidos en la propuesta preparada por SERNAGEOMIN para CORFO (SERNAGEOMIN, 2017). Los yacimientos con mena primaria por cobalto, explotados en Chile y distribuidos en las regiones de Atacama, Coquimbo y Metropolitana, corresponden principalmente a cuerpos de vetas, brechas y en ocasiones en mantos, emplazadas en secuencias de rocas metamórficas, volcánicas, intrusivas y en algunos casos rocas sedimentarias. Respecto de la producción histórica de cobalto solamente en dos distritos se ha explotado en forma relevante cobalto como una mena primaria, estos en el distrito San Juan, región de Atacama, y distrito Tambillos, región de Coquimbo. En el distrito San Juan se presenta mineralización primaria de cobaltita, un sulfo-arseniuro de cobalto, este en sistemas de vetas, con leyes medias que alcanzan hasta 1,6% Co. En este distrito cabe destacar que la mayor parte de la producción histórica se orientó a la explotación de las menas secundarias (oxidadas), principalmente eritrina, un arsenato de cobalto, con cuerpos mineralizados con leyes que alcanzaban leyes de hasta 6,4% Co. En el distrito Tambillo se agrupan yacimientos mantiformes con menas primarias de cobre y cobalto, con cobaltita como mineral primario de cobalto, las leyes de explotación en 1942 de 4 a 5% Co, y una ley media reportada en 1968 de 1% Co. En el caso de la región Metropolitana, se reporta históricamente la explotación de yacimientos de vetas en los sectores El Volcán y Río Maipo (Merceditas), yacimientos con una mena primaria de sulfuros, con leyes medias entre 0,5 y 0,7% Co, y leyes máximas entre 2,4 y 2,58% Co. Otro distrito en el cual se ha descrito explotación de cobre y cobalto corresponde a Carrizal Alto, región de Atacama, yacimientos en que se presenta una mineralización de cobre y cobalto, con cobaltita como principal mineral. No se cuenta con información de leyes de Co.

1.5.2. Yacimientos históricos de Manganese como mena principal

La siguiente información se ha extraído de informes de SERNAGEOMIN, sintetizados en propuesta elaborado por SERNAGEOMIN para Corfo (SERNAGEOMIN, 2017). Las principales minas de manganese explotados en forma industrial corresponden a mantos, en menor medida vetas, estos ubicados en la región de Coquimbo, y hospedados en dos unidades de roca principales, denominadas Formación Arqueros y Formación Quebrada Marquesa, y en las unidades equivalentes en la región de Atacama. Los yacimientos de mayor envergadura y relevancia se hospedan en rocas de la Formación Quebrada Marquesa, estos de origen mayoritariamente sedimentario marino. El distrito más importante es el de Corral Quemado, tanto por producción como calidad. Le sigue en relevancia los yacimientos Arrayán, Fragua, y en forma decreciente los distritos Las Cañas, Talcuna y Arqueros, todos en la región de Coquimbo. Con menor importancia se menciona también cuerpos mineralizados en el distrito Sierra La Bandera, al norte de Freirina, región de Atacama. Los minerales de mena en estos yacimientos lo constituyen la pirolusita, braunita y psilomelano, en yacimientos que pueden también contener minerales de cobre y plata. Las leyes máximas reportadas oscilan entre 42 y 52% Mn. En las producciones más recientes, antes del cierre, las leyes reportadas a

SERNAGEOMIN fluctuaban entre 16 y 30% Mn, con explotación por pequeños mineros, lo más relevante producido por Manganos Atacama S.A. en yacimientos de la región de Coquimbo.

1.5.3. Metalogénesis de Chile y ambientes de potencial por Cobalto y Manganoso

La evolución tectono-magnética del margen Andino Chileno se ha caracterizado desde sus orígenes por una marcada impronta metalogénica por cobre, esto desde los inicios de evolución de los arcos magmáticos más antiguos, en el Paleozoico - Triásico. En dicho periodo de tiempo geológico se desarrollaron diversos yacimientos del tipo pórfido cuprífero, estos distribuidos de norte a sur a lo largo del eje del arco volcánico paleozoico - triásico. Esta franja metalogénica se extiende desde la región de Tarapacá hacia el sur, a lo largo del eje de la cordillera principal de Los Andes, cruzando al lado argentino al sur de la región de Atacama. Los yacimientos de esta franja (Characolla, El Loa, Lilian, Tornasol, Lila, Río Frío, Alcaparrosa, San Jorge: edades desde 285 a 195 Ma; Fig. 1.1; Maksaev et al., 2007; Maksaev, 2001) no son de relevancia económica, y aquellos localizados en Chile, dado bajas leyes y pequeños volúmenes, no han sido motivo de desarrollo.

A partir del Jurásico Superior la evolución del margen Andino Chileno se ha caracterizado por la ocurrencia de yacimientos de cobre, estos de diversos tipos y tamaños. Se describe a continuación, en forma resumida las principales franjas metalogénicas de Chile, desde la más antigua a la más joven.

En la época del Jurásico la impronta principal de mineralización corresponde a cobre, esto en un ambiente del tipo arco volcánico en extensión. Los yacimientos de este periodo son del tipo estrato ligados de cobre, distribuidos a lo largo de la cordillera de la costa de las regiones de Tarapacá a Atacama, desde al norte de la ciudad de Tocopilla, hasta al sur de la ciudad de Chañaral (Fig. 1.1). La mineralización primaria de cobre en estos yacimientos corresponde a calcopirita, bornita y calcosina, con presencia económica de plata como subproducto en la recuperación de cobre. Si bien estos yacimientos tienen una impronta marcada por alto hierro, este corresponde principalmente a fases minerales oxidadas, hematita, con escasa pirita. En una perspectiva metalogénica, estos yacimientos no presentan concentraciones relevantes de cobalto o manganoso.

En la época del Cretácico Inferior se presenta una impronta metalogénica diversa (Fig. 1.1), con el desarrollo de pórfidos cupríferos en la región de Antofagasta y en las regiones de Atacama y Coquimbo. Estos corresponden a yacimientos pequeños comparados a yacimientos del mismo tipo, pero de edades más jóvenes (ej. Eoceno – Oligoceno del norte de Chile). En las regiones de Atacama y Coquimbo el arco volcánico de esta edad se extiende desde el norte de Caldera al sur de Coquimbo, caracterizado por yacimientos de óxidos de hierro apatito (IOA) y yacimientos del tipo óxidos de hierro-cobre oro (IOCG), los que se ubican principalmente alojados o relacionados con el Sistema de Fallas de Atacama (SFA). Los yacimientos de hierro del tipo IOA representan la mayor fuente de mena en la minería del hierro nacional. La mena principal de estos yacimientos corresponde a magnetita, con menor proporción de hematita y solamente trazas de fases minerales sulfuradas, pirita, arsenopirita, calcopirita, entre otros. Dada la afinidad entre hierro y cobalto, estos yacimientos pudieran presentar un potencial por ocurrencia de cobalto como un sub producto residual de la recuperación del hierro, aspecto

que se describe más adelante en este estudio. Asociado con esta misma franja de yacimientos de hierro, tanto en el SFA como en el margen este del arco, se presentan yacimientos del tipo IOCG. Estos yacimientos se explotan por su mena de cobre (calcopirita), con oro como subproducto principal. Si bien son yacimientos de alta concentración de hierro, principalmente en forma de magnetita, esta no constituye mena en la producción principal, terminando como un producto residual en los relaves. El reprocesamiento de estos relaves permite a CMP la recuperación del hierro magnético, pero cabe destacar que potencialmente existen otros elementos y minerales de valor en los residuos de estos. Los yacimientos del tipo IOCG en otras partes del mundo y en Chile se caracterizan por una impronta geoquímica de Fe-Cu-Au, junto a elementos del grupo de las tierras raras (REE), cobalto, uranio y torio. En el caso de los IOCG chilenos (ej. Manto Verde, Candelaria, Distrito Punta del Cobre) si bien la impronta es similar, la ocurrencia mineral y concentraciones de estas no ha sido estudiada en una perspectiva de potencialidad de recuperación metalúrgica. Más al sur en la franja del Cretácico Inferior, desde el sur de Coquimbo a la región de Valparaíso y Metropolitana, la impronta metalogénica cambia a una predominancia de yacimientos del tipo estrato ligados de cobre, el más grande en su tipo el yacimiento El Soldado, en la región de Valparaíso. Estos yacimientos son del mismo tipo que ocurren en el norte, franja Jurásica Superior, teniendo una impronta geoquímica de cobre, con subproducto de plata. En esta misma zona sur de la franja metalogénica se reconoce también la presencia de yacimientos del tipo skarn de cobre, los distritos más relevantes en Chile el de Cabildo, región de Valparaíso, y los de San Antonio y Panulcillo en la región de Coquimbo. Adicional a la mineralización y diversidad de yacimientos asociados con la evolución del arco magmático del Cretácico Inferior, cabe destacar la ocurrencia de yacimientos de vetas de cobre-oro, la mayoría de estos relacionados con el SFA. Finalmente, en relación espacial y probablemente genética con la franja ferrífera de Chile se encuentran yacimientos de vetas y brechas de cobre-cobalto, los distritos más relevantes siendo San Juan, provincia de Huasco, región de Atacama, y Tambillos, en la región de Coquimbo. También asociado con este arco volcánico, en posición de cuencas de intra y tras arco, se presentan yacimientos de manganeso, los más relevantes en la región de Coquimbo, distritos Corral Quemado, Fragua, La Liga, Lambert, entre otros.

En la época Cretácico Superior, asociado con un cambio del régimen tectónico del margen Sudamericano, el que pasa de extensional a compresional, producto de la separación de los continentes Sudamericano del Africano y la expansión del fondo oceánico Atlántico, el desarrollo metalogénico y la impronta de yacimientos minerales se ve fuertemente reducido, solamente con ocurrencia de yacimientos de vetas de cobre-oro, vetas de plata y menor ocurrencia de pórfitos cupríferos (Fig. 1.2), esto últimos siendo pequeños, de bajas leyes y bajo potencial económico. Los yacimientos de plata son los históricamente más relevantes del país, distribuidos entre la región de Antofagasta y Coquimbo, los distritos Caracoles, Chimberos – Tres Puntas, Chañarcillo y Arqueros. Más al sur, desde la región de Coquimbo a la región de O'Higgins se presentan yacimientos de vetas meso a epitermales de oro y metales base, los más relevantes en el distrito Alhue, región de O'Higgins, y el de Bronces de Petorca, región de Valparaíso.

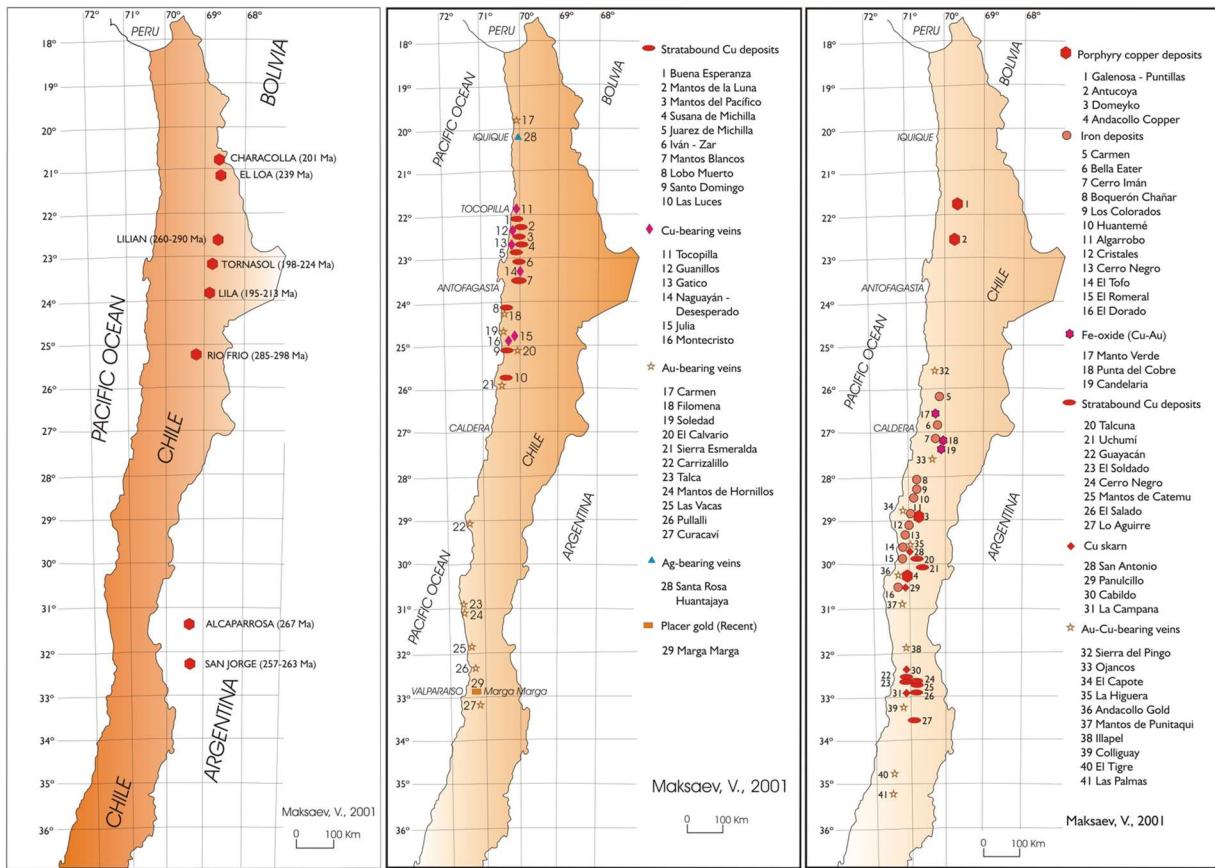


Figura 1.1. Yacimientos del tipo pórfido cuprífero del Paleozoico – Triásico (izquierda); yacimientos del tipo estrato ligados de cobre y vetas de oro y plata del Jurásico (centro); yacimientos del tipo pórfido cuprífero, de hierro apatito (IOA), de óxidos de hierro-cobre oro (IOCG), estrato ligados de cobre, skarn de cobre y vetas de cobre-oro del Cretácico Inferior (Maksaev, 2001).

En la época del Paleoceno – Eoceno Inferior ocurre un cambio continuo del ambiente tectónico del margen Sudamericano, en el cual, dadas las condiciones de convergencia entre la placa continental y oceánica, evoluciona a un ambiente de tipo transpresivo, esto posterior a la compresión del Cretácico Superior y el cierre de las cuencas de tras arco del Cretácico Inferior. En este nuevo ambiente tectónico el arco magmático de esta época se instala al este del arco Cretácico Superior e Inferior, esto a lo largo del margen Andino del sureste del Perú y del norte de Chile. En este periodo se presenta una impronta metalogénica marcada por cobre y menor plata y oro, con yacimientos del tipo pórfido cobre-molibdeno, yacimientos de vetas de oro y de plata, y yacimientos de brechas hidrotermales con mineralización de cobre (Fig. 1.2). En esta franja se encuentran distritos de pórfidos de cobre-molibdeno de clase mundial, distribuidos entre las regiones de Tarapacá y Atacama, entre estos, Mocha, Cerro Colorado, Spence, Lomas Bayas, y Relincho. También son relevantes en esta franja los yacimientos de oro y plata, sistemas de vetas epitermales como los presentes en los distritos Faride, San Cristóbal, El Peñón y Guanaco, todos en la región de Antofagasta.

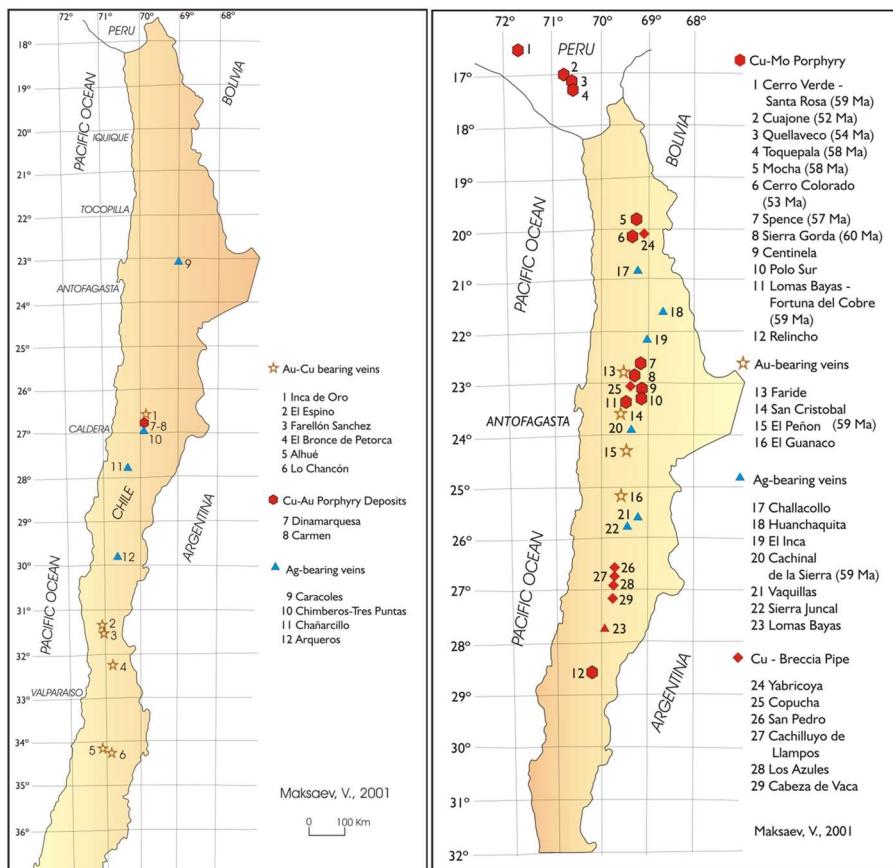


Figura 1.2. Franjas metalogénicas del Cretácico Superior (izquierda) y del Paleoceno – Eoceno Inferior (derecha). Maksaev (2001), Maksaev et al. (2007).

A continuación de la evolución tectónica, magmática y metalogénica del Paleoceno – Eoceno Inferior se instala en el Eoceno Superior – Oligoceno Inferior, al este de la franja previa, lo que es la provincia metalogénica más relevante del norte de Chile, la franja de mega yacimientos de pórfito de cobre – molibdeno, la que se extiende desde la región de Tarapacá hasta la región de Atacama. Esta franja se asocia espacial y genéticamente con el Sistema de Fallas de Domeyko (SFD), zona de deformación que se extiende en dirección NS por más de 1300 Kms. En esta franja se encuentran los distritos de yacimientos del tipo pórfito cobre – molibdenos más importantes del país, entre estos, Quebrada Blanca – Collahuasi, Chuquicamata, Escondida, El Salvador, y más al sur, El Morro - La Fortuna (Fig. 1.3). Cabe destacar que en todos estos yacimientos existe una impronta relevante de oro, la concentración promedio en muchos de estos cercana a 0,25 g/t. Esta impronta hace que la recuperación y producción de oro como subproducto de la gran minería del cobre sea la más importante a nivel nacional. Otro subproducto relevante, recuperado con el molibdeno, corresponde a renio. No se conoce o no se ha evaluado otros posibles elementos / minerales de posible interés económico a nivel de subproducto, pero en consideración de los gigantescos volúmenes de rocas explotadas y procesadas, los relaves generados pudieran ser un blanco interesante para la búsqueda y evaluación de oportunidades, no descartable la posible presencia de cobalto y/o manganeso.

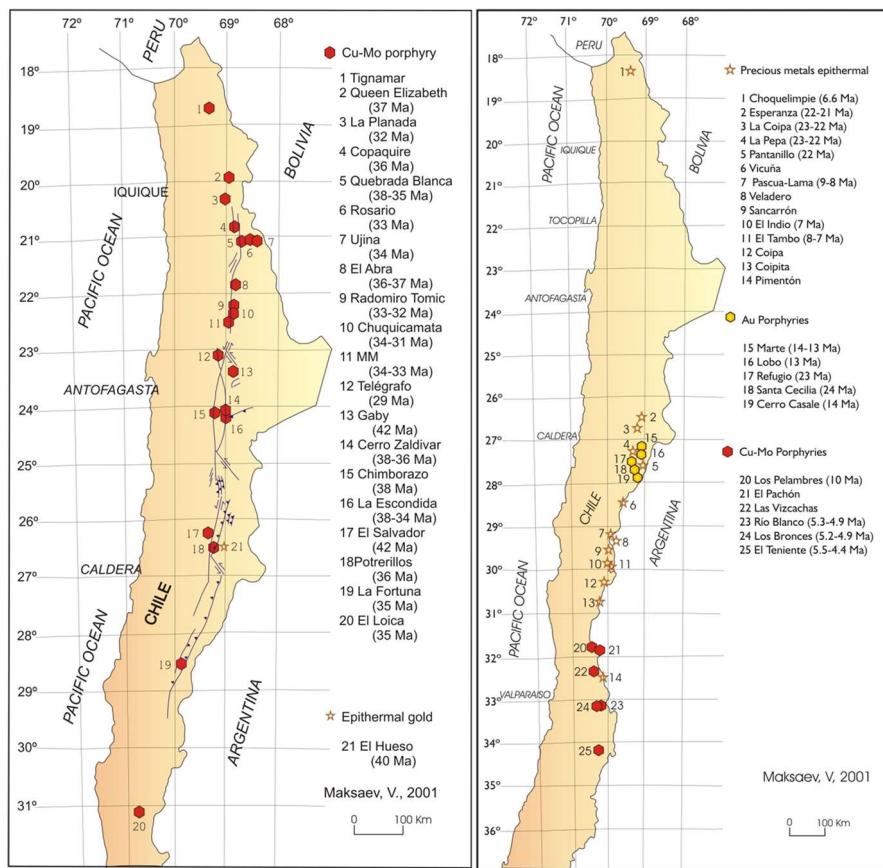


Figura 1.3. Franjas metalogénicas del Eoceno Superior – Oligoceno Inferior del Norte de Chile (izquierda) y del Mioceno de Chile Central (derecha). Maksaev (2001), Maksaev et al. (2007).

Finalmente, desde el Mioceno al Plioceno, la evolución tectónica y magmática del margen Andino se traslada a Chile Central, al este, en la región fronteriza con Argentina (Fig. 1.3). Durante la evolución del arco magmático Mioceno ocurren yacimientos de vetas y brechas epitermales de oro en la franja de Maricunga, región de Atacama, estos junto a yacimientos de pórfido de oro. Más al sur ocurren yacimientos epitermales de oro, entre los yacimientos más relevantes, Pascua – Lama y el distrito El Indio, el primero en la región de Atacama, el segundo, región de Coquimbo. Más al sur, en la alta cordillera, desde Salamanca hasta el Maule, ocurren mega yacimientos del tipo pórfido cobre – molibdeno, Los Pelambres – Pachón, Río Blanco – Los Bronces, El Teniente, los dos últimos probablemente los depósitos más grandes del tipo en el mundo. Al sur de El Teniente se reconocen varios prospectos por pórfidos de cobre – molibdeno, el más importante y con mayor potencial, Rosario de Rengo, en la región de O'Higgins. En el caso de los pórfidos de cobre – molibdeno de Chile Central, a diferencia de los yacimientos equivalentes de la franja de mega pórfidos del norte de Chile, solamente molibdeno representa un subproducto relevante, las concentraciones de oro muy bajas para efectos de representar un subproducto de importancia. La posible ocurrencia de otros subproductos no se ha estudiado en detalle o no está descrita en la literatura. No obstante, no se descarta la posible ocurrencia de elementos / minerales de potencial interés económico, Co y Mn no evaluados.

Cabe destacar que al este de la franja de mega pórfidos de cobre – molibdeno de Chile Central se han explotado yacimientos de vetas con mineralización de cobalto y cobre, estos en el sector

del El Volcán y Alto Río Maipo, región Metropolitana. Más al sur, en el valle del Alto Maule, se han descrito yacimientos de vetas con mineralización de hierro, cobre, con concentraciones anómalas de cobalto, no existiendo eso si antecedentes concretos al respecto. En ambos casos se desconoce la edad de estos yacimientos, la roca huésped correspondiente a secuencias de rocas estratificadas Cenozoicas.

Si bien los principales y más importantes yacimientos minerales en Chile ocurren desde Chile Central al norte, cabe mencionar que existe una diversidad de yacimientos metálicos hacia el sur del país. En la región de Los Lagos se han descrito yacimientos de carácter polimetálico, impronta metagénica que es incluso mayor en la región de Aysén. En dicha región se han explotado yacimientos del tipo skarn de zinc – plomo (Zn, Pb, Cu, Au y Ag), y yacimientos del tipo vetas epitermales de metales preciosos (Au-Ag), el primer tipo en los distritos El Toqui y Puerto Cristal, el segundo tipo en el distrito Cerro Bayo. En la región de Aysén la ocurrencia de yacimientos polimetálicos de vetas es común, con concentraciones altas de Au-Ag-Zn-Pb-Cu, no evaluadas por otros elementos. Existen relaves importantes de todos estos yacimientos, también sin evaluar. Más al sur, en la región de Magallanes, los ambientes tectónicos y magmáticos son muy distintos al resto de Chile, existiendo en esta región, hacia la frontera con Argentina, una secuencia de rocas denominadas faja de rocas verdes. En estas existen yacimientos minerales del tipo polimetálicas, interpretadas como sulfuros masivos de fondo marino o bien como yacimientos del tipo orogénico en zonas de cizalle y sutura, esto en una cuenca de expansión de fondo oceánico abortada. Entre los yacimientos explotados y actualmente en evaluación se puede mencionar Cutter Cove. Si bien no hay antecedentes publicados de este yacimiento, corresponde a mineralización de carácter polimetálico, en el cual no se ha evaluado la existencia de Co y/o Mn. Finalmente, también cabe mencionar la existencia de yacimientos del tipo lateríticos de Ni-Co, estos productos de procesos de interperismo sobre rocas ultrabásicas (serpentinitas) en la provincia de Valdivia, región de los Ríos (Zamarsky et al., 1973). En los sitios de estudio (Botija y Tres Chiflones) se describieron y tomaron muestras de perfiles lateríticos de hasta 7 metros, determinándose concentraciones máximas de 0,13% CoO y 0,92% NiO (Zamarsky et al., 1973).

2. Tipos de yacimientos en Chile con potencial por Cobalto

De acuerdo con la evolución metalogénica de Chile se describe brevemente aquellos ambientes metalogénicos en los cuales pudiesen existir recursos minerales con potencial por cobalto, ya sea como yacimientos en los cuales se presente como mena primaria, o como potencial subproducto de una explotación primaria en los cuales cobalto pudiera representar un crédito de producción. Finalmente se hace una revisión de posibles fuentes de cobalto como ocurrencias minerales / geoquímicas en depósitos de relaves.

2.1. Yacimientos de potencial mena primaria por Cobalto

De acuerdo a la literatura y registros históricos en Chile, si bien se han explotado yacimientos con mena primaria por cobalto, estos corresponden a distritos muy acotados en los cuales se describe la presencia y explotación pasada de cobalto junto con cobre. Entre estos se encuentran yacimientos del distrito San Juan y Carrizal Alto, estos en las cercanías de la ciudad de Huasco, región de Atacama. En estos distritos la mineralización se presenta en sistemas de vetas de cuarzo, la mineralización de cobalto principalmente en forma de sulfosales (cobaltita), con un horizonte superior oxidado, con presencia de eritrina (arsenato de cobalto). Los cuerpos de vetas se encuentran hospedados en rocas metamórficas de edad Paleozoico a Triásico y en rocas intrusivas del batolito costero. Las actividades de explotación de cobalto en este distrito han estado largamente cerradas, la faena histórica más relevante, La Cobaltera, solamente un atractivo turístico por sus ruinas. Cabe destacar que en los entornos del distrito existe aún actividad minera de pequeña minería, la que explota mineral oxidado de cobre, material que se envía a la planta de beneficios de ENAMI en Vallenar.

Más al sur, en la región de Coquimbo, otro importante productor histórico de cobalto fueron los yacimientos de cobre y cobalto del distrito Tambillos – Minillas. En este distrito existen cuerpos de vetas, menores brechas y cuerpos mantiformes con mineralización de sulfuros de cobre y sulfosales de cobalto (cobaltita). En niveles oxidados superiores predomina mineralización secundaria de cobre, con solamente escasas ocurrencias de eritrina. En Tambillos existe actual explotación, pero centrada en cobre como mena principal, sin información respecto de recuperación de cobalto. Dada la explotación actual y pasada orientada a la recuperación de cobre, es de potencial interés evaluar la ocurrencia de cobalto en los relaves de este distrito.

Otra ocurrencia mineral de la cual existen antecedentes históricos de explotación por cobalto como mena primaria corresponde a yacimientos de vetas ubicados en los sectores de El Volcán y Alto Río Maipo, distrito Las Merceditas, estos tratándose de sistemas de vetas de pequeñas dimensiones, con potencias que en promedio no superan los 30 cm.

Los distritos documentados en la región de Atacama y Coquimbo se asocian espacial y temporalmente con la faja ferrífera de Chile, ligados a la evolución del arco magmático del Cretácico Inferior y de afinidad con los yacimientos del tipo óxidos de hierro-cobre oro y en menor medida con los yacimientos del tipo óxidos de hierro apatito. En el caso de los sistemas de veta en la zona del Alto Maipo en la región Metropolitana no es conocida la edad de mineralización, por lo que no se cuenta con información que permita definir la relación metalogénica de estos yacimientos con la evolución tectónica y magmática de Chile Central. Estos yacimientos no son de afinidad con la franja de pórfitos cupríferos ubicados al oeste de estos distritos.

En la actualidad los yacimientos descritos pudieran presentar algún potencial remanente por cobalto como mena primaria, pero esto requiere de evaluación en profundidad. De acuerdo a antecedentes existentes en el distrito San Juan, la explotación pasada llegó cercana a los 100 m de profundidad, por lo que una exploración mediante perforación a niveles más profundos pudiera levantar recursos no explotados. En Tambillos la situación es similar, eso si las actuales explotaciones por cobre han profundizado, no existiendo información pública respecto de potencialidad por cobalto. En ambos distritos, y pudiéndose agregar el distrito Carrizal Alto, existiría aun potencial exploratorio remanente para efectos de la búsqueda de yacimientos con mena primaria por cobalto.

2.2. Yacimientos con potencial por Cobalto como subproducto

En base a la evolución metalogénica del margen andino en Chile y la afinidad de cobalto con hierro y arsénico, esto en ambientes hidrotermales de baja sulfuración, los principales yacimientos minerales metálicos a los cuales se pudiera asociar la ocurrencia de cobalto como un sub producto o crédito relevante correspondería en primer lugar a yacimientos del tipo óxidos de hierro-cobre oro (IOCG), estos ocurriendo en la franja metalogénica del Cretácico Inferior (Mathur et al., 2002; Maksaev et al., 2007; Barra et al., 2017; Fig. 2.1). Los yacimientos La Candelaria y yacimientos en el distrito Punta del Cobre pudiesen representar un blanco de evaluación. En estos yacimientos si bien no se reporta recuperación de cobalto como sub producto o crédito de operación, dado el tipo de yacimiento y mineralización pudiese existir un potencial no evaluado. Otro yacimiento de este tipo corresponde a Manto Verde, localizado al este de Chañaral, hospedado en el Sistema de Fallas de Atacama (SFA), también un yacimiento en el cual no se reporta recuperación de cobalto, pero donde no es descartable su ocurrencia.

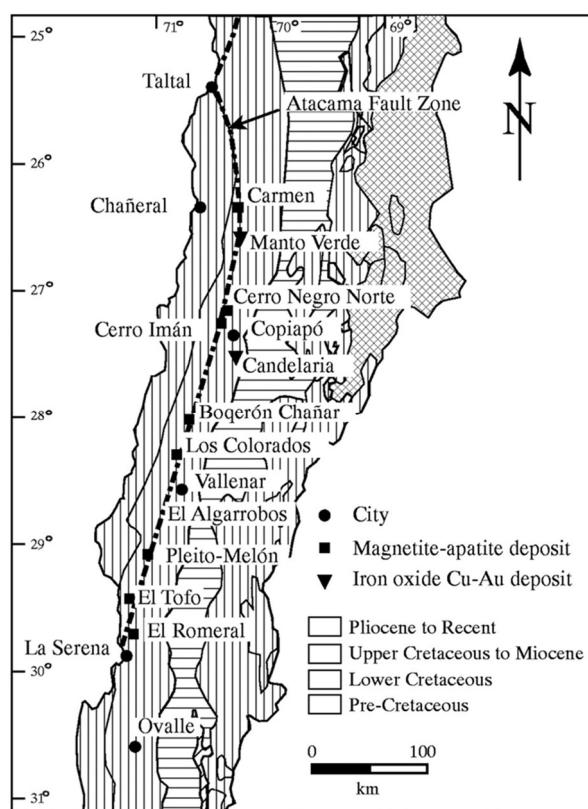


Figura 2.1. Distribución espacial de yacimientos del tipo IOA (magnetita – apatito) e IOCG (óxidos hierro-cobre oro) en la franja ferrífera de Chile, arco magmático Cretácico Inferior. Tomado de Mathur et al. (2002).

Otros yacimientos en los cuales pudiera estar presente cobalto como un potencial sub producto o crédito correspondería a los yacimientos del tipo óxidos de hierro-apatito (IOA), estos la principal fuente de hierro en Chile. Estos yacimientos se distribuyen a lo largo del SFA entre las regiones de Atacama y Coquimbo (Fig. 2.1), los principales yacimientos en explotación siendo Los Colorados, El Algarrobo y El Romeral.

Finalmente, si bien la mayor probabilidad de existencia de minerales de cobalto se asocia a los yacimientos del tipo IOCG e IOA, no se debe descartar la posible presencia de minerales de cobalto asociados con pórfidos cupríferos. Dado que la afinidad del cobalto en sulfuros ocurre con arsénico, y que este elemento es un castigo en los concentrados de cobre, se recomendaría evaluar las concentraciones y posible existencia mineral de cobalto en este tipo de yacimientos. Por otra parte, existen antecedentes respecto de la existencia de cobalto en piritas de yacimientos del tipo pórfido cuprífero, tal como se describe en estudios realizados en yacimientos del norte de Chile (Carballo, 1979; Pincheira et al., 1997). Si bien las concentraciones de cobalto asociados con minerales arsenicales o con piritas pudieran ser bajas, dependiendo de la ocurrencia mineral y asociación con la mineralización de cobre o molibdeno, cobalto pudiese representar un crédito interesante a la producción, la cual se pierde actualmente a relaves. Otros tipos de yacimientos en los cuales pudiera existir presencia de cobalto son yacimientos polimetálicos de metales base, por ejemplo, yacimientos de vetas y skarn en la región de Aysén, o yacimientos de sulfuros masivos en la región de Magallanes. No existen antecedentes al respecto, pero tratándose de yacimientos no convencionales en Chile es poco lo que se sabe respecto de estos.

2.3. Relaves con potencial por Cobalto

En Chile existe un alto número de depósitos de relaves, estos generados por la industria minera durante ya más de 100 años de explotación de yacimientos, tanto de la pequeña, mediana y gran minería. Esta última, en la actualidad, genera enormes volúmenes anuales de pasivos ambientales, estos escasamente evaluados por sus potenciales como activos mineros. En el caso del elemento cobalto, los minerales que posiblemente lo contienen no son recuperados en procesos mineros por cobre, oro o hierro, pasando junto con la ganga a los depósitos de relaves. En el caso de los minerales sulfurados, sulfosales o arseniuros de cobalto, al igual que la pirita, pirita arsenical y arsenopirita, estos minerales serían concentrados en el relave. Dado que en la mayoría de los yacimientos chilenos (sean de cobre, oro, hierro o combinaciones) se desconoce la ocurrencia de cobalto, es difícil en una primera instancia determinar si este elemento pudiera constituir un elemento de potencial interés, mucho menos si de estar presente, es recuperable metalúrgicamente.

A la fecha existen estudios en curso que buscan determinar los potenciales elementos / minerales de interés económico y estratégico que pudieran estar contenidos en relaves. En un estudio del estado del arte de relaves en Chile (Carballo et al., 2017), en el cual se ha empleado valiosa información del Catastro de Relaves SERNAGEOMIN 2016 (<http://sitiohistorico.SERNAGEOMIN.cl/mineria-relaves.php>), se describen resultados sobre concentraciones geoquímicas multi elementos de relaves Chilenos. Este estudio permite una primera aproximación respecto de aquellos que pudieran representar algún potencial por cobalto.

De acuerdo a dicho estudio las máximas concentraciones reportadas se encuentran en muestras de cubetas de los depósitos Delirio 3 de Punitaqui, región de Coquimbo, con 190 ppm Co, María Isabel (98 ppm Co), en la comuna Tierra Amarilla, y Filtrados de Potrerillos en la comuna Diego de Almagro (88 ppm Co), ambos ubicados en la región de Atacama.

Según el tipo de yacimiento de origen, existe una amplia variedad de minerales en los cuales el Co puede estar presente. Los grupos más comunes son los sulfuros, sulfosales, arseniuros y óxidos. Puede sustituir a metales de transición como el Fe y Ni en algunos minerales. El Co es casi siempre encontrado como sub o co-producto de la minería de otros metales base, principalmente del Cu y Ni. Por lo tanto, en el caso de Chile se espera que esté asociado a los principales yacimientos del país en los cuales se extrae Cu, principalmente a los de alto contenido de sulfuros. Las leyes típicas de Co asociados a los yacimientos de sulfuros magmáticos - hidrotermales es 0,1% (British Geological Survey, 2009). El máximo valor de concentración de Co determinado en los depósitos de relaves en Chile es de 0,019%, concentraciones que son muy bajas para ser consideradas de interés económico por sí solo. No obstante, si se considera que actualmente existen depósitos de relaves que se explotan y reprocesan por otros elementos, principalmente cobre, se abre la oportunidad de evaluar la recuperación de cobalto como un sub producto. Cabe mencionar también que en el estudio de SERNAGEOMIN (Catastro de Relaves), en la mayoría de los relaves se obtuvo solamente una muestra de cubeta, en superficie, a profundidades no superiores a 2 m.

De lo anterior se indica entonces que las bajas concentraciones de cobalto en relaves chilenos no es una determinación concluyente, sobre todo si se considera que los sulfuros y sulfosales asociados con cobalto son del alto peso específico, con tendencia a segregación gravitacional en transporte y depositación a ambientes profundos. Por otra parte, en el caso de relaves antiguos, los minerales de sulfuro y sulfosales han sido sometidos a oxidación, hidrólisis y posibles procesos de lixiviación y reconcentración de cobalto en ambientes oxidantes, similar a los procesos de enriquecimiento observados para cobre.

3. Tipos de yacimientos en Chile con potencial por Manganese

De acuerdo con la evolución metalogénica de Chile se describe brevemente aquellos ambientes metalogénicos en los cuales se han documentado y explotado recursos minerales por manganeseo. Adicionalmente se hace una revisión de posibles fuentes de manganeseo como ocurrencias minerales / geoquímicas ya sea como posibles subproductos o bien contenidos en depósitos de relaves.

3.1. Yacimientos de mena primaria por Manganese

Los yacimientos de manganeseo en los cuales se ha desarrollado explotación industrial se encuentran distribuidos principalmente en la región de Coquimbo, y en menor medida la región de Atacama (SERNAGEOMIN, 2017). Los yacimientos de mayor relevancia económica corresponden a depósitos mantiformes de origen sedimentario - volcánico, con ocurrencia también de cuerpos vetiformes de tipo epitermal. Estratigráficamente estos depósitos ocurren hospedados en dos unidades litológicas principales, denominadas Formación Arqueros y Formación Quebrada Marquesa en la Región de Coquimbo, y en las unidades litológicas equivalentes en la Región de Atacama (SERNAGEOMIN, 2017).

Los yacimientos más importantes se hospedan en rocas de la Formación Quebrada Marquesa, los distritos asociados con estos yacimientos siendo aquellos que presentan el mayor potencial para exploración y evaluación de recursos remanentes o no descubiertos. El distrito más importante históricamente ha sido Corral Quemado, tanto por producción como calidad. Le siguen los distritos Arrayán y Fragua, y en importancia decreciente, los distritos Las Cañas, Talcuna y Arqueros, ubicados también en la región de Coquimbo, y los de Sierra La Bandera al norte de Freirina, en región de Atacama (SERNAGEOMIN, 2017). Estos distritos se describen más adelante en este informe.

En una perspectiva de ambientes geológicos de formación este tipo de yacimiento se asocia con unidades de roca sedimentarias – volcánicas propias de cuencas de ante, intra y tras arco, estos mejor desarrollados en Chile durante el Jurásico Superior y Cretácico Inferior en el norte y sur del país. Como blanco de exploraciones mineras esta se debiera orientar a ambientes geológicos en los cuales se presentan secuencias estratificadas de rocas sedimentarias y volcánicas mesozoicas. Dado que el mineral de manganeseo nunca ha sido de gran relevancia económica en Chile y que por otra parte las necesidades de producción interna y de exportación se satisfacían con los distritos conocidos en la región de Coquimbo y en menor medida Atacama, las exploraciones por este recurso han sido escasas. No obstante, existe potencial, dado la amplia ocurrencia de los ambientes geológicos adecuados a la formación y génesis de estos yacimientos.

3.2. Otras posibles fuentes de Manganese

Un proyecto relevante de explotación y potencial producción de manganeseo fuera de las regiones de Coquimbo y Atacama corresponde al proyecto minero Los Pumas, este ubicado en la región de Arica y Parinacota, comuna de Pütre, a unos 175 km al NE de Arica y a unos 35 km al NNW de la localidad de Putre. El Proyecto “Manganese Los Pumas”, cuyo titular es Minera Hemisferio Sur S.C.M. (MHS), consiste en la propuesta de explotación y beneficio de un yacimiento de manganeseo (Mn), con el fin de producir concentrado de Mn para su venta en los

mercados internacionales. En el yacimiento Los Pumas se han estimado 18,3 millones de toneladas de reservas indicadas con ley de corte 7,8% Mn, y más de 5,4 millones de toneladas de recursos inferidos. El mineral se propone para explotación a tajo abierto, desde 3 operaciones simultáneas, y procesado en una planta de beneficio mediante operaciones de chancado, molienda y separación por medios densos. De este modo se propone producir del orden de 400 mil toneladas al año nominales de concentrado, los cuales serían transportados en camiones de 30 toneladas hasta un sitio de acopio en la zona industrial de Arica. Este proyecto minero se encuentra detenido a la fecha, esto por revocación de los permisos ambientales y un fuerte rechazo de las comunidades locales.

En la misma región y a 175 Km de la ciudad de Arica, se describe en la página web de la empresa CAMIN Ingeniería y Explotación Minera (<http://www.camin.cl/proyectos-mineros/proyecto-manganoso/>) el proyecto minero Mar y Cielo. Se cita a continuación textualmente la información presentada, indicándose eso si que en esta información no se menciona la localidad exacta del yacimiento y tampoco las características geológicas detalladas de este.

Proyecto Minero Mar y Cielo (CAMIL)

“Resumen Ejecutivo: El Proyecto minero Mar y Cielo tiene como objeto la explotación de mineral de manganeso a cielo abierto, su concentración en una planta de beneficio y la exportación del concentrado de Mn resultante a través del puerto de Arica en dos etapas, la primera etapa comenzará su producción en un plazo de 6 meses de recibido el capital de inversión de diez millones de dólares, la segunda etapa contempla la construcción de una planta concentradora, una planta de energía solar y una estación de ferrocarril que demandará una inversión aproximada de ciento ochenta millones de dólares, el valor de la planta solar es de US\$ 110 millones. Los estudios realizados por Minera Mar y Cielo han definido la existencia de recursos de mineral de Manganeso que exceden los 600 millones de toneladas (Mt), con una ley promedio de 47% de Mn. El Proyecto Mar y Cielo ha configurado un Plan Minero con una tasa de extracción del orden de 220.000 Toneladas de mineral por mes y exportar aproximadamente 1,3 millones de toneladas por año (Mt/a) de concentrado de Mn. Lo anterior significará una vida útil de 22,8 años aproximadamente con las actuales exploraciones que son menores al 30% del total de la concesión minera.”

“Complejo Minero: El Complejo Minero está localizado en la Región de Arica y Parinacota, a 175 km de Arica. Las campañas de exploraciones han permitido establecer que la mineralización de manganeso se encuentra presente en una longitud de 3,0 kilómetros, con anchos de hasta 700 metros. El cuerpo mineralizado se puede caracterizar como cuerpo tabular superficial de alta ley in-situ, lo que favorece la explotación mediante métodos convencionales de rajo abierto, con profundidades entre 20 y 30 metros. Las campañas de exploraciones han permitido estimar hasta el momento recursos potenciales del orden de 60,4 millones de toneladas, con un contenido aproximado de 40 a 51% Mn en solo 360 Ha de las 1.200 Ha que aún faltan explorar. Las principales instalaciones que conformarán el Proyecto serán: Rajo Mina, Botaderos de estéril, Planta de procesos (chancado y concentración), Botadero de material de rechazo, Depósito de lamas, Infraestructura de apoyo en faena e instalaciones para el acopio de concentrado y carguío en Arica. El Proyecto contempla las siguientes actividades principales:

- Explotación de minerales mediante técnicas convencionales de rajo abierto, a una tasa de extracción del orden de 220.000 toneladas de mineral mensual. El transporte de material extraído en la mina (estéril o mineral) se realizará mediante camiones con capacidad de carga de 50 toneladas. El material estéril será transportado hasta los botaderos de estéril para su disposición final, mientras que los minerales serán transportados hasta el alimentador del chancador primario. La velocidad promedio de los camiones será de 22 km/h, tanto cargados como descargados.
- Disposición de material estéril en botaderos. Durante la ejecución del Proyecto, se construirán un total de dos botaderos para la disposición final del material estéril. Estos botaderos tendrán una capacidad total de almacenamiento de hasta 30 millones de toneladas de estéril.
- Preparación mecánica de los minerales, consistente en la reducción de tamaño mediante una planta de chancado en tres etapas, operada en circuito cerrado.
- Concentración de los minerales mediante métodos de separación por medios densos.
- Eliminación de la fracción fina mediante lavado. Las partículas extra finas removidas del proceso mediante harneado, serán espesadas para recuperar el agua para reutilización, y posteriormente almacenadas en un depósito permanente de lamas.
- Transporte del producto final mediante camiones hasta un acopio temporal en mina, a la espera de ser embarcado vía ferrocarril hasta su destino final.”

De acuerdo a lo descrito por esta empresa este yacimiento y distrito sería el mayor potencial conocido en Chile por manganeso, de un origen seguramente sedimentario – volcánico no distinto a lo conocido en los distritos de las regiones de Coquimbo y Atacama.

No obstante, lo anterior, es necesario levantar mayor información de estos proyectos descritos en la región de Arica y Parinacota y en particular la viabilidad real de explotación, conjuntamente con las características geológicas.

3.3. Relaves con potencial por manganeso

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 (CAMCHAL, 2015).

Se conocen más de 150 minerales de Mn, donde los principales minerales de mena son (Mn en %): Pirolusita MnO₂ (55-63), Braunita Mn₂O₃ (60-69), Gausmanita Mn.Mn₂O₄ (65-72), Manganita MnOOH (50-62), Vernodita MnO₂.nH₂O (40-45), Psilomelano MnO.MnO₂ (40-60), Rodocrosita MnCO₃ (40-45), Manganocalcita (Ca,Mn)CO₃ (7-23) y Manganosiderita (Mn,Fe)CO₃ (23-32) (Vasallo, 2008). De acuerdo a los tipos de yacimientos y posible origen en Chile, se han reportado minerales de manganeso en yacimientos epitermales de metales preciosos, en pórfitos cupríferos, y en estratoligados de Cu, tratándose de minerales como pirolusita, rodocrosita, braunita y manganita. Dado que estos minerales son ganga en todos estos yacimientos, terminan finalmente en los relaves de la gran, mediana y pequeña minería.

Las leyes mínimas de explotación para menas fácilmente concentrables en yacimientos primarios de manganeso son de más de 10% y para menas de difícil concentración más de 20% (Vasallo, 2008). En una revisión del estado del arte de relaves en Chile (Proyecto CORFO Valorización de Relaves;

Caraballo et al., 2017) y basado en las bases de datos geoquímicas de relaves publicadas por SERNAGEOMIN (Catastro Relaves 2016), el depósito el Zorrito de la Comuna Petorca, ubicado en la región de Valparaíso, presenta una concentración de 6,74% de MnO. Es un depósito activo con una masa de tonelaje máxima de 72.000 t. Al comparar esta concentración con las leyes mínimas de explotación de Mn, se determina que a pesar de que se encuentra por debajo de lo establecido, sería interesante evaluar el potencial de extracción de este elemento, tomando en cuenta que la roca ya se ha sometido a molienda y por lo tanto solamente se requiere determinar la ocurrencia mineral del manganeso y la viabilidad metalúrgica de recuperación.

Si bien no se destacan otros relaves en Chile con altas concentraciones de manganeso, la ocurrencia de óxidos e hidróxidos de manganeso en los yacimientos de cobre y oro del país debiese ser examinada como una potencial fuente secundaria de este metal, tratándose de un subproducto cuya recuperación se pudiera evaluar en la cadena principal de producción, o bien su recuperación, conjuntamente con otros minerales / elementos de valor desde depósitos de relaves.

4. Distritos de explotación histórica y/o con potencial para explotación de Co y Mn

En este capítulo se describen los antecedentes existentes de los distritos seleccionados por su mayor potencial para exploración, evaluación y eventual explotación de cobalto o manganeso. En aquellos casos que fueron visitados y muestrados en terreno, se incorporan los resultados de los estudios realizados, estos tomados del informe de levantamiento de muestras para el estudio de potenciales recursos por Co y Mn en Chile (Townley et al., 2017b) y complementado con los estudios en terreno realizados en forma posterior a dicho informe (octubre 2017).

4.1. Distritos por Cobalto como mena primaria o potencial subproducto

La explotación histórica de cobalto en Chile se desarrolló, de manera intermitente, entre los años 1844 y 1944. Las zonas explotadas incluyen el distrito de Tambillos en la región de Coquimbo, los valles del río Maipo y río El Volcán en la región Metropolitana, el distrito San Juan, al sur de Freirina y los distritos Sierra Ladrillos y Los Loros en Copiapó (D'Aubarede, 1969; Cruzat, 1968).

Los distritos que fueron objeto de un mayor desarrollo, corresponden a los distritos San Juan y Tambillos. Adicionalmente existen una serie de depósitos ampliamente distribuidos en el ámbito de la provincia metálogénica de la Cordillera de la Costa, en las regiones de Atacama y Coquimbo, con valores de cobalto similares a los reportados en las zonas hipógenas de depósitos del distrito San Juan, al sur de Freirina (Lacassie et al., 2016).

4.1.1. Distrito San Juan

4.1.1.1. Antecedentes

Se accede a este distrito por el camino que une la ciudad de Vallenar con Huasco (C-462), desviándose hacia el sur en la localidad de Freirina por el camino C-494 que une las localidades de Freirina – Quebradita, pasando las cuestas La Totora y Arco Mollea (Fig. 4.1).

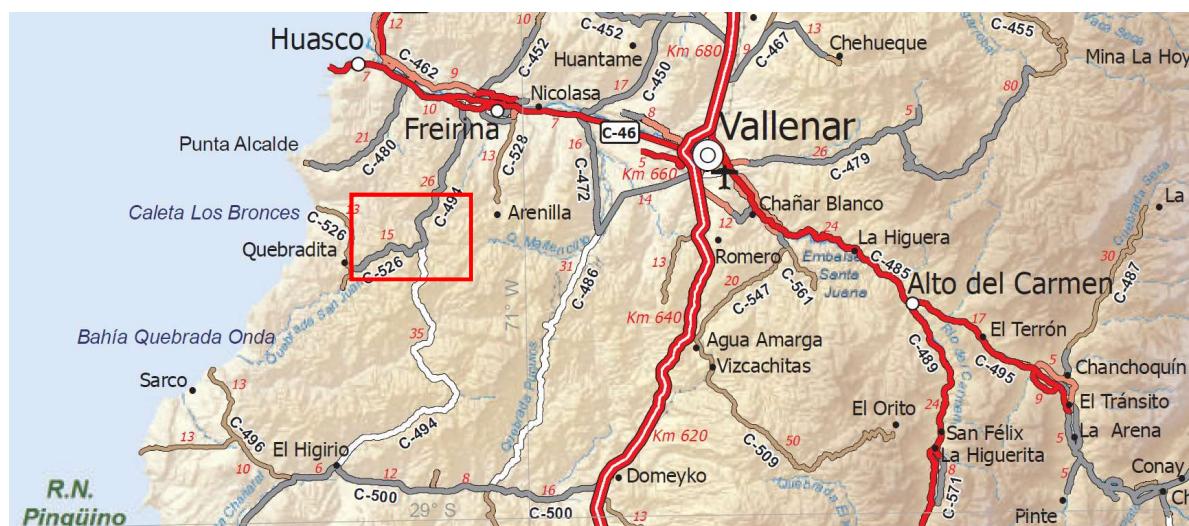


Figura 4.1: Mapa de ubicación y acceso Distrito Minero San Juan (rectángulo rojo).

De acuerdo a lo reportado por Geoexploraciones (1983) el distrito San Juan cubre un área de elongación NE de 5x10km, que contiene 118 depósitos vetiformes agrupados en los Minerales Fraguita, El Romero, Cobaltera, Quebradita y Labrar (Fig. 4.2).

Las vetas de este distrito se alojan tanto en rocas del Basamento Paleozoico (**Psm**; Fig. 4.3), como en las rocas intrusivas que cortan el basamento (**Jmsg**, **Kig**; Fig. 4.3). Generalmente están asociados a diques y fallas de dirección general NE cuando se encuentran en el Basamento y a diques y fallas de orientación NW y NNE cuando están albergadas en las rocas intrusivas. El basamento consiste principalmente en metareniscas cuarcíferas, metapelitas, esquistos cuarzo – micáceos y metabasitas; los intrusivos incluyen dioritas cuarcíferas de anfíbola y biotita que varían a monzodioritas cuarcíferas de anfíbola y biotita, consignadas en la unidad diorita cuarcífera San Juan (ca. 174 Ma, Welkner et al., 2006, **Jmsg**; Fig. 4.3). El conjunto de rocas antes descrito está intruída hacia el oeste, por rocas plutónicas del Complejo Plutónico Infiernillo (131-129 Ma, **Kig**; Fig. 4.3), siendo el contacto, una zona de milonitas que pertenece a una rama occidental del Sistema de Falla de Atacama (SFA), desarrollada tanto en el basamento, como en las rocas intrusivas, con la excepción de la diorita cuarcífera San Juan, en donde no se aprecian las milonitas. En términos estructurales, el basamento metasedimentario presenta deformación polifásica de intensidad variable (Fig. 4.3).

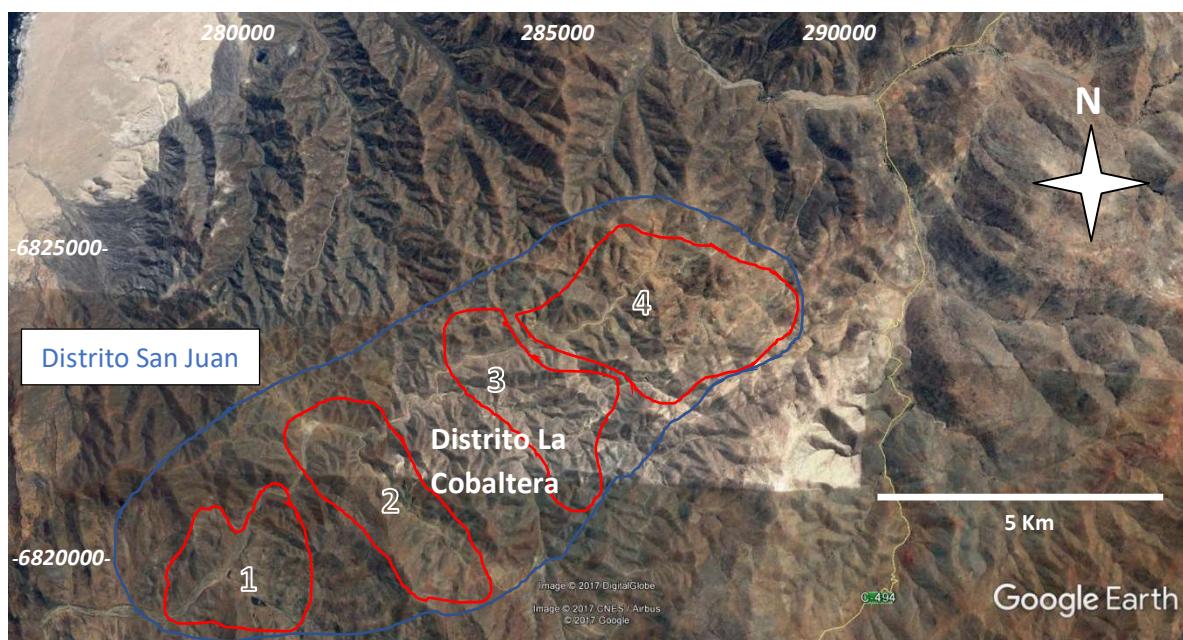


Figura 4.2. Mineral de Labrar (1), Quebradita (2), El Romero (3), Fraguita y distrito La Cobaltera en el contexto del Distrito San Juan, según Geoexploraciones (1983).

Las vetas tienen orientaciones variables NS (+10°), N25-50E (ocasionalmente N70E-EW) y N40W, los manteos oscilan desde subverticales hasta 50°W, presentan en general una potencia que varía entre 0,7 y 4.0 m y corrida desde 80 m hasta 1000m. La mineralogía de mena primaria consiste de pirita, cobaltita, pirrotina, calcopirita y escuterudita, mientras que, en la zona oxidada de aproximadamente 30 m de desarrollo vertical, se puede observar la presencia de crisocola, malaquita, azurita, antlerita, eritrina y óxidos negros de cobalto. La mineralogía de ganga está constituida por la presencia de turmalina, calcita y cuarzo. Normalmente la alteración de la roca de

caja consiste de turmalina y cuarzo-sericita (Vivallo et al., 2008; Geoexploraciones, 1983; Díaz et al., 1981).

Los resultados de análisis químicos de muestras de mena hipógena en desmontes, picados y vetas en el distrito San Juan muestran contenidos de cobalto que varían entre 0,001% y 1,95%. Presentan también contenidos variables de cobre (7,9% - 0,037%), oro (1,1 g/t a 0,1 g/t), plata (8,8 g/t a 0,5 g/t), níquel (0,49% a 0,023%) y cadmio (4,7 g/t a 0,023 g/t) (Geoexploraciones, 1983).

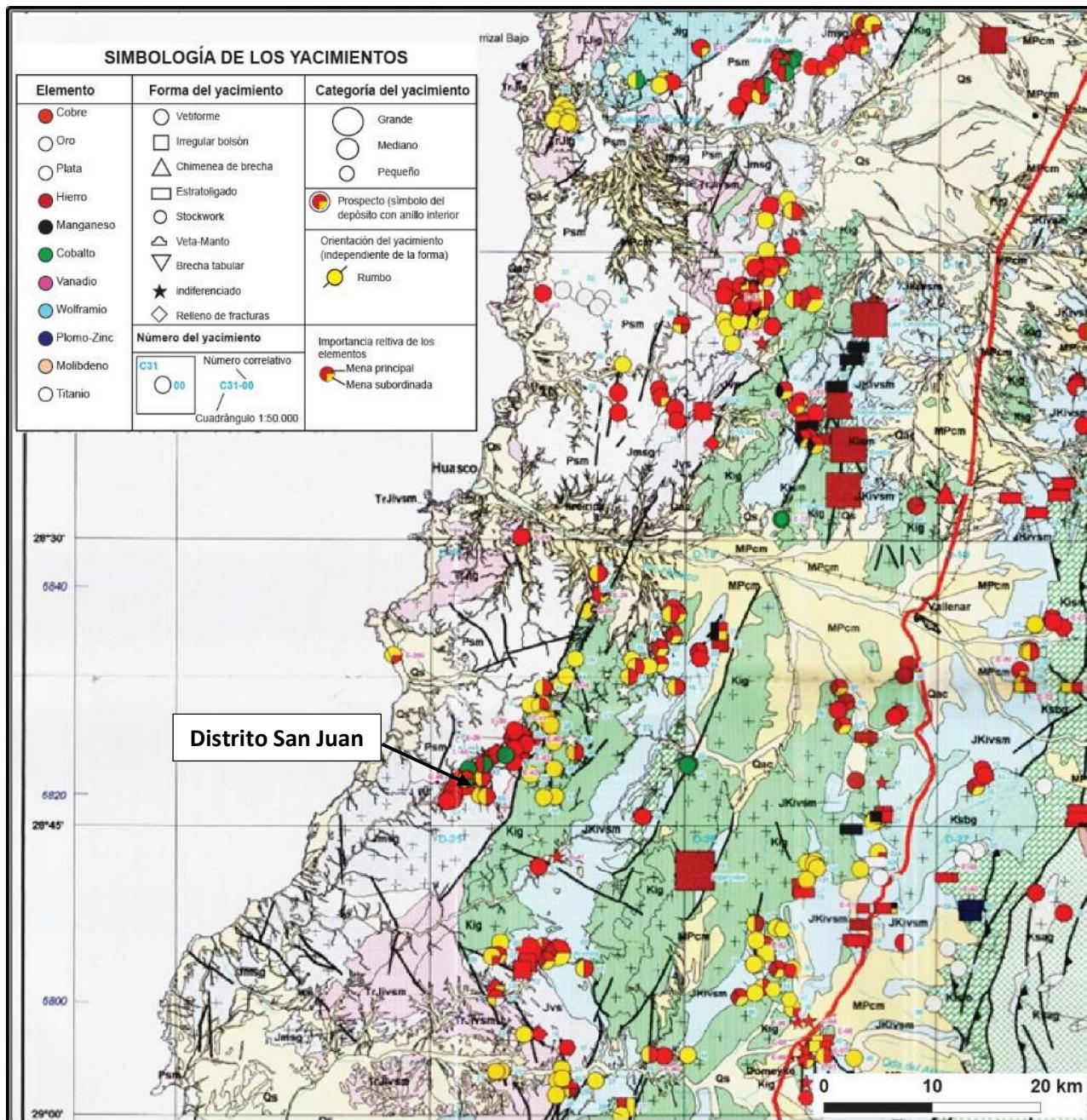


Figura 4.3. Contexto geológico distrito San Juan (tomado de Vivallo et al., 2008: para observación de detalle se recomienda al lector acceder a mapa original).

En base a los estudios realizados, Geoexploraciones (1983) recomendó 2 zonas favorables para la exploración y desarrollo de minas para la explotación de cobalto, las que en orden de importancia corresponden a (Fig. 4.4):

Zona 1

Incluye los sectores Cortadera, Paulita, Verde y consiste de un área de 2 x 4 km, en donde los análisis de cobalto indican valores sobre 0,5%. Las minas recomendadas para realizar estudios detallados de interior mina y superficie son Cobaltera, Prosperidad, Blanca, Verde, Lea, Delirio y Rosa Amelia.

Zona 2

Incluye los sectores Labrar, Quebradita Norte, Romero 2, Fraguita y consiste en un área donde los análisis de cobalto indican valores entre 0,1 y 0,5%.



Figura 4.4. Ubicación aproximada zonas de interés: Zona 1 (en rojo) y Zona 2 (en azul) en el distrito San Juan (Geoexploraciones, 1983).

Recursos Mineros

Geoexploraciones (1983) indica recursos de 1.300 tm de mineral in situ y 3.960 tm de desmontes de 1% Co en la Zona 1 y 62.000 tm de desmontes de la mina Santa Rosa (Zona 2) con aproximadamente 0,05 a 0,24% Co y con una ley media de 2,44% Cu, el que debía ser muestrado y cubicado.

Recursos adicionales del orden de 500.000 tm de relaves con 0,11% de Co y 0,23% de Cu son reportados por Cía. Minera Santa María de Astillas (INTEC, 1988) en el distrito Astillas, al norte de la ciudad de Freirina. También en el mismo reporte se informan otros relaves en las proximidades de Freirina con valores de Co en muestras superficiales puntuales de las cubetas, estos entre 221 – 358

mg/kg y en particular, en la zona de Capote aurífero, se reportan 80.305 tm con valores de Co en muestras superficiales de las cubetas entre 325 – 426 mg/kg.

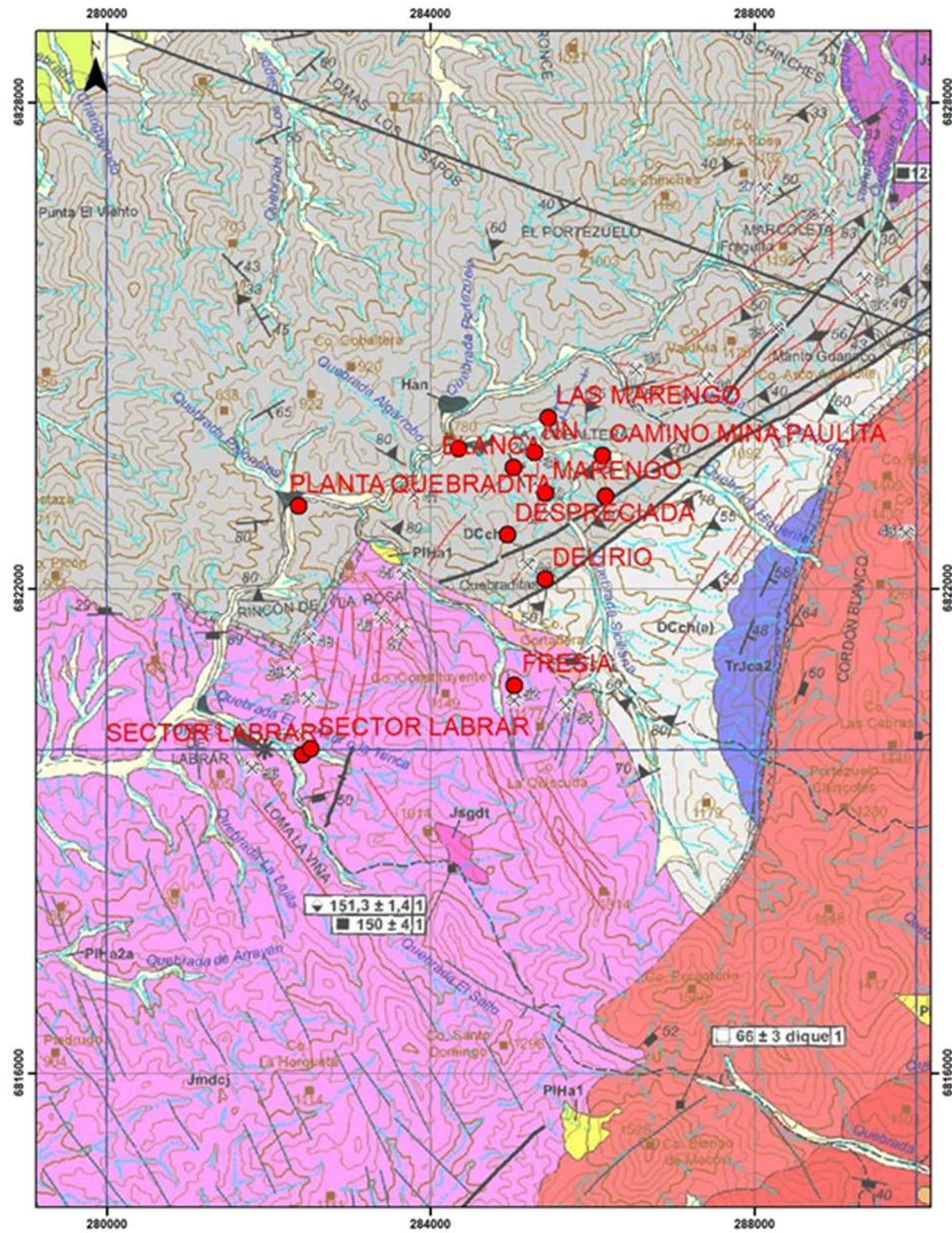
4.1.1.2. Revisión y toma de muestras en terreno

En el Distrito San Juan, en la zona de visita y toma de muestras, la geología local consiste de un basamento conformado por el Complejo Epimetamórfico Chañaral DCch (Devónico – Carbonífero Inferior), conjunto de rocas metasedimentarias con intercalaciones de mármoles, metacherts y metabasaltos almohadillados. Este basamento está intruido por el Complejo Plutónico Infiernillo hacia el oriente y por la Diorita Cuarcífera San Juan hacia el sur (Fig. 4.5).

Respecto de la litología predominan metaareniscas cuarcíferas, en parte microconglomerádicas, con clastos angulosos a subredondeados y metapelitas; estas últimas portadoras de albita, mica blanca y clorita. Se presentan también esquistos cuarzo-micáceos, metabasitas (en parte esquistos verdes nodulares de albita) y, en escasa proporción, mármoles y rocas compuestas por tremolita, en parte asbestiforme. En la zona más oriental, los esquistos cuarzo-micáceos son portadores de andalucita y cuarzo de aspecto sacaroidal, clinopiroxenos, wollastonita y hacia borde oeste de este cuerpo escasa anfíbola (DCch (a); Fig. 4.5). A estas rocas sobreyacen a través de una discordancia angular en el borde este del área de muestreo, rocas de la Formación Canto del Agua (TrJca; Anísico – Sinemuriano), la cual es una secuencia sedimentaria marina, clástica y volcánica, formada por conglomerados y areniscas arcósicas, lutitas, calizas con tobas riolíticas y basaltos intercalados. En la zona de estudio aflora el Miembro Medio (TrJca2; Fig. 4.5) que está formado por secuencias métricas granodecrecientes, de conglomerados medio a finos, matriz soportados, con clastos líticos ácidos centimétricos, areniscas cuarzo-feldespáticas medias a gruesas y litoarenitas medias a finas y lutitas fisibles.

En la zona sur del distrito el basamento metamórfico es intruido de forma subvertical, con leve inclinación al norte, por la Diorita cuarcífera San Juan Jmdcj (ca. 174 Ma; Fig. 4.5), que corresponde a un cuerpo de composición diorítica cuarcífera a diorítica, caracterizado por dioritas cuarcíferas de anfíbola y biotita de grano medio con variaciones litológicas a dioritas de anfíbola y piroxeno y monzodioritas cuarcíferas de anfíbola y biotita. Las rocas se presentan alteradas, con máficos parcialmente reemplazados por clorita y/o actinolita, y feldespatos argilizados. Aflora de manera continua desde la localidad de Quebraditas por el norte, hasta el cerro Torrejón por el sur (Fig. 4.5).

En la zona norte del área de estudio aflora la Monzodiorita La Arena Jsma (ca. 157 Ma; Fig. 4.5), que limita al oeste con rocas metasedimentarias del Complejo Epimetamórfico Chañaral (DCch), mediante una franja de milonitas. Petrográficamente el plutón está compuesto por monzodioritas cuarcíferas inequigranulares con cristales mayores de plagioclasa, piroxeno, anfíbola y biotita seudomorfa de piroxeno y anfíbola. La población de cristales menores está constituida por cuarzo, plagioclasa, ortoclasa, biotita, anfíbolas y piroxenos recristalizados. Como minerales accesorios se presenta apatito, esfeno, circón y turmalina.



DCch (a)	Complejo Epimetamórfico Chañaral (Devónico-Carbonífero Inferior) Metaareniscas cuarcíferas, en parte microconglomeráticas, con clastos angulosos a subredondeados y metapelitas; estas últimas portadoras de albita, mica blanca y clorita. (a) Esquistos cuarzo-micáceos, metabasitas (en parte esquistos verdes nodulares de albita) y, en escasa proporción, mármoles y rocas compuestas por tremolita, en parte asbestiforme.	Trjca (3) Formación Canto del Agua (Anisico-Sinemuriano) (2) Secuencias sedimentarias marina, clástica y volcánica, formada por conglomerados y areniscas arcosicas, lutitas, calizas con tobas riolíticas y basaltos intercalados. (1) Conglomerados medios a finos, matriz soportados, con clastos liticos ácidos centímetros, areniscas cuarzo-feldespáticas medianas a gruesas y lutarenitas medianas a finas y lutitas fisiolíticas.
Jmdcj	Diorita Cuarcífera San Juan (ca. 174 Ma) Dioritas cuarcíferas de anfíbola y biotita de grano medio, con variaciones a monzodioritas cuarcíferas de anfíbola y biotita. En general, los máficos se presentan reemplazados a clorita y/o actinolita y los feldespatos argilizados.	Jsma Monzodiorita La Arena (ca. 157 Ma) Monzodioritas cuarcíferas inequigranulares de plagioclasa, piroxeno, anfíbola y biotita seudomorfa de piroxeno y anfíbola.
Jsgdt	Granodiorita La Totora (152-151 Ma) Granodioritas de biotita y anfíbola y, en menor proporción, monzogranitos de anfíbola y biotita. Presenta dos cuerpos satélite granodioríticos.	Kii (gd) (d) Complejo Plutónico Infiernillo (131-129 Ma) (gd) Granodioritas, tonalitas y escasas monzodioritas cuarcíferas de anfíbola, biotita y piroxeno. Presentan ocasionalmente texturas porfídica a polimórfica y rasgos de metamorfismo cristaloplástica, fracturamiento, disociación y recrystallización de minerales. (d) Dioritas y dioritas cuarcíferas de grano medio a fino, con anfíbola y piroxeno como máficos principales. Localmente, presenta notables signos de deformación cristaloplástica, con recrystallización y probable introducción y/o neoformación de cuarzo.

Figura 4.5: Mapa geológico modificado de Geología del Área Freirina – El Morado 1:100.000 (Welkner et al., 2006). Nombres indican minas o plantas de proceso de mineral de donde se tomaron muestras.

Hacia el oeste del área de muestreo aflora la Granodiorita La Totora Jsgdt (152 – 151 Ma; Fig. 4.5), cuerpo intrusivo granodiorítico de pequeñas dimensiones (<16 km²) que aflora en el cordón La Totora, entre las quebradas La Salvia y Agua Salada. Petrográficamente el plutón está compuesto por granodioritas de biotita y anfíbola y, en menor proporción, monzogranitos de anfíbola y biotita, con apatito, esfeno y circón como minerales accesorios. Los máficos están moderadamente alterados a prehnita, clorita, muscovita y titanita. Existen cuerpos satélites de granodioríticos, con biotita y anfíbola levemente alteradas a clorita y epidota (Fig. 4.5).

En la parte este del área aflora el Complejo Plutónico infiernillo Kii (131 – 129 Ma; Fig. 4.5), que corresponde al cuerpo plutónico con la mayor superficie de exposición en la región (ca. 320 km²). Está compuesto por granitoides y dioritas que se distribuyen en una franja noreste de afloramiento de 40 km de largo desde el Cordón de Ossandon, por el sur, hasta los Llanos de Arenilla, por el norte. Litológicamente la subunidad basal (Kii (gd); Fig. 4.5) está compuesta por granodioritas, tonalitas y escasas monzodioritas cuarcíferas, con anfíbola, biotita y piroxeno como máficos principales. Como accesorio se reconoce apatito. Limita al oeste con rocas volcanoclásticas y volcánicas de la Formación Canto del Agua y con rocas metamórficas del Complejo Epimetamórfico Chañaral, a través de una franja milonitas y migmatitas sinplutónicas que forman parte de la Zona de Cizalle Infiernillo, una zona de deformación dúctil de 63 km de largo, que ha sido descrita como la rama más occidental del Sistema de Falla de Atacama en la Provincia de Vallenar (Arévalo et al., 2003; Fig. 4.5).

Levantamiento de muestras en el Distrito San Juan

Durante las visitas de revisión en el Distrito San Juan se levantaron un total de 19 muestras, de las cuales, 15 son de desmonte de minas y 4 de los alrededores de plantas de proceso de material. La ubicación de las muestras y origen de estas se indican en la Tabla 4.1 y en la figura 4.5 precedente.

Tabla 4.1: Resumen de muestras levantadas en el Distrito Minero San Juan. Se destaca en amarillo las muestras asociadas a las plantas de procesos La Cobaltera y Quebradita.

CORRELATIVO	UTMN PSAD 56	UTME PSAD 56	UTMN WGS 84	UTME WGS 84	CODIGO MUESTRA	DISTRITO	MINA
1	6820804	285033	6820469	284833	Mina Fresia 1_5	SAN JUAN	FRESIA
2	6822663	284946	6822328	284745	Mina Despreciada	SAN JUAN	DESPRECIADA
3	6823182	285408	6822847	285207	Las Marengo-1	SAN JUAN	MARENGO
4	6823182	285408	6822847	285207	Las Marengo-2	SAN JUAN	MARENGO
5	6824110	285453	6823774	285252	Las Marengo-3	SAN JUAN	LAS MARENGO
6	6824110	285453	6823774	285252	Las Marengo-4	SAN JUAN	LAS MARENGO
7	6823143	286157	6822805	285959	Las Marengo-5	SAN JUAN	LAS MARENGO-5
8	6823016	282368	6822680	282168	Planta Relave-01	SAN JUAN	PLANTA QUEBRADITA
9	6823016	282368	6822680	282168	Planta Relave-02	SAN JUAN	PLANTA QUEBRADITA
10	6823016	282368	6822680	282168	Planta Relave-03	SAN JUAN	PLANTA QUEBRADITA
11	6819943	282411	6819608	282211	Sector Labrar-01	SAN JUAN	SECTOR LABRAR
12	6820022	282513	6819687	282313	Sector Labrar-02	SAN JUAN	SECTOR LABRAR
13	6822117	285413	6821780	285150	Mina Delirio-01	SAN JUAN	DELIRIO
14	6822117	285413	6821780	285150	Mina Delirio-02	SAN JUAN	DELIRIO
15	6823731	284340	6823394	284139	Planta La Cobaltera-01	SAN JUAN	PLANTA LA COBALTERA
16	6823681	285284	6823346	285083	Veta NN Qzo-01	SAN JUAN	NN
17	6823493	285025	6823156	284824	Mina Blanca-01	SAN JUAN	BLANCA
18	6823493	285025	6823156	284824	Mina Blanca-02	SAN JUAN	BLANCA
19	6823643	286122	6823308	285922	Sector Paulita-01	SAN JUAN	Camino Mina Paulita

A continuación, se presenta una breve descripción de las zonas de donde se levantaron las distintas muestras, asociadas a pequeñas minas, piques, laboreos etc. Se debe mencionar que solamente se

obtuvieron muestras de desmonte, ya que fue imposible acceder al interior de los laboreos de las distintas minas, debido al abandono y peligrosidad de la mayoría de estas.

Mina Fresia (en producción): Ubicada al interior de la quebrada Quebraditas, entre los cerros Constituyente y La Quiscuda, afloran rocas de la Diorita Cuarcífera San Juan, descrita anteriormente. En esta labor se obtuvo una muestra desde un desmonte con material de vetas de magnetita (martitizada) – cuarzo – turmalina con calcopirita, arsenopirita, bornita, cuprita, crisocola, atacamita y antlerita (Fig. 4.6). Identificación de muestra: Mina Fresia 1_5.



Figura 4.6: Foto de estructura mineralizada (izquierda) y muestras de rocas obtenidas desde el interior de la mina Fresia (derecha). Se observa oxidados verdes de cobre y muestra de magnetita con hematita e hidróxidos de hierro.

Mina Despreciada (abandonada): Ubicada al interior de la Quebrada Siciliana, entre el sector de Quebraditas y la homónima quebrada. En este sector afloran rocas del Complejo Epimetamórfico Chañaral, descrito anteriormente. En este sector se obtuvo una muestra desde un desmonte, en el cual se observó la existencia de eritrina asociada con cuarzo-turmalina y calcita. En la figura 4.7 se observa la entrada a esta labor, donde de acuerdo a información oral de mineros locales, esta tendría una profundidad del orden de 80 a 100 m. Identificación de muestra: Mina Despreciada.



Figura 4.7: Foto de entrada a Mina Despreciada, la que se observa en total abandono. En segundo plano se observa desmonte de material procedente de la Mina.

Mina Delirio (abandonada): ubicada en la ladera oeste de la Quebrada Siciliana en el Cerro Cortadera. En el sector afloran rocas del Complejo Epimetamórfico Chañaral, descrito anteriormente. En este sector se obtuvieron dos muestras desde material de desmonte de rocas de vetas de cuarzo-turmalina con eritrina-calcopirita-pirita y brecha hidrotermal con matriz de óxidos de manganeso. Identificación de muestras: Mina Delirio-01 y Mina Delirio-02.

Mina Marengo (abandonada): Ubicada en el borde de la Quebrada Siciliana cercana al cruce con la Quebrada Higuerita. En este sector afloran rocas del Complejo Epimetamórfico Chañaral, descrito anteriormente. En esta labor se obtuvieron dos muestras, estas desde desmontes de vetas de cuarzo-limonita-jarosita y vetas con mineralización de oxidados verdes de cobre con eritrina, arcillas, cuarzo y óxidos de hierro. Identificación de muestras: Las Marengo-1 y Las Marengo-2.

Mina Las Marengo (en producción): Ubicada en la ladera norte de la Quebrada Algarrobo, al este de la antigua planta de La Cobaltera, antes de la bifurcación en las Quebradas Siciliana e Higueritas. En el sector afloran rocas del Complejo Epimetamórfico Chañaral, descrito anteriormente. La mineralización ocurre en forma de mantos con potencias variables, con una inclinación aproximada de 35° al noroeste. De lo observado en terreno, se deduce que la mina se está explotando en forma subterránea. En esta faena se obtuvieron dos muestras, estas desde desmontes de vetas de cuarzo-turmalina, oxidados verdes de cobre - óxidos de manganeso, limonita y jarosita y vetas de cuarzo-turmalina, eritrina, calcopirita-pirita (Fig. 4.8). Identificación de muestras: Las Marengo-3 y Las Marengo-4.



Figura 4.8: Foto del manto mineralizado de Mina Las Marengo. Se destaca manto mineralizado con una inclinación aproximada de 35° al noroeste. Línea roja indica potencia estimada de 5 a 10 m.

Mina Las Marengo-5 (abandonada): Ubicada por el borde oriental de la Quebrada Siciliana, entre esta quebrada y la Quebrada Higueritas. En el sector afloran rocas del Complejo Epimetamórfico Chañaral, descrito anteriormente. En esta labor se obtuvo una muestra desde material de desmonte de rocas de vetas de cuarzo-turmalina, biotita (cloritizada), crisocolla, oxidados verdes de cobre, óxidos de hierro y óxidos de manganeso. Identificación de muestra: Las Marengo-5.

Veta de Cuarzo-NN (abandonada): Ubicada en Quebrada Algarrobo, al este de planta La Cobaltera. En el sector afloran rocas del Complejo Epimetamórfico Chañaral, descrito anteriormente. En este sector se obtuvo una muestra, obtenida desde un desmonte de rocas de veta de cuarzo-limonita-jarosita, oxidados verdes de cobre y óxidos de manganeso. Identificación de muestra: Veta NN Qzo-01.

Mina Blanca (abandonada): ubicada en la ladera oeste de Quebrada Algarrobo. Las rocas que afloran son rocas del Complejo Epimetamórfico Chañaral, descrito anteriormente. En esta antigua mina se obtuvieron dos muestras desde desmontes de rocas de vetas de cuarzo-turmalina con pirita y eritrina y de esquistos con sulfuros diseminados y escasos minerales de oxidados de cobre (Fig. 4.9). Identificación de muestras: Mina Blanca-01 y Mina Blanca-02.



Figura 4.9: Fotos del sector de Mina Blanca. Derecha afloramiento donde se observa hidróxidos de hierro, junto con oxidados verdes de cobre e hidróxidos de hierro, arcillas. Izquierda, espécimen de roca con eritrina, obtenida del desmonte.

Veta en Sector Paulita: ubicada camino a Mina Paulita por la Quebrada Higuerita. Las rocas que afloran son rocas del Complejo Epimetamórfico Chañaral, descrito anteriormente. En este sector se obtuvo una muestra desde una veta de cuarzo-turmalina con eritrina y oxidados verdes de cobre. Identificación de muestra: Sector Paulita-01.

Minas Sector Labrar (en operación): ubicada al final de la Quebrada El Altar de la Tenca. En el sector afloran rocas de la Diorita Cuarcífera San Juan, descrita anteriormente. En esta mina se obtuvieron dos muestras, éstas tomadas desde un desmonte de vetas de magnetita-cuarzo-calcita, piritita-arsenopirita, calcopirita-clorita-biotita. Identificación de muestras: Sector Labrar-01 y Sector Labrar-02.

En forma adicional a las muestras tomadas desde labores mineras se tomaron también 4 muestras de las antiguas plantas abandonadas, 1 en la Planta La Cobaltera y 3 en la Planta Quebradita. Estas se describen a continuación.

Planta La Cobaltera: En las inmediaciones de la Planta La Cobaltera se tomó una muestra de los ríos de la planta. En estos se observa precipitados de eritrina y sulfatos de cobre (Fig. 4.10). Identificación de muestra: Planta La Cobaltera-01.



Figura 4.10: Izquierda: Foto general del estado de la Planta La Cobaltera. Derecha: Ríos de la planta La Cobaltera. Se observan precipitados de eritrina, sulfatos de cobre y yeso.

Planta La Quebradita: Se muestraron los relaves de la planta, material de proceso (piritas oxidadas) y material alimentador de planta que consiste en vetas de cuarzo-calcita-sericitas-clorita-óxidos de hierro (óxidos de cobre) en intrusivo y esquistos (Fig. 4.11). Identificación de muestras: Planta Relave-01, Planta Relave-02 y Planta Relave-03.



Figura 4.11Figura: Izquierda: Depósito de Relave de Planta La Quebradita, material muestrado para análisis. Línea roja indica espesor aproximado 4 – 6 m. Derecha: Foto general de la Planta Quebradita.

4.1.1.3. Resultados de la geoquímica prospectiva del Distrito San Juan

Las muestras de rocas levantadas del Distrito Minero San Juan, obtenidas principalmente de material de desmonte de minas, piques y laboreos, fueron analizadas mediante una Digestión de Aqua Regia y análisis ICP-ES (AQ370, Burea Veritas Minerals Laboratories), para un total de 24 elementos (Tabla 4.2).

Tabla 4.2: Elementos analizados mediante Digestión por Aqua Regia y lectura ICP-ES; unidad: unidad de reporte y límite de detección inferior (LDI).

Elemento	Mo	Cu	Pb	Zn	Ag	Ni	Co	Mn	Fe	As	Sr	Cd
Unidad	%	%	%	%	GM/T	%	%	%	%	%	%	%
LDI	0,001	0,001	0,01	0,01	2	0,001	0,001	0,01	0,01	0,01	0,001	0,001
Elemento	Sb	Bi	Ca	P	Cr	Mg	Al	Na	K	W	Hg	S
Unidad	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
LDI	0,001	0,01	0,01	0	0	0,01	0,01	0,01	0,01	0	0,001	0,05

Resultados geoquímicos de muestras obtenidas de minas, piques y laboreos

De los resultados químicos de las distintas muestras, obtenidas principalmente de material de desmonte de minas, piques y laboreos, se destaca que los valores de cobalto en esta zona están comprendidos entre 0,005% y 0,789%, destacando 5 muestras con valores sobre 0,1% de Co (Tabla 4.3). En la mayoría de las muestras levantadas los valores de cobre reportado son mayores a 0,5%, siendo 7 muestras mayor a 1% de Cu. Se destaca una muestra con valores sobre 10% de Cu y de 0,087% de Co (Mina Fresia 1_5) (Tabla 4.3). Los valores de Mn en las muestras son bajos. Los valores de hierro destacan 5 muestras por sobre 10% (máximo 31,54%), asociadas principalmente a muestras de desmonte de vetas con presencia de magnetita. Los valores de As, superan en varias muestras 0,1% de As (9 muestras, Tabla 4.3). La concentración de azufre en las muestras, presenta en varias de ellas valores por sobre los 0,1% de S, llegando a un valor máximo de 16,36% de S, asociado a una concentración de 23,07% de Fe, 2,136% de Cu y 0,085% de Co (muestra Sector-Labrar-01, Tabla 4.3).

Los resultados químicos se relacionan con el tipo de material de desmonte recolectado, que son principalmente, vetillas, vetas, brechas, con minerales de: magnetita, cuarzo, turmalina, calcopirita, bornita, pirita, arsenopirita, cuprita, atacamita, antlerita, limonita, jarosita y minerales de cobalto eritrina y cobaltita entre otros (Tabla 4.3).

Respecto de los resultados geoquímicos reportados por Geoexploraciones (1983) se realiza a continuación un análisis comparativo con los resultados del presente estudio:

Mina La Despreciada o Cobaltera: La mina se ubica en una estructura de 100 m de longitud, con rumbo N20°E y manteo 70° W con una potencia de 2 m. En el desmonte se encuentran esquistos silicificados con cobaltita y eritrina sin óxidos de cobre. Se reportan 8 muestras diferentes tomadas en desmontes y mina obteniéndose un rango de 0,28 a 1,81% y 0,004 a 0,006% de Cu y Co respectivamente. Estos resultados concuerdan con los resultados del análisis químico obtenido en las muestras levantadas (muestras Mina Despreciada, Tabla 4.3). En esta visita no se pudo acceder al interior de la mina por razones de seguridad.

Mina Rosa Amelia (Mina Marengo, Muestras: Las Marengo 1 y 2 en este trabajo). Veta con una corrida de 500 metros con rumbos N5°E, N10°E, N15°E, y manteos de 55°W – 40°W – 30°W. Hacia el lado Sur tiene potencias cercanas a 1 metro y hacia el lado Norte alcanza 2 metros de potencia. La mineralización es una veta de turmalina – cuarzo. En superficie se observa azurita, malaquita y óxidos negros. Se emplaza en esquistos y fue explotada por cobre. Los resultados en este estudio, con Cu entre 1 y 1,3% y Co entre 0,05 y 0,278% (Tabla 4.3), concuerdan con los rangos de concentraciones indicados por Geoexploraciones (1983) y confirman este sector como uno de aquellos de interés prioritario.

Tabla 4.3: Resultados analíticos para Co, Cu, Mn, Fe, As y S. Otros elementos en Anexo 2. Nombre de Mina, pique y laboreos y resumen descripción de muestra.

Muestra	Co %	Cu %	Mn %	Fe %	As %	S %	MINA	DESCRIPCIÓN - MUESTRA
Mina Fresia 1_5	0,087	>10,000	<0,01	31,54	0,08	1,02	FRESIA	Desmontes: vetas de Mgt(Mar)-Qzo-Turm-Cpy-Arsipy-Bor-Cup-Cris-Atac-Antl
Mina Despreciada	0,416	0,054	0,02	3,98	0,59	0,26	DESPRECIADA	Desmontes con Eritrina asociada a Qzo-Turm (Cal)
Las Marengo-1	0,278	1,333	0,01	6,7	0,71	0,05	MARENGO	Desmonte: vetas de Qzo-Lim-Jar
Las Marengo-2	0,049	1,062	<0,01	23,68	0,23	0,06	MARENGO	Desmonte: vetas Ox.Cu-Eri-Arc-Qzo-Ox.Fe
Las Marengo-3	0,079	2,967	0,06	10,25	0,1	<0,05	LAS MARENGO	Desmonte: vetas de Qzo-Turm-Ox.Cu-Ox.Mn-Lim-Jar
Las Marengo-4	0,443	0,683	0,03	3,5	0,77	<0,05	LAS MARENGO	Desmonte: vetas de Qzo-Turm-Eri-Cpy-Py
Las Marengo-5	0,017	1,618	0,03	6,17	0,12	<0,05	LAS MARENGO-5	
Sector Labrar-01	0,085	2,136	0,04	23,07	<0,01	16,36	SECTOR LABRAR	Desmonte: vetas de Mgt-Qzo(Cal)-Py(Arsipy)-Cpy-Clo-Bt
Sector Labrar-02	0,015	2,379	0,05	9,15	0,02	3,41	SECTOR LABRAR	Desmonte: vetas de Mgt-Qzo(Cal)-Py(Arsipy)-Cpy-Clo-Bt
Mina Delirio-01	0,781	0,302	0,03	1,84	1,19	0,26	DELIRIO	Desmonte: vetas Qzo-Turm-Eri-Cpy-Py
Mina Delirio-02	0,1	0,974	0,02	21,03	0,18	<0,05	DELIRIO	Desmonte: brecha matriz de Ox.Mn
Veta NN Qzo-01	0,022	0,271	0,01	2,41	0,06	<0,05	NN	Desmonte: veta Qzo-Lim-Jar-(Ox.Cu-Ox.Mn)
Mina Blanca-01	0,649	1,561	0,01	4,9	1,07	0,82	BLANCA	Desmonte: veta Qzo-Turm-Py-Eri
Mina Blanca-02	0,021	0,662	0,02	3,39	0,1	<0,05	BLANCA	Desmonte: esquistos con sulfuros diseminados y escasos minerales Ox.Cu
Sector Paulita-01	0,005	0,601	0,01	3,74	0,02	<0,05	Camino Mina Paulita	Desmonte: veta Qzo-Turm-Eri-(Ox.Cu)

Qzo: Cuarzo; Turm: Turmalina; Cal: Calcita; Mgt: Magnetita; Mar: Martita; Cpy: Calcopirita; Arspy: Arsenopirita; Bor: Bornita; Py: Pirlita; Cup: Cuprita; Cris: Crisocola; Atac: Atacamita; Antl: Antlerita; Eri: Eritrina; Lim: Limonita; Jar: Jarosita; Clo: Clorita.

Mina Blanca: consiste en un pique de extracción y otros auxiliares inaccesibles y se encuentra emplazada en una veta cuyo rumbo es N30°E con manteo de 50°W, alcanzando 3 m de potencia. Esta veta está asociada a una falla que en conjunto alcanza 3 a 4 metros de potencia. Está compuesta por turmalina y cuarzo intercalado con esquistos milonitzados. Existe abundante malaquita, crisocola, atacamita, azurita y óxidos negros y se observa eritrina en los materiales de desmontes. Una muestra tomada del desmonte en el estudio de Geoexploraciones (1983) indicó 0,24% de Co, en rango similar a lo obtenido en este trabajo (Muestras Mina Blanca-01 y Mina Blanca-02, Tabla 4.3).

Mina Delirio: La Mina Delirio se encuentra emplazada en una veta cuyos rumbos varían entre N10°E a N10°W con una potencia media de 4 m y una corrida de 150 a 180 m. La veta se encuentra emplazada en esquistos, junto a un dique andesítico y una falla. En la zona de falla se observan milonitas, esquistos alterados y una veta de cuarzo turmalina de 1,0 a 1,5 m de potencia. Existen óxidos de cobre en menor cantidad y abundante eritrina diseminada. Las muestras obtenidas en el

estudio de Geoexploraciones (1983) dan un resultado de 0,5 a 0,54% de cobalto y 1,13% de cobre, en rango similar a lo obtenido en este estudio (Muestras Mina Delirio-01 y Mina Delirio-02, Tabla 4.3Tabla).

La mineralización en el distrito San Juan se encuentra principalmente en forma de vetas de potencias reducidas, no mayor a pocos metros, con leyes de Co que alcanzan 0,78% y cobre en rangos sobre 1%, incluso en un caso particular sobre 10% (Tabla 4.3). En la mayoría de los yacimientos visitados se observa el desarrollo de una zona de oxidación (evidenciada a través de observación directa y/o inferida por el tipo de material existente en los desmontes), de proporciones variables, en las que predomina la eritrina, acompañada de hidróxidos de hierro y minerales oxidados verdes de cobre, la cual se extiende hasta unos 30 o 40 m bajo la superficie. La máxima profundidad alcanzada por la explotación es del orden de 100 m. En estas zonas puede producirse un enriquecimiento secundario local, con un aumento de las leyes del mineral a concentraciones entre 6 a 8% de Co, esto según antecedentes históricos.

De acuerdo a los resultados de los análisis geoquímicos en este estudio, se corroboran aquellos resultados reportados por Geoexploraciones (1983) y los datos históricos, confirmándose la presencia de cobalto es en toda el área recorrida, acompañado de altas concentraciones de cobre reportadas en la mayoría de las muestras. En la actualidad existen actividades de explotación en el distrito, la producción enviada a plantas de ENAMI en Vallenar, esta producción por cobre. No se reporta recuperación de cobalto.

Resultados geoquímicos de muestras obtenidas de plantas Quebradita y Cobaltera

Las muestras levantadas del Distrito Minero San Juan, obtenidas de las plantas Quebradita y La Cobaltera, fueron analizadas mediante una Digestión de Aqua Regia y análisis ICP-ES (AQ370, BUREAU VERITAS MINERALS LABORATORIES), para un total de 24 elementos (Tabla 4.2).

Las concentraciones mayores de Co en las distintas muestras obtenidas de las plantas se presentan en las muestras de ripios de la planta La Cobaltera y en las muestras de alimentación a planta Quebradita, con valores de 0,211% y 0,189% de Co respectivamente (Muestras Planta La Cobaltera-01 y Planta Relave-03, Tabla 4.4). Asociado a estas muestras se destacan las concentraciones mayores de cobre reportadas, de 3,765% para la planta Quebradita y de 1,223% para la planta La Cobaltera, como también valores sobre 0,19% de As para ambas muestras (Tabla 4.4). En general la concentración de hierro en las muestras es alta, mayor a 8% (Tabla 4.4).

Tabla 4.4: Resultados analíticos de Co, Cu, Mn, Fe, As y S de muestras obtenidas de las plantas Quebradita y Cobaltera. Otros elementos se presentan en Anexo 2. Nombre de Mina, pique y laboreos y resumen descripción de muestra.

Muestra	Co %	Cu %	Mn %	Fe %	As %	S %	Planta	DESCRIPCIÓN - MUESTRA
Planta Relave-01	0,011	0,564	0,06	9,21	0,02	0,79	PLANTA QUEBRADITA	Relave
Planta Relave-02	0,012	0,89	0,01	22,51	0,01	11,59	PLANTA QUEBRADITA	Piritas oxidadas
Planta Relave-03	0,189	3,765	0,13	10,14	0,29	5,86	PLANTA QUEBRADITA	Vetas de Qzo-Cal-Ser-Clo-Ox.Fe-(OxCu) en intrusivo y esquistos de alimentador planta
Planta La Cobaltera-01	0,211	1,223	0,05	8,36	0,19	1,19	PLANTA LA COBALTERA	Ripios

Qzo: Cuarzo; Cal: Calcita; Ser: Sericita; Clo: Clorita

Todos los resultados analíticos de muestras tomadas durante la visita a las distintas faenas y yacimientos en el Distrito San Juan confirman altos potenciales por cobalto y cobre. Se debe destacar eso sí que lo más destacable es cobre, aspecto que opaca la existencia de cobalto y que permite la explotación de estos yacimientos solamente por cobre como mena. Se hace necesario enfocar estudios y evaluaciones de evaluación y explotación a un enfoque mixto, cobre y cobalto, esto para efectos de maximizar los eventuales beneficios de los yacimientos existentes en este distrito.

4.1.2. Distrito Tambillos

4.1.2.1. Antecedentes

Se encuentra en la comuna de Andacollo, aproximadamente a 33 km al sur de la ciudad de La Serena y cubre una superficie de aproximadamente 40 km² (Fig. 4.12). Se accede al distrito por la ruta que conecta la ciudad de La Serena con la ciudad de Ovalle. El distrito Tambillo está contenido en el dominio metalogénico Arqueros (D3A), definido en el ámbito del mapa de Yacimientos Metalíferos del Área de Andacollo – Puerto Aldea (Díaz et al., 2010) (Fig. 4.12).

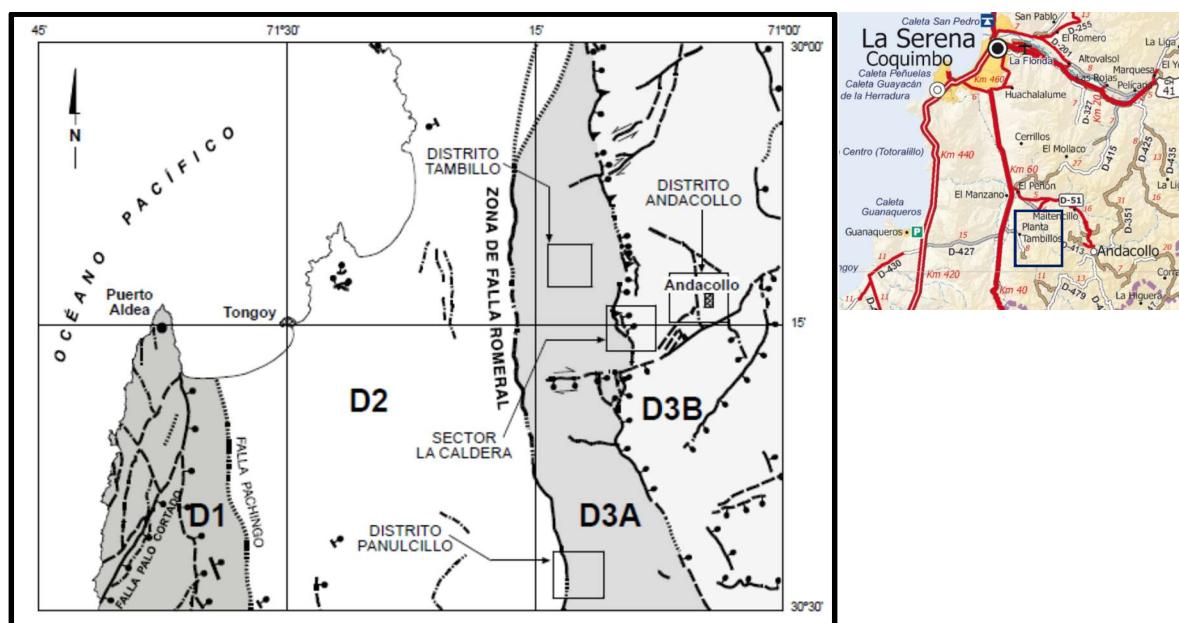


Figura 4.12. Contexto metalogénico distrito Tambillo (tomado de Díaz et al., 2010).

Los depósitos del distrito incluyen vetas del tipo IOCG, que se alojan tanto en rocas intrusivas del Cretácico Inferior (122-120 Ma, **Kig1**; Fig. 4.13) y cuerpos hipabisales del Cretácico Superior temprano (**Ksbg**; Fig. 4.5), como en una secuencia estratificada volcánica y sedimentaria del Jurásico Superior – Cretácico Inferior (Formación Arqueros, **JKvs**; Fig. 4.13) y depósitos estratiformes del tipo IOCG contenidos en un mismo nivel litocronoestratigráfico, en la base de una secuencia volcánico-sedimentaria típica de la Formación Arqueros. La totalidad de las rocas y depósitos antes descritos se distribuyen al este del Sistema de Fallas Romeral (SFR) y han sido afectados por un intenso metamorfismo de contacto asociado al emplazamiento de granodioritas, granitos y dioritas (122 – 120 Ma, **Kig1**; Fig. 4.13) ubicados en la zona central del distrito. Las rocas volcánicas incluyen la presencia de andesitas basálticas, hialoclastitas y peperitas. Sobre las andesitas y de manera

concordante se disponen anfibolitas sobrejacidas por granatitas en parte brechosas que hospedan, en conjunto, la mineralización estratiforme por decenas de kilómetros de extensión. Por sobre el nivel con anfibolitas y granatitas mineralizadas, se observa un nivel de rocas silicificadas, cuyo protolito corresponde a calizas y areniscas subordinadas con intercalaciones de chert, lutitas y tobas. La secuencia antes descrita se encuentra intruida por una serie de diques afaníticos, afíricos, ocoitas y cuerpos hipabisales andesítico – basálticos del Cretácico Inferior Tardío – Cretácico Superior Temprano. Los depósitos explotados por cobalto corresponden a los del tipo estratiforme, específicamente a las minas Buitre y Minillas. Estos mantos mineralizados presentan rumbo N15-35W y manteos entre 45 y 55W. El manto consiste en una roca cónica de actinolita y calcita recristalizada escasa, junto a abundante clorita intersticial. La caja yacente corresponde a metandesitas, las que generalmente tienen sobreimpuesta una alteración potásica definida por la presencia de biotita y feldespato potásico, mientras que la caja pendiente está constituida por capas continuas de chert. La mineralogía de mena primaria presenta calcopirita, pirita, arsenopirita, esfalerita, galena, cobaltita y tetrahedrita, además de pequeñas cantidades de eritrina en las zonas de oxidación superficial. La cobaltita se describe principalmente en la zona de contacto entre el manto mineralizado y la caja pendiente (chert) y en menor medida como diseminación gruesa al interior del manto, junto a los otros sulfuros mencionados.

El yacimiento con mayor desarrollo, con relación a la explotación de cobalto está representado por la mina Buitre, la que en 1975 tenía tres niveles de desarrollo separados en cota, cada 20 m. El nivel superior contenía un socavón de 200 m de alto, 4 m de ancho y una altura de 30 m. El nivel superior se encontraba en explotación a partir de un socavón de 170 m de extensión, 4 m de ancho y una altura de 15 m. El nivel intermedio consistía en un socavón de 50 m de extensión y el nivel más profundo, poseía un socavón que alcanzaba 30 m de largo. Se estimaba en esa época que la ley media de Co estaba en torno al 1% y los disfrutes tenían una ley media de 0,46% Co. La mina Minillas, contigua a la mina Buitre, presenta las mismas características de esta y en la actualidad está en preparación para la explotación de zonas de minerales oxidados de cobre, remanentes. La única mina en producción a escala de mediana minería corresponde a la mina Florida, contigua a las minas Buitre – Minillas y presenta características similares. Se explota actualmente para recuperación principalmente de cobre. Este material se procesa en una planta dentro del distrito y ha generado un importante volumen de relaves.

Los depósitos presentes en la porción norte del distrito corresponden a vetas de orientación preferencial N60E/80SE cuya corrida alcanza hasta los 300 m, con potencia entre 0,4 y 1,0 m y profundidad no inferior a 300 m. La mineralización está indicada por la presencia de magnetita, pirita, arsenopirita, calcopirita, minerales oxidados de cobre, almagre y uraninita, en una ganga de fluorapatito, hidroxilapatito, magnesiohorblenda, riebeckita, tremolita, actinolita, epidota y cuarzo. Presentan zonas de alteración centimétricas, en torno a las vetas, con feldespato potásico (albita, calcita), turmalina, actinolita y cuarzo, además de clorita-vermiculita, montmorillonita-clorita, biotita, muscovita, goethita, maghemita y hematita. Los valores de cobalto en estos depósitos en las zonas más oxidadas, con presencia de limonita, jarosita y minerales oxidados de cobre tienen valores levemente superiores a 0,1% (1 muestra), mientras que en la zona hipógena son inferiores a 0,01% (5 muestras) (Díaz et al., 2010).

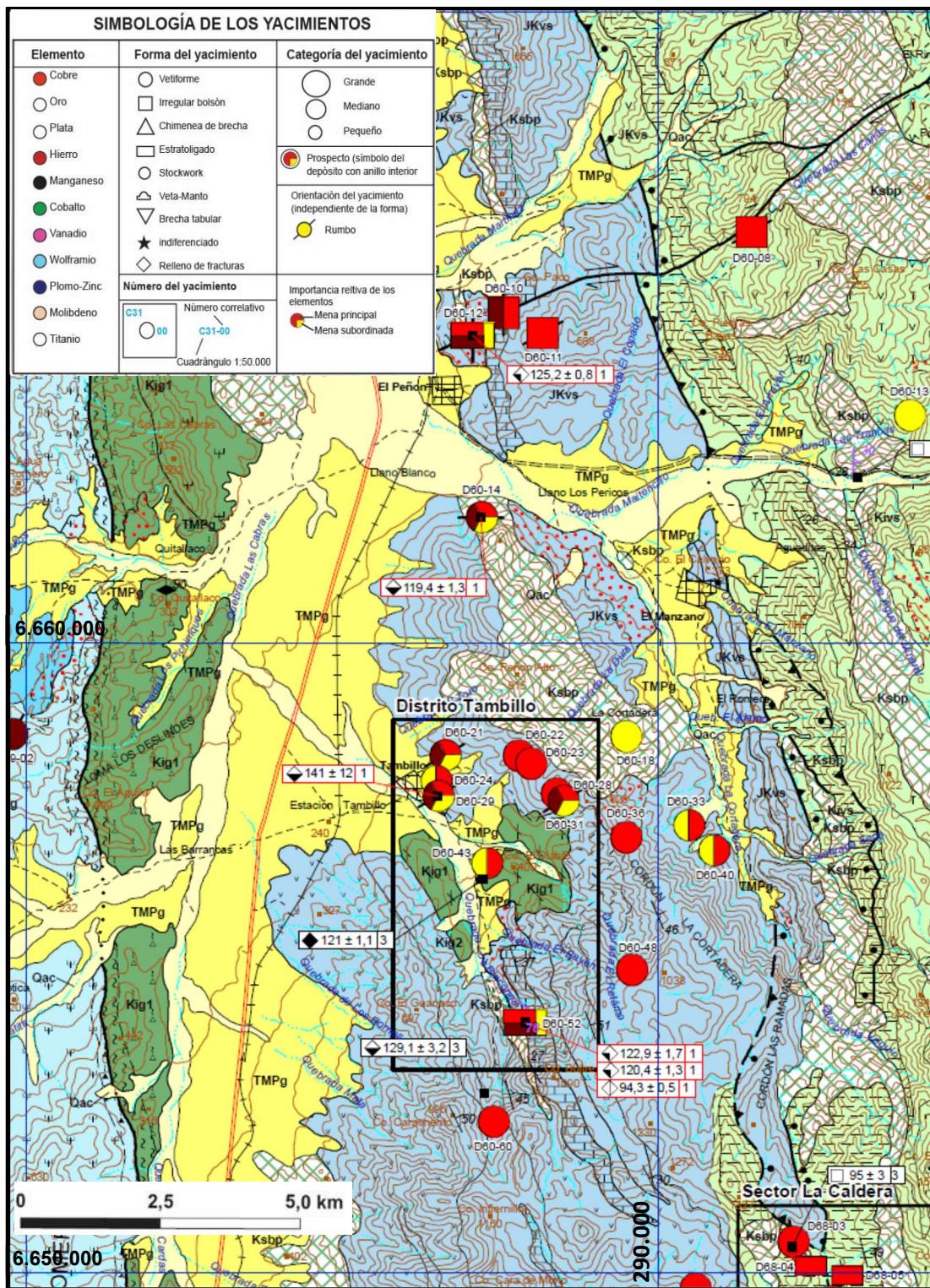


Figura 4.13. Contexto Geológico Distrito Tambillo (tomado de Díaz et al., 2010: para observación de detalle se recomienda al lector acceder a mapa original).

Recursos Mineros

No existe información actualizada en relación a los recursos y leyes para las minas Buitre y Minillas. Se presume que los escasos desmontes debieran contener leyes de Co inferiores a 1%. El volumen de relaves presentes en el distrito, procedentes del procesamiento de los depósitos estratiformes de Tambillos, por Cia. Minera Florida, debieran tener concentraciones de cobalto aún por determinar. Las vetas de la zona norte del distrito Tambillo en la actualidad son objeto de exploración con el objetivo de estimar recursos mineros e incluye la determinación de los contenidos de cobalto. Al momento de la visita se encontraban desarrollando socavones de cortada de vetas en la mina Farellón y preparándose para el desarrollo de una campaña de sondajes (Andrés Encina, Comet Exploration; com. verbal).

4.1.2.2. Revisión y toma de muestras en terreno

El Distrito Tambillo se aloja principalmente en una secuencia estratificada volcánica y sedimentaria del Jurásico Superior – Cretácico Inferior (**Formación Arqueros, Ka**). La secuencia de rocas volcánicas es principalmente andesítica-basáltica, de color gris oscuro a pardo oscuro, con intercalaciones sedimentarias marinas, mayormente caliza, areniscas y lutitas, de colores ocre, pardo anaranjado y verde; de estratificación gruesa (2-40 m de espesor cada estrato) y en parte de aspecto macizo (Fig. 4.14).

Al sur de Tambillos, se presenta la siguiente facie: Facie a1, está constituida principalmente por lavas porfíricas, con grandes fenocristales de plagioclasa y máficos. Comprende andesitas basálticas de piroxeno, basalto de piroxeno-olivino, andesitas de anfíbolas-piroxeno y de anfíbolas (Fig. 4.14).

La Formación Arqueros se encuentra intruida por Intrusivos Graníticos a Dioríticos (Cretácico Inferior tardío), constituidos por plutones de variadas dimensiones en el lado oriental de la Falla Romeral, principalmente Monzogranitos de anfíbola-biotita (**Kigd (h)**). En la parte norte y sur de Tambillo, está intruida por Intrusivos Hipabisales andesíticos basálticos-dioríticos (Cretácico Superior temprano), constituidos por: pórfidos dioríticos de anfíbola, piroxeno-anfíbola, piroxeno y anfíbola-piroxeno; pórfidos andesíticos de anfíbola, anfíbola-piroxeno, piroxeno-anfíbola y de piroxeno; dioritas de anfíbola-piroxeno y de piroxeno; andesitas porfíricas de anfíbola-piroxeno, de piroxeno-anfíbola y de anfíbola, andesitas afaníticas de contacto (**Kh (b)**) (Fig. 4.14).

Levantamiento de muestras en el Distrito Tambillo

En el Distrito Tambillos se levantaron 8 muestras de distintas minas y 1 del relave de una planta abandonada, muestras que se listan en la Tabla 4.5 y cuya ubicación se presenta en la figura 4.14.

A continuación de la Tabla 4.5 se describen los sitios y muestras obtenidas en cada uno.

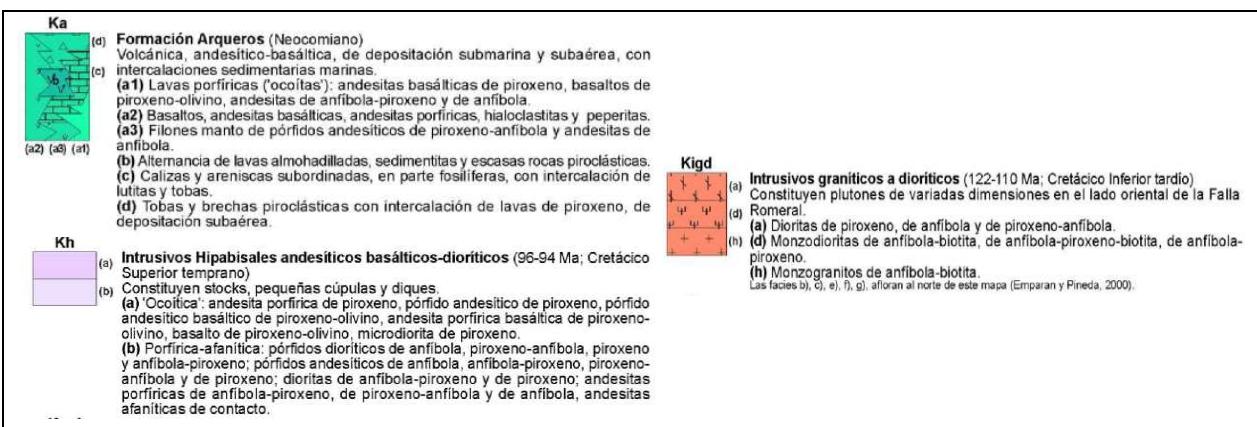
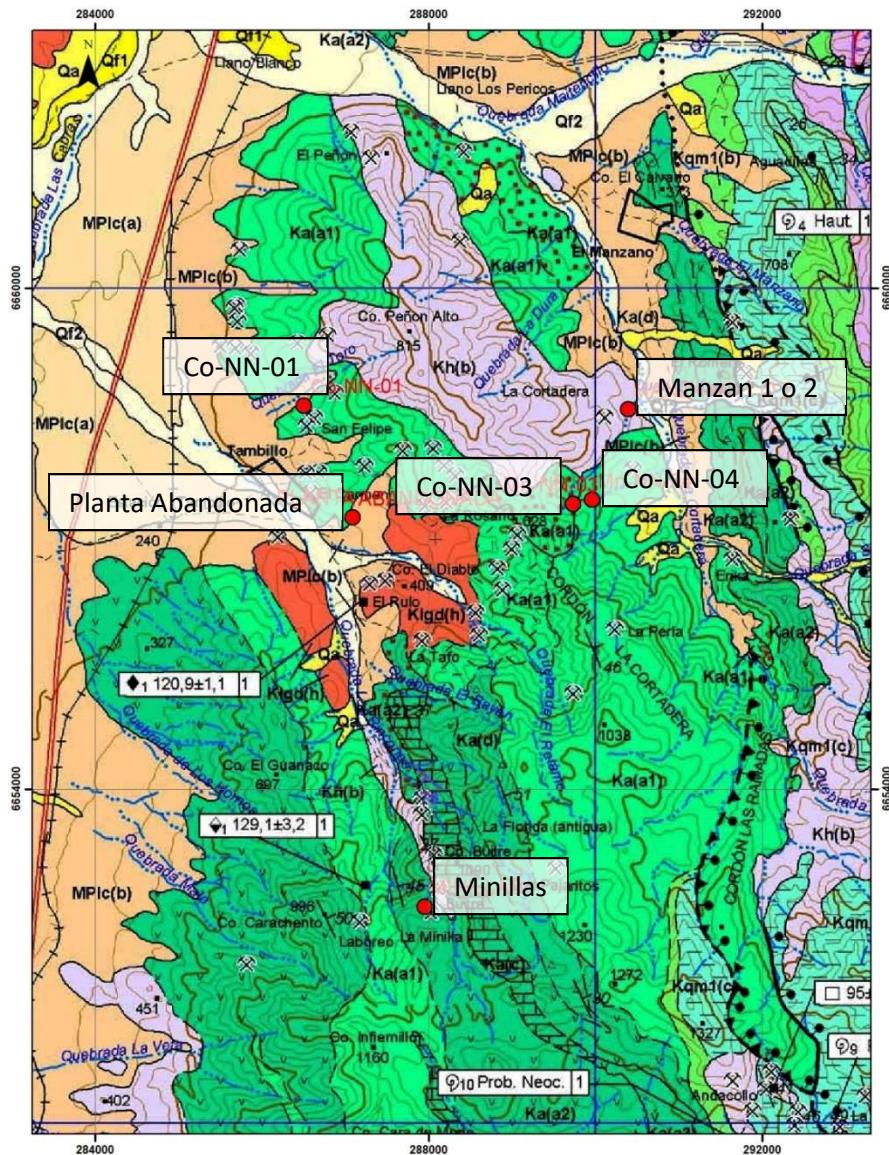


Figura 4.14: Mapa geológico modificado de Geología del Área Andacollo – Puerto Aldea, Región de Coquimbo 1:100.000 (Emperan y Pineda, 2006). Localización de muestras obtenidas en terreno en puntos rojos.

Tabla 4.5: Resumen de muestras levantadas en el Distrito Minero Tambillos. En amarillo se destaca la muestra obtenida de relave en planta abandonada.

CORRELATIVO	UTMN PSAD 56	UTME PSAD 56	UTMN WGS 84	UTME WGS 84	CODIGO MUESTRA	DISTRITO	MINA
27	6652596	287951	6652264	287750	Mi1	TAMBILLO	MINILLAS
28	6652596	287951	6652264	287750	Mi2	TAMBILLO	MINILLAS
29	6652596	287951	6652264	287750	Mi3	TAMBILLO	MINILLAS
30	6657255	287090	6656926	286891	REL1	TAMBILLO	PLANTA ABANDONADA
31	6658600	286505	6658269	286304	TB-01	TAMBILLO	Co-NN-01
32	6658551	290387	6658218	290187	MN-01	TAMBILLO	MANZANO 1 Ó 2
33	6657417	289724	6657085	289526	MN-02	TAMBILLO	Mn-NN-03
34	6657417	289724	6657085	289526	MN-03	TAMBILLO	Mn-NN-03
35	6657470	289952	6657140	289751	MN-04	TAMBILLO	Mn-NN-04

Co-NN-01, Mn-NN-03 y Mn-NN-04: minas sin nombre e información

Planta Abandonada: ubicada en la localidad de El Carmen (Fig. 4.14 y Tabla 4.5). En este sitio se accedió a un relave abandonado, desde el cual se levantó una muestra de relave con abundante magnetita (Fig. 4.15).



Figura 4.15: Relave planta abandonada en las proximidades de la localidad de El Carmen, distrito Tambillo.

Mina Minillas: ubicada al sur, por la Quebrada Los Rincones. En el sector afloran rocas de la Formación Arqueros cortadas por intrusivos hipabisales andesíticos basálticos-dioríticos descritos anteriormente (Fig. 4.14 y Tabla 4.5). El muestreo se realizó en material de desmontes donde existen: rocas volcánicas y volcanosedimentarias anfibolitizadas con pirita-(calcopirita-arsenopirita), vetas de calcita-pirita-(calcopirita-molibdenita) y rocas volcanoclásticas con cobaltita-eritrina. En total se tomaron 3 muestras (Fig. 4.16).



Figura 4.16: Rajo superior mina Minillas (inaccesible en vehículo).

Mina Co-NN-01: ubicada al norte de Tambillo en la ladera sur de la Quebrada El Toro. En el sector afloran rocas de la Formación Arqueros cortadas por intrusivos hipabisales andesíticos basálticos-dioríticos descritos anteriormente (Fig. 4.14 y Tabla 4.5). El muestreo se realizó a material de desmonte con vetas de magnetita-(calcita)-calcopirita-pirita-anfíbola-epidota-eritrina. En este sector se levantó una muestra.

Mina Manzano 1 ó 2: ubicada en la parte noreste del Distrito Tambillo, en el sector La Cortadera, en la confluencia de las quebradas La Cortadera y El Álamo. En el sector afloran rocas de los Intrusivos Hipabisales andesíticos basálticos-dioríticos descritos anteriormente (Fig. 4.14 y Tabla 4.5). El muestreo se realizó a material de desmonte con vetas de magnetita-(calcita)-calcopirita-anfíbola-apatito-epidota en intrusivo. Número de muestras levantadas es 1.

Mina Mn-NN-03: ubicada en la parte noreste del Distrito Tambillo, en el sector La Cortadera, en la ladera oeste de la Quebrada La Cortadera. En el sector afloran rocas de la Formación Arqueros cortadas por intrusivos hipabisales andesíticos basálticos-dioríticos descritos anteriormente (Fig. 4.14 y Tabla 4.5). El muestreo se realizó a material de desmonte en metandesitas con vetas de magnetita-(calcita)-calcopirita-pirita-anfíbola-apatito-epidota y en metandesita con diseminado de magnetita-(calcita)-calcopirita-pirita-anfíbola-apatito-epidota. En total se levantaron 2 muestras.

Mina Mn-NN-04: ubicada en la parte noreste del Distrito Tambillo, en el sector La Cortadera, en la ladera oeste de la Quebrada La Cortadera. En el sector afloran rocas de la Formación Arqueros cortadas por intrusivos hipabisales andesíticos basálticos-dioríticos descritos anteriormente (Fig. 4.14 y Tabla 4.5). El muestreo se realizó a material de desmonte en vetas de magnetita-(calcita)-calcopirita-pirita-anfíbola-apatito-epidota en intrusivo y metandesita. En este sector se levantó una muestra (Fig. 4.17).



Figura 4.17: Veta de Magnetita (calcita)-apatito-actinolita-epidota-arsenopirita-calcopirita.

4.1.2.3. Resultados de la geoquímica prospectiva del Distrito Tambillos

Las muestras levantadas del Distrito Tambillos, obtenidas de material de desmonte de mina y vetas, fueron analizadas mediante una Digestión de Aqua Regia y análisis ICP-ES (AQ370, Bureau Veritas Minerals Laboratories), para un total de 24 elementos (Tabla 4.6).

Los resultados de los análisis geoquímicos indican que las muestras de la Mina Minillas presentan valores de Co sobre 0,45%, destacándose dos muestras (Mi2 y Mi3) con valores sobre el límite de detección, es decir, concentraciones mayores a 1% de Co. La concentración de Cu reportada para estas muestras es entre 0,7% y 0,9% (Tabla). Se debe destacar que los análisis químicos de las muestras Mi2 y Mi3 reportan concentraciones de As de 1,76% y 9,31% y de S de 1,51% y 4,63% respectivamente. Esto se puede asociar a la ocurrencia de minerales sulfurados, calcopirita, pирита, arsenopirita junto con minerales como cobaltita y en zonas de oxidación de eritrina, tal como se describe en la muestra Mi3 (Tabla 4.6).

Los análisis químicos de las muestras TB-01, MN-01, MN-02, MN-03 y MN-04, reportan concentraciones mayores a 10% de hierro, destacando las muestras MN-01 y MN-04 con reporte de concentración mayor a 40% (sobrepasa límite de detección superior, Tabla 4.6). En estas muestras las concentraciones de Co son bajas, menores a 0,03%, las de cobre son mayores a 2% con la excepción de la muestra MN-03, con concentraciones de 0,086%. Cabe destacar la muestra MN-02 que reporta una concentración un poco superior a 5,4% de cobre. Las concentraciones de As reportadas están bajo el límite de detección, con la excepción de la muestra TB-01, con una concentración de 0,04%. Las concentraciones de S están sobre el 1,5%, llegando a 4,18% en la muestra MN-02 (Tabla 4.6).

Tabla 4.6: Resultados analíticos de Co, Cu, Mn, Fe, As y S, para las muestras obtenidas del Distrito Tambillo, el resto de los elementos en Anexo 2. Nombre de Mina, pique y laboreos y resumen descripción de muestra.

Muestra	Co %	Cu %	Mn %	Fe %	As %	S %	MINA	DESCRIPCIÓN - MUESTRA
Mi1	0,483	0,713	0,3	5,92	0,64	0,93	MINILLAS	Rocas volcánicas y volcanosedimentarias anfibolitizadas con Py-(Cpy-Arsy)
Mi2	>1,000	0,801	0,6	2,44	1,76	1,51	MINILLAS	Vetas Cal-Py-(Cpy-Mo)
Mi3	>1,000	0,817	0,17	4,27	9,31	4,63	MINILLAS	Rocas volcanoclásticas con Cob-Eri
TB-01	0,027	2,146	0,07	22,14	0,04	2,13	S.I.	Desmonte con vetas de Mgt-(Cal)-Cpy-Py-Anf-Epdt-Eri
MN-01	0,005	1,887	0,06	>40,00	<0,01	1,79	MANZANO 1 Ó 2	Vetas de Mgt-(Cal)-Cpy-Py-Anf-Ap-Epdt en intrusivo
MN-02	0,002	5,485	0,13	10,23	<0,01	4,18	S.I.	Vetas de Mgt-(Cal)-Cpy-Py-Anf-Ap-Epdt en metandesita
MN-03	0,003	0,086	0,12	10,57	<0,01	0,07	S.I.	diseminado de Mgt-(Cal)-Cpy-Py-Anf-Ap-Epdt en metandesita
MN-04	0,028	2,255	0,07	>40,00	<0,01	3,12	S.I.	Vetas de Mgt-(Cal)-Cpy-Py-Anf-Ap-Epdt en intrusivo y metandesita

S.I.: Sin Información; Qzo: Cuarzo; Cal: Calcita; Mgt: Magnetita; Cpy: Calcopirita; Arsy: Arsenopirita; Py: Prita; Mo: Molibdenita; Anf: Anfibolita; Epdt: Epidota; Ap: Apatito; Eri: Eritrina

Los depósitos explotados por cobalto corresponden a los del tipo estratiforme, específicamente a las minas Buitre y Minillas. Estos mantos mineralizados presentan rumbo N15-35°W y manteos entre 45 y 55°W. El manto consiste en una roca cónica de actinolita y menor calcita recristalizada, junto a abundante clorita intersticial. La caja yacente corresponde a metandesitas, las que generalmente tienen sobreimpuesta una alteración potásica definida por la presencia de biotita y feldespato potásico, mientras que la caja pendiente está constituida por capas continuas de chert. La mineralogía de mena primaria presenta calcopirita, pirita, arsenopirita, esfalerita, galena, cobaltita y tetrahedrita, además de pequeñas cantidades de eritrina en las zonas de oxidación superficial. La cobaltita se describe principalmente en la zona de contacto entre el manto mineralizado y la caja pendiente (chert) y en menor medida como diseminación gruesa al interior del manto, junto a los otros sulfuros mencionados.

En la Tabla 4.7 se indica los resultados de análisis geoquímicos a una muestra de relave de la planta abandonada (muestra REL1). La concentración de Co es de 0,018%, de Cu es de 0,129% y se destaca la concentración de Fe con un 15,85%, asociada a abundante magnetita reportada en la descripción de la muestra.

Tabla 4.7: Resultados analíticos de Co, Cu, Mn, Fe, As y S, restos de los elementos en Anexo 2, obtenidas de la planta abandonada. Nombre de Mina, pique y laboreos y resumen descripción de muestra.

Muestra	Co %	Cu %	Mn %	Fe %	As %	S %	MINA	DESCRIPCIÓN - MUESTRA
REL1	0,018	0,129	0,17	15,85	<0,01	0,27	PLANTA ABANDONADA	Relave con abundante Mgt

En base a las observaciones de terreno, resultados geoquímicos y los antecedentes descritos previamente, se puede indicar que el Distrito Tambillos mantiene un alto potencial por cobalto, que

conjuntamente con cobre, hierro y seguramente oro, describen un área prospectiva de muy alto interés por la existencia de menas polimetálicas. Al presente y por largo tiempo se han explotado los diversos yacimientos por su contenido de cobre, desconociéndose la recuperación de otros minerales. No obstante lo anterior, dadas las altas proporciones de magnetita en los relaves, sería conveniente analizar los relaves, esto para evaluar la recuperación de hierro magnético y concentración progresiva de otros minerales pesados, entre estos, minerales de cobalto.

4.1.3. Distrito Los Morteros

Al Distrito Los Morteros se accede desde la ciudad de Vallenar por el camino C-479 que une esta ciudad con la localidad de Hornitos (Fig. 4.18).



Figura 4.18: Mapa de ubicación y acceso al Distrito Los Morteros. Rectángulo azul indica ubicación aproximada.

Las rocas aflorantes en las zonas donde se obtuvieron las muestras pertenecen al **Grupo Bandurrias (Neocomiano)** (Fig. 4.19), correspondientes en general a rocas volcánicas andesíticas con intercalaciones sedimentarias, clásticas y calcáreas marinas.

En el área de muestreo la litología consiste fundamentalmente en andesitas porfíricas con grandes fenocristales de plagioclasa, en una masa fundamental afanítica; brechas andesíticas, tobas brechosas y areniscas brechosas, rojizas.

Hacia el este, sobre yace el **Grupo Chañarcillo** con discordancia angular y de erosión (Fig. 4.19), la que corresponde a una secuencia de rocas sedimentarias marinas constituidas principalmente por calizas fosilíferas, calcarenitas y niveles margosos, portadora de fauna neocomiana.

En la zona existen sedimentos pertenecientes a las **Gravas de Atacama** que forman una gran terraza colgada, la que descansa, discordantemente, sobre rocas del Grupo Chañarcillo y la Formación Cerrillos (Fig. 4.19). Estos sedimentos corresponden a gravas de regular selección, con clastos angulosos y tamaño menor a 10 cm, con una matriz de arena gruesa a fina. El espesor de estos sedimentos es de alrededor de 60 m.

El Grupo Bandurrias está intruida por extensos plutones de la **Franja Central**, constituida por plutones, de forma elongada en dirección NS a NNE (Fig. 4.19). Las granodioritas tienen una amplia distribución a lo largo de la franja. En la zona de río Huasco, Bembow (1980) describió granodioritas de biotita y hornblenda de colores blanco-amarillentos, constituidos por plagioclasa (andesina) sericitizada, feldespato potásico, abundante cuarzo, biotita y hornblendas cloritizadas y escasos piroxenos con apatita, esfeno y magnetita como minerales accesorios.

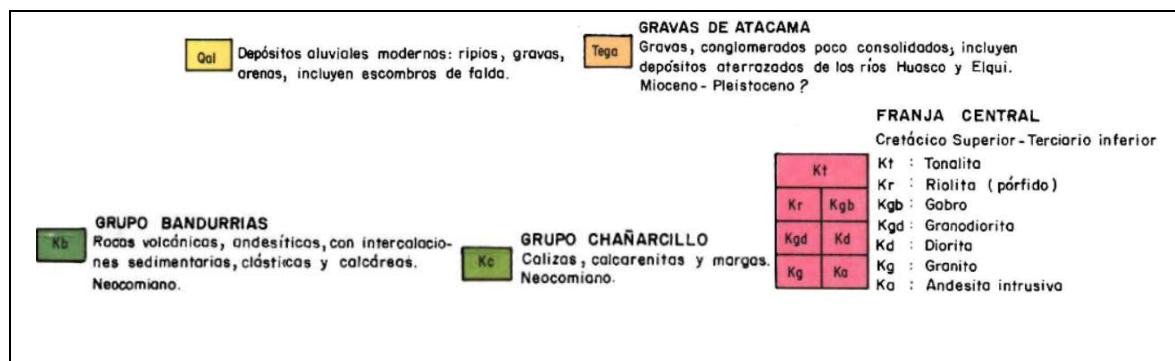
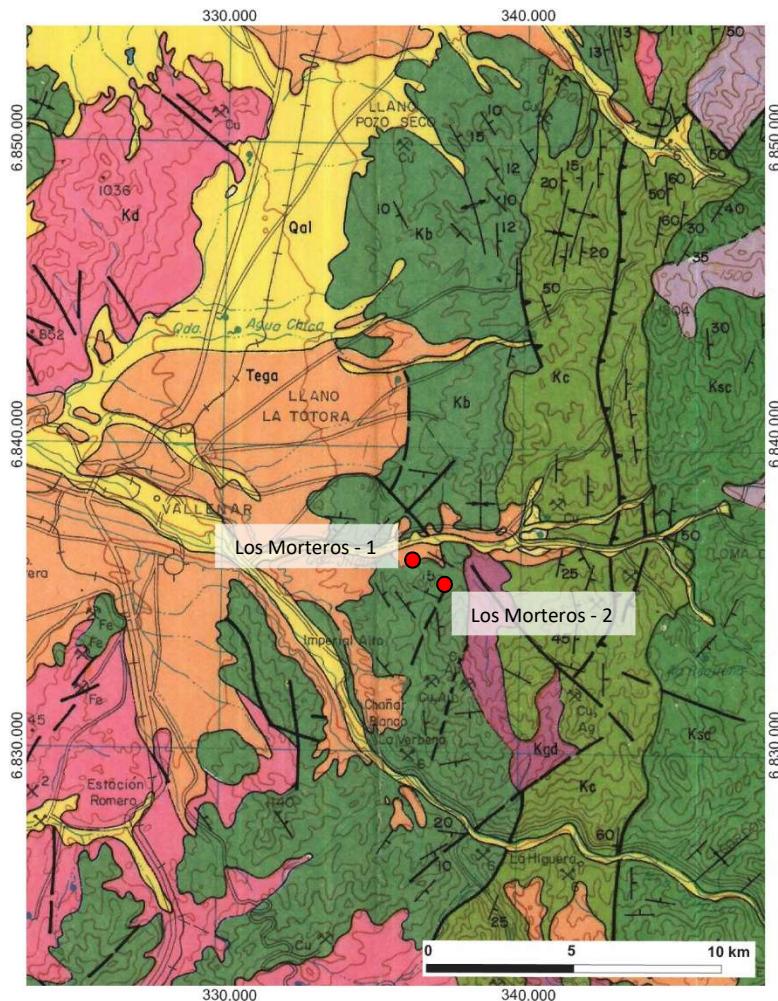


Figura 4.19: Mapa geológico modificado de Hoja Vallenar y parte Norte de La Serena 1:250.000 (Moscoso et al., 1982). Puntos rojos indican sitios de levantamiento de las muestras.

Las evidencias de alteración y mineralización en el distrito son reducidas, estas consistentes en afloramientos de rocas que presentan un penetrativo reemplazo a magnetita, hematita, con mineralización menor de pirita y escasa calcopirita, y alteración del tipo propilítica o calcosódica. Se presenta también mineralización menor de oxidados verdes de cobre. Existen laboreos abandonados y desmontes, pero la zona se encuentra en evidente abandono.

4.1.3.1. Muestras tomadas en el Distrito Los Morteros

En la visita a este distrito se tomaron dos muestras cuya ubicación se indica en figura 4.19 y que se describen a continuación.

Sector Los Morteros-1: Muestra de desmonte de mina, a la cual no se tuvo acceso. La roca corresponde a una andesita porfídica con magnetita-actinolita (clorita) penetrativa y mineralización de pirita-calcopirita-pirrotina diseminada y en vetillas. Se observa brechas de turmalina/cuarzo.

Sector Los Morteros-2: Muestra de desmonte de un pique, a la cual no se tuvo acceso. En la entrada del pique se presenta una veta de cuarzo con un ancho de aproximadamente 2 metros y una corrida de centenas de metros (Fig. 4.20). En esta veta existe mineralización de hematita terrosa, hematita especular, magnetita y oxidados verdes de Cu.



Figura 4.20: Izquierda, foto de estructura mineralizada y pique. Derecha, foto de veta y traza de corrida marcada en rojo. Flecha negra indica dirección norte aproximada.

4.1.3.2. Resultados de la geoquímica prospectiva del Distrito Los Morteros

Las muestras levantadas en el Distrito Los Morteros, obtenidas de material de desmonte de mina, fueron analizadas mediante una Digestión de Aqua Regia y análisis ICP-ES (AQ370, Bureau Veritas Minerals Laboratories), para un total de 24 elementos (Tabla 4.8).

Los valores de cobalto reportados de las muestras obtenidas en el Sector Los Morteros son bajos (menores a 0,002%). Se destacan valores sobre 11% de hierro y valores que superan 0,5% de Cu (muestras Sector Los Morteros-02, Tabla 4.8).

El potencial de mineralización de Co, considerando estos análisis es bajo. No obstante lo anterior, se debe indicar que la mineralización de hierro y existencia de mineralización menor de cobre, estos hospedados en rocas sedimentarias, sugiere un potencial ambiente del tipo IOGC. Dado que las evidencias de mineralización se presentan solamente en una zona de abundante magnetita no era esperable una alta concentración de cobalto. Por otra parte, existe amplia cobertura de sedimentos, aspecto que no permite evaluar las dimensiones y expresión superficial de alteración y mineralización en este distrito. Se recomienda mayor investigación, eso si, no como un blanco de interés por cobalto, más bien por Cu-Fe y quizás Au.

Tabla 4.8: Resultados analíticos de Co, Cu, Mn, Fe, As y S, para las muestras obtenidas del Distrito Los Morteros. El resto de los elementos se presentan en el Anexo 2. Nombre de Mina, pique y laboreos y resumen descripción de muestra.

Muestra	Co %	Cu %	Mn %	Fe %	As %	S %	MINA	DESCRIPCIÓN - MUESTRA
Sector Los Morteros-01	0,002	0,168	0,07	11,99	<0,01	0,75	S.I.	Andesita porfídica con Mgt-Act(Clo) diseminada/pervasiva y Py-Cpy-Po, diseminada y en vetillas
Sector Los Morteros-02	<0,001	0,662	0,07	11,63	<0,01	<0,05	S.I.	Estructura (Pique) con Hmt, Mgt, Qzo, Óxidos de Cu.

Qzo: Cuarzo; Mgt: Magnetita; Hmt: Hematita; Cpy: Calcopirita; Po: Pirrotina; Py: Piritita; Act: Actinolita; Clo: Clorita.

4.1.4. Distrito El Zapallo

El Distrito El Zapallo se ubica a unos 27 km al sur de la ciudad de Vallenar. En este distrito se visitó la mina Estrella, a la cual se accede por la ruta 5 N en dirección sur desde Vallenar, tomando un camino secundario hacia el oeste de esta ruta (Fig. 4.21).

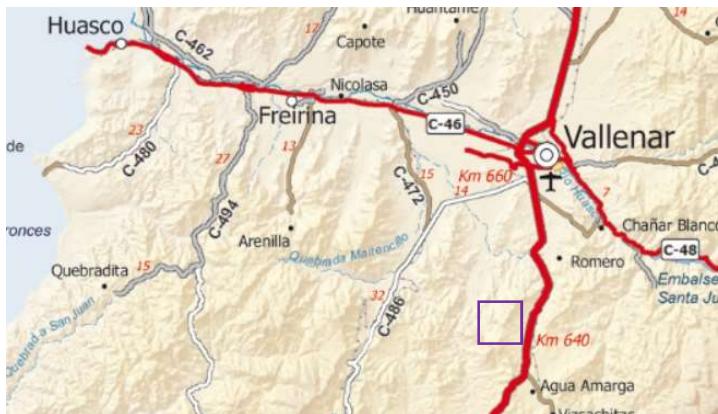


Figura 4.21. Mapa de ubicación y acceso al Distrito El Zapallo y la mina Estrella.

4.1.4.1. Antecedentes y toma de muestras en el Distrito El Zapallo

Las rocas aflorantes en el Distrito El Zapallo, de acuerdo al mapa geológico Hoja Vallenar y parte Norte de La Serena (Moscoso et al., 1982), pertenecen al **Grupo Bandurrias (Neocomiano)** (Fig. 4.21). En general las rocas del Grupo Bandurrias son rocas volcánicas, andesíticas, con intercalaciones sedimentarias, clásticas y calcáreas marinas. En el área de muestreo, Mina La Estrella, la litología consiste fundamentalmente en andesitas porfíricas con fenocristales centimétricos de plagioclasa, en una masa fundamental afanítica; brechas andesíticas, tobas brechosas y areniscas brechosas rojizas.

En el entorno del distrito las rocas del Grupo Bandurrias están intruidas por plutones de la **Franja Central**, constituida por intrusivos de forma elongada en dirección NS a NNE (Fig. 4.22). La composición predominante en el distrito corresponde a granodioritas, las que tienen una amplia distribución a lo largo de la franja. En la zona de río Huasco, Bembow (1980) describió granodioritas de biotita y hornblenda de colores blanco-amarillentos, constituidos por plagioclasa (andesina) sericitizada, feldespato potásico, abundante cuarzo, biotita y hornblendas cloritizadas y escasos piroxenos con apatita, esfeno y magnetita como minerales accesorios.

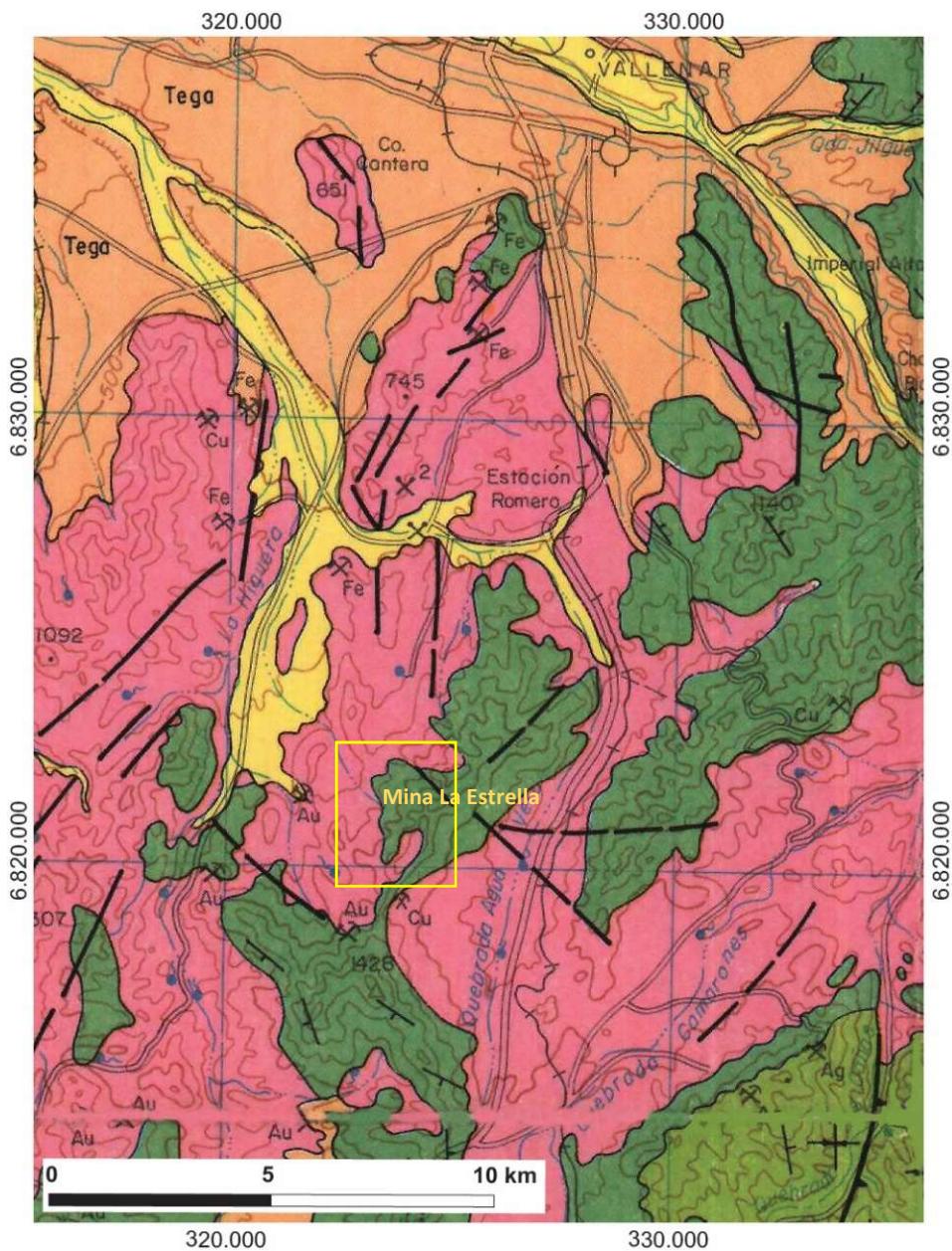
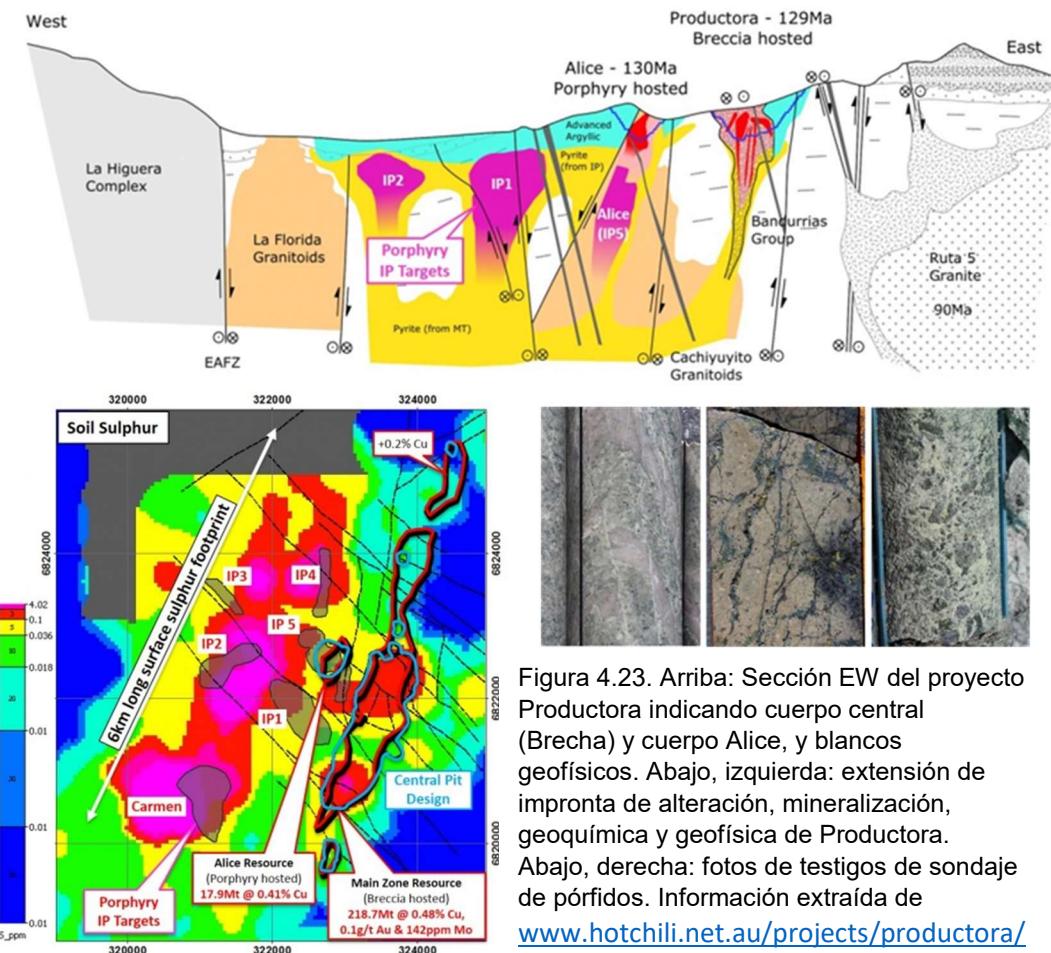


Figura 4.22: Mapa geológico modificado de Hoja Vallenar y parte Norte de La Serena 1:250.000 (Moscoso et al., 1982). Ubicación aproximada de Mina La Estrella (sitio de toma de muestras) y Distrito El Zapallo indicados.

Cabe destacar que la Mina La Estrella y el Distrito El Zapallo se encuentran colindante y en parte dentro del área de exploración del proyecto Productora, proyecto de la empresa Hot Chili limited. De la página web de la empresa (www.hotchili.net.au/projects/productora/) se resume la siguiente información:

- El proyecto Productora pertenece 100% a la Sociedad Minera El Águila SpA (SMEA), ubicado 17 Kms al SSW de la ciudad de Vallenar. De acuerdo a la página web de Hot Chili, se interpreta el proyecto Productora como un pórfito cuprífero de gran potencial, con recursos estimados iniciales de 1,5 Mt de cobre fino y 1 Moz de oro, estos en base a dos cuerpos, brecha de la Zona Principal, con 218,7 Mt @ 0,48% Cu, 0,1 g/t Au y 142 ppm Mo, y el cuerpo Alice con 17,9 Mt @ 0,41% Cu. El sistema de brechas (129 Ma) y pórfito se encuentra emplazado en rocas del Grupo Bandurrias (Fig. 4.23), rocas que son cortadas al oeste por el Complejo Intrusivo La Higuera, y al este por Granito Ruta 5 (90 Ma). La impronta de alteración, mineralización y geofísica en este proyecto presenta una extensión NNE-SSW del orden de 6 Km de largo, y unos 4 Km de ancho (Fig. 4.23). De acuerdo a los antecedentes de geofísica y exploraciones se plantea que Productora puede ser considerablemente mayor.



Toma de muestras en terreno (Mina La Estrella)

Las muestras levantadas de la Mina La Estrella, Distrito El Zapallo, fueron corresponden a astillas de rocas obtenidas desde frentes de extracción al interior de la mina y de material de acopio fuera de la Mina La Estrella y Leona (Fig. 4.24). En total se obtuvieron 5 muestras. Se describen a continuación las muestras obtenidas.

Muestras Mina Estrella 1, 2 y 3 (Fig. 4.24): levantadas desde frentes de avance y extracción dentro de la Mina La Estrella. La litología al interior mina corresponde a rocas volcánicas del Grupo Bandurrias, estas con una penetrativa alteración y mineralización, principalmente alteración potásica biotítica y clorítica, con mineralización masiva de magnetita, calcopirita, pirita, y menor pirrotina. Los frentes muestreados corresponden a mantos de reemplazo en la secuencia de rocas volcánicas, con potencias de 1 a 2 m, la más profunda abarcando toda la frente de avance del túnel de exploración, con altura un poco superior a 2 m.

Muestra Mina Estrella 4: esta muestra fue levantada desde el material de acopio ubicado fuera de la Mina La Estrella. Presenta alteración y mineralización similar a lo descrito al interior mina.

Muestra Leona 5: levantada desde desmonte ubicado fuera de pique de entrada de Mina Leona. Presenta alteración potásica biotítica y cloritización, con mineralización de pirita y calcopirita.



Figura 4.24. Fotografía de acopio de Mina La Estrella (superior, izquierda) y de las muestras obtenidas en el distrito. La identificación de cada muestra se indica en cada foto.

4.1.4.2. Geoquímica prospectiva de la Mina La Estrella y Leona 5, Distrito El Zapallo

Las muestras levantadas en la Mina La Estrella y La Leona, Distrito El Zapallo, fueron analizadas mediante una Digestión de Aqua Regia y análisis ICP-ES (AQ370, Bureau Veritas Minerals Laboratories), para un total de 24 elementos (Tabla 4.9).

Los valores de cobalto reportados de las muestras obtenidas de la Mina La Estrella están sobre los 1500 ppm y como valor máximo 2500 ppm. Los valores de cobre superan en promedio una concentración de 2,0%, reportando como valor máximo sobre 5,0% (muestra Mina Estrella 4). Asociado a estas muestras se destacan valores promedio de hierro sobre 35%, superando en tres muestras el umbral superior de 40% de hierro. La concentración de azufre reportado es mayor a 20% en promedio, lo que corrobora junto a las altas concentraciones de cobre y hierro la presencia de sulfuros como pirita y calcopirita reconocidos en las muestras (Tabla 4.9). Las concentraciones de níquel reportado son sobre 0,2% siendo la concentración máxima cercana al 1,0% (muestra Mina Estrella 1). Las concentraciones de arsénico son bajas, en general bajo el límite de detección, lo que sugiere que la existencia de cobalto puede ser en forma de mineral sulfurado.

Tabla 4.9: Resultados analíticos de Co, Cu, Mn, Fe, As y S, para las muestras obtenidas de la Mina La Estrella Distrito Zapallo, restos de los elementos en Anexo 2. Nombre de Mina, pique y laboreos y resumen descripción de muestra.

Muestra	Co %	Cu %	Mn %	Fe %	As %	S %	MINA	DESCRIPCIÓN - MUESTRA	
MINA ESTRELLA 1	0,199	2,323	0,08	36,71	0,01	>30,00	Mina Estrella	Muestra interior mina. Manto de 30 - 40 cm. Con pirita, magnetita y calcopirita diseminada y en vetillas	
MINA ESTRELLA 2	0,104	0,683	0,06	>40,00	<0,01		13,1	Mina Estrella	Muestra frente de extracción interior mina. Muestra zona superior de 1 m de espesor. Con mineralización de pirita principalmente, magnetita y calcopirita en menor proporción.
MINA ESTRELLA 3	0,251	1,333	0,04	>40,00	<0,01		25,01	Mina Estrella	Muestra frente de extracción interior mina. Muestra zona inferior de 1 m de espesor. Con mineralización de pirita principalmente, magnetita y calcopirita en menor proporción, pero mayor que la parte superior.
MINA ESTRELLA 4	0,141	5,241	0,04	>40,00	<0,01		24,43	Mina Estrella	Muestra de material de desmonte ubicado fuera de la Mina La Estrella, material seleccionado. Mineralización de pirita, magnetita y calcopirita.
LEONA 5	0,074	0,32	0,16	39,3	<0,01		9,04	Mina Leona	Muestra material de desmonte ubicado fuera de pique de entrada a Mina Leonas. Mineralización de magnetita, pirita y calcopirita.

La muestra de la Mina Leona reporta concentraciones de cobalto menores a 1000 ppm y de cobre menores a 0,5%. Las concentraciones de hierro son altas, mayores a 35% y de azufre cercanas a 10%.

4.1.5. Yacimiento Boquerón Chañar

El yacimiento Boquerón Chañar es uno de los muchos yacimientos de hierro de la Región de Atacama, ubicado dentro de la Franja Ferrífera de la Cordillera de la Costa (FFCC) (Ruiz et al., 1965 en Vivallos et al., 2008). Este yacimiento es propiedad de CORFO – Chile, reconocida solamente mediante sondajes, estando bajo una cobertura no consolidada. El yacimiento se ubica a unos 60 km al norte de la ciudad de Vallenar por la Ruta 5 Norte (Fig. 4.25).

4.1.5.1. Geología regional del entorno del yacimiento Boquerón Chañar

El yacimiento Boquerón Chañar se encuentra bajo una cubierta aluvial que alcanza espesores superiores a 200 m, constituida por bloques, ríos, gravas, arenas y sedimentos clásticos finos subyacentes a las gravas (**Depósitos aluviales, PIHa y Depósitos aluviales y coluviales antiguos MPlia**, Fig. 4.25; Arevalo y Welkner, 2008).

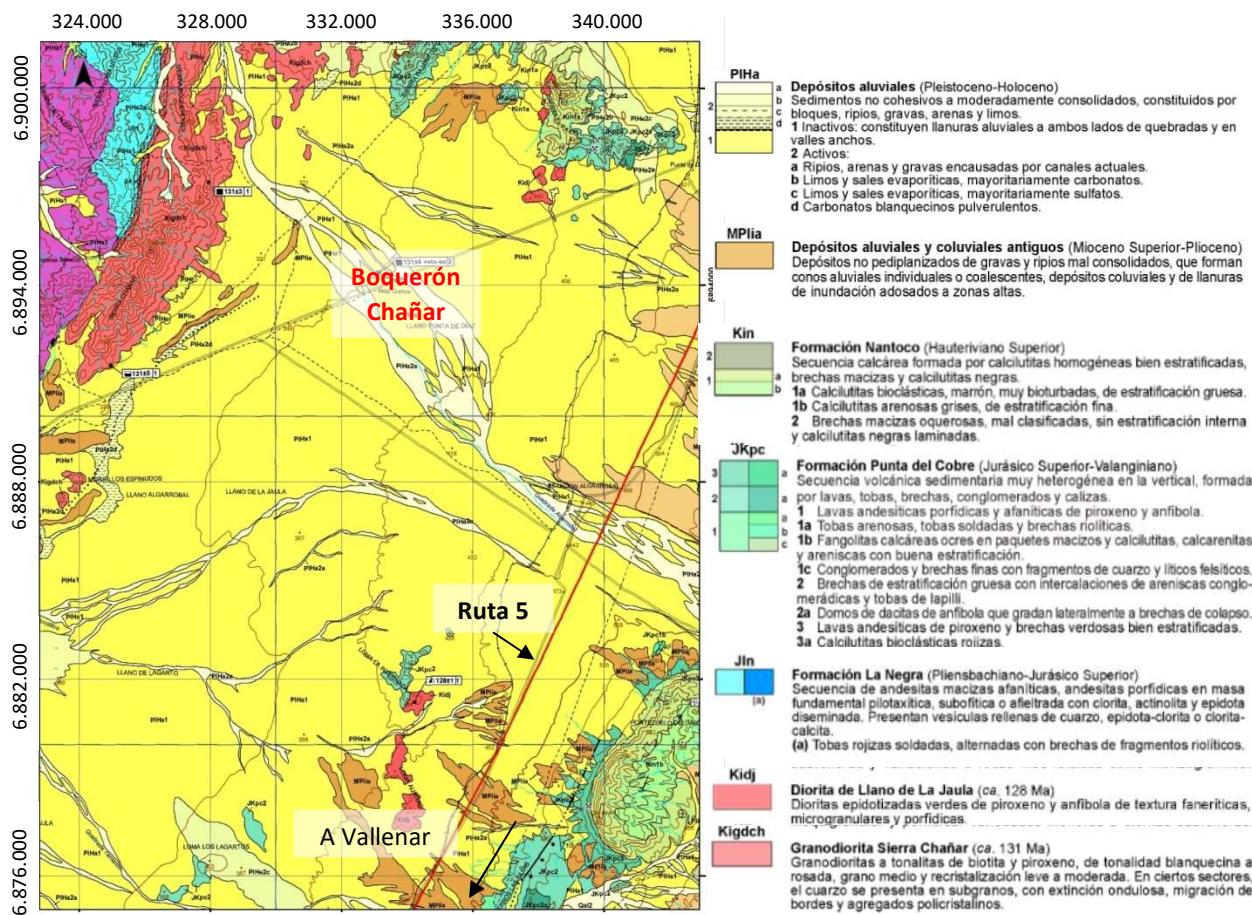


Figura 4.25: Mapa geológico modificado de Hoja Geología del Área Carrizal Bajo-Chacritas 1:100.000 (Arevalo y Welkner, 2008). Se indica ubicación aproximada del yacimiento Boquerón Chañar (rojo). Las muestras fueron levantadas desde sondajes del yacimiento. Para mayor detalle del mapa se refiere al lector a la Hoja original del SERNAGEOMIN.

La descripción de la geología fue extraída de la Hoja Geología del Área Carrizal bajo – Chacritas (Arevalo y Welkner, 2008).

“Las rocas aflorantes hacia el oeste, de donde se encuentra el yacimiento Boquerón Chañar, pertenecen a la **Granodiorita Sierra Chañar**, compuestas de granodioritas a tonalitas de biotitas y piroxenos, de tonalidad blanquecina a rosada, grano medio y recristalización leve a moderada. En algunos sectores la biotita se presenta alterada a clorita, epidota, prehnita. En otros, la anfíbola muestra alteración débil a intensa a clorita, actinolita, calcita, prehnita y titanita. Está en contacto con rocas volcánicas de la **Formación La Negra**, secuencia de andesitas macizas afaníticas, andesitas porfídicas con clorita, actinolita y epidota diseminada. Presentan vesículas llenas de cuarzo, epidota-clorita o clorita calcita (Fig. 4.25).

Hacia el norte y este afloran rocas de la **Formación Punta del Cobre**, secuencia volcánica sedimentaria muy heterogénea en la vertical, formada por lavas, tobas, conglomerados, calizas y brechas de estratificación gruesa con intercalaciones de areniscas conglomerádicas y tobas de lapilli (Fig. 4.25). Apoyada en concordancia sobre estas se encuentran rocas de la **Formación Nantoco**, que corresponde a una secuencia de calizas bien estratificadas con calcilitas bioclásticas marrón, muy bioturbadas, de estratificación gruesa, en bancos de 1 a 2 m alternados cada 5 a 10 m con calcarenitas bien estratificadas y calcilitas arenosas grises de estratificación fina, dispuestas en bancos de 5 a 10 cm (Fig. 4.25).

Hacia el sur este afloran rocas de la **Diorita de Llano de La Jaula** constituidas por dioritas epidotizadas verdes de piroxenos y anfíbolas de textura fanerítica microgranulares y porfídicas. Dioritas de piroxeno y anfíbolas epidotizadas de color verde con texturas faneríticas, microgranulares y porfídicas. Se presentan, en general, muy alteradas y son comunes la sericitaclorita y ocasionalmente escapolita. La anfíbola se encuentra actinolitizada y cloritizada. La biotita presente observa fuerte oxidación. Se reporta en estas rocas la existencia de pirita diseminada.”

4.1.5.2. Levantamiento de Muestras

El levantamiento de las muestras para análisis químico se realizó desde sondajes, estos almacenados en una bodega de CMP para CORFO, ubicada en cercanía a la ubicación del yacimiento Boquerón Chañar, sector Carrizal Alto, próximo a la Ruta 5 Norte. Para la selección de muestras se revisaron diversos tramos, en particular interés aquellos en que se reporta la ocurrencia relevante de minerales sulfurados, calcopirita y/o pirita principalmente. El muestreo consistió en la generación de un compósito de diferentes tramos de testigos de sondajes, compósitos seleccionados de tramos del orden de 2 a 3 metros. En total se tomaron 6 muestras, las que se indican a continuación (referencia indica punto medio de compósito, en pies):

- BH11-902: Sondaje 11, 902 pies
- BH12-824: Sondaje 12, 824 pies
- BH15-685: Sondaje 15, 685 pies
- BH20-489: Sondaje 20, 489 pies
- BH20-793: Sondaje 20, 793 pies
- BH21-1036,15: Sondaje 21, 1036,15 pies

En general las rocas presentes son metandesitas con alteración de feldespato-k, actinolita, vetillas de cuarzo y una mineralización de magnetita, pirita y calcopirita diseminadas y en vetillas, asociadas a cuarzo y feldespato-K (Fig. 4.26).



Figura 4.26. Fotos de tramos de testigos de sondajes de Mina Boquerón Chañar. Izquierda sondaje 21 - 1036,15 pies. Derecha sondaje 12 – 824 pies.

4.1.5.3. Geoquímica prospectiva del yacimiento Boquerón Chañar

Las muestras levantadas de sondajes del yacimiento Boquerón Chañar fueron analizadas mediante una Digestión de Agua Regia y análisis ICP-ES (AQ370, Bureau Veritas Minerals Laboratories), para un total de 24 elementos (Tabla 4.10).

Los valores de cobalto reportados de las muestras obtenidas de los testigos de sondajes del yacimiento Boquerón Chañar si bien son anómalos positivos respecto de corteza promedio, no constituyen un elemento de mena directa, las concentraciones determinadas menores a 0,03%. Los valores de cobre están bajo los 2000 ppm. Se destacan valores promedio de hierro sobre 30%, una muestra sobre 40% (BH15-685), corroborando las concentraciones de hierro descritas en trabajos anteriores, asociados principalmente a mineralización de magnetita (Tabla 4.10). Si bien existe mineralización de sulfuros, las bajas concentraciones de Cu, Co y S indican muy bajo potencial por facies sulfuradas. Por otra parte, concentraciones de arsénico por debajo del límite de detección analítico descartan la posibilidad de existencia relevante de arseniuros de cobalto.

De acuerdo a los resultados analíticos, esto en concordancia con los antecedentes de este yacimiento, presenta una mena exclusiva de hierro, mayoritariamente magnetita. No obstante este resultado, en una eventual explotación por hierro mediante separación magnética, no se puede descartar una posterior concentración de los minerales sulfurados en la fase residual, aspecto que en una evaluación metalúrgica de explotación pudiera abrir perspectivas de recuperación de créditos. Esto último es solamente posible en caso de viabilizar la explotación y recuperación de hierro.

Tabla 4.10: Resultados analíticos de Co, Cu, Mn, Fe, As y S, para las muestras obtenidas de la Mina Boquerón Chañar, restos de los elementos en Anexo 2. Nombre de Mina, pique y laboreos y resumen descripción de muestra.

Muestra	Co %	Cu %	Mn %	Fe %	As %	S %	MINA	DESCRIPCIÓN - MUESTRA
BH20-793	0,01	0,17	0,17	39,28	<0,01	0,82	Boquerón Chañar	
BH20-489	0,009	0,02	0,18	19,82	<0,01	0,42	Boquerón Chañar	
BH11-902	0,027	0,08	0,2	26,72	<0,01	2,99	Boquerón Chañar	
BH21-1036,15	0,013	0,08	0,25	17,11	<0,01	2,25	Boquerón Chañar	Sondaje BH21 BOX 80. Muestra tramos 1028,081 - 1031; 1031,0 - 1036,5; 1036,15 - 1041,46 pies. Muestras con alteración de clorita, cuarzo, actinolita, anfíbolas. Mineralización de magnetita, pirita y calcopirita diseminadas y en vetillas asociadas a cuarzo (vetillas)
BH12-824	0,012	0,05	0,16	31,96	<0,01	1,65	Boquerón Chañar	Sondaje BH12 BOX 53. Muestra tramos 820 - 824; 824 - 826 pies. Muestras con alteración de clorita, cuarzo, actinolita, anfíbolas. Mineralización de magnetita, pirita y calcopirita diseminadas y en vetillas asociadas a cuarzo (vetillas)
BH15-685	0,003	0,03	0,13	>40,00	<0,01	0,11	Boquerón Chañar	Sondaje BH15 BOX 52. Muestras con alteración de Feldespato-K, actinolita, vetillas de cuarzo. Mineralización de Magnetita, pirita y calcopirita diseminadas y en vetillas, asociadas a cuarzo y feldespato-K

4.1.6. Distrito Mina Merceditas – Sector El Volcán – Cajón del Maipo

La Mina Merceditas se ubica en el Cajón del Maipo, Región Metropolitana en el sector de El Volcán. A ella se accede desde la ciudad de Santiago por la ruta G-25 que une la comuna de Puente Alto con el sector El Volcán al interior del Cajón del Maipo en la ribera del Río Volcán (Fig. 4.27).

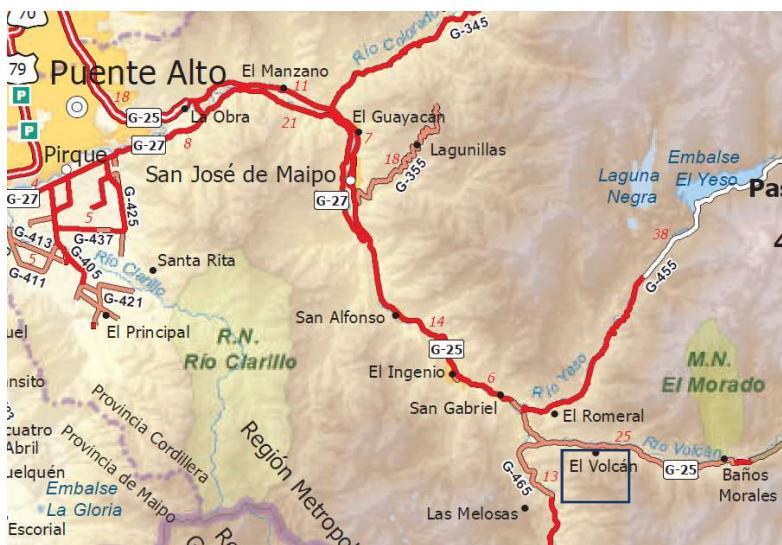


Figura 4.27. Mapa de ubicación y acceso a puntos de muestreo en el sector de Mina Merceditas – Sector El Volcán – Cajón del Maipo. Rectángulo rojo indica ubicación aproximada de Mina Mercedita.

4.1.6.1. Geología regional del entorno del área de la Mina Merceditas – Sector El Volcán – Cajón del Maipo

En el área donde se ubica la Mina Merceditas, afloran rocas continentales compuestas por tobas y brechas volcánicas con intercalaciones de lavas andesíticas y riolíticas, y rocas piroclásticas pertenecientes a la **Formación Abanico**. Hacia el oeste sobre yacen rocas compuestas por lavas, tobas e ingnimbritas con intercalaciones de brechas pertenecientes a la **Formación Farellones** en un contacto transicional con amplias variaciones, discordantes o pseudo-concordantes (Fig. 4.28).

Ambas formaciones están intruidas por granodioritas, monzogranitos y monzonitas cuarcíferas de la Unidad Intrusiva I (Thiele, 1980).

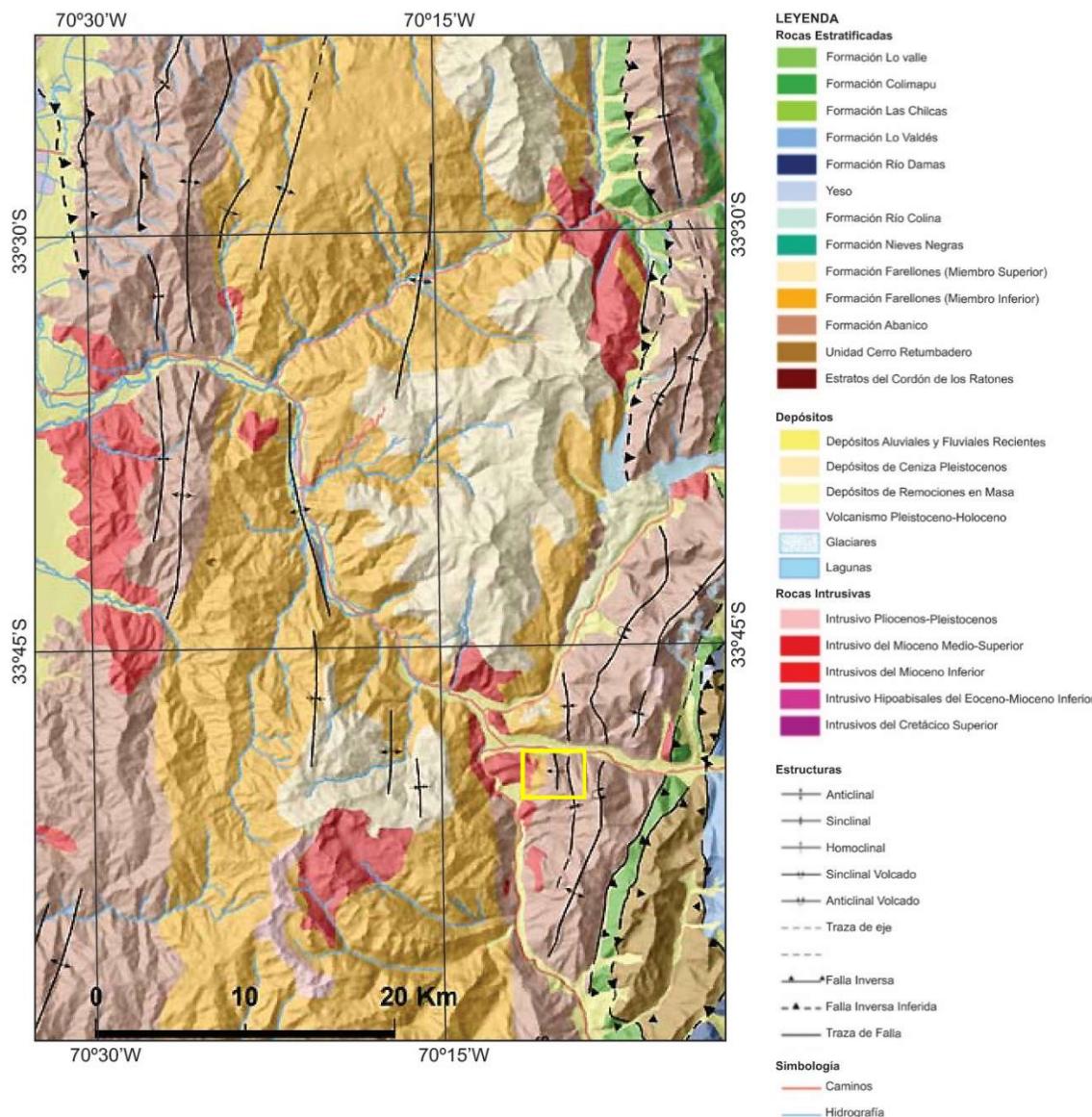


Figura 4.28. Mapa geológico modificado de Herrera (2016). Localización aproximada del Distrito y Mina Merceditas – Sector El Volcán, en rectángulo amarillo.

4.1.6.2. Levantamiento de muestras

En el sector de Mina Mercedita se tomaron 2 muestras (M-001 y M-002; Tabla 4.11), estas de material abandonado en la zona de planta (Fig. 4.29). La mineralización existente corresponde principalmente a sulfuros y oxidados verdes de cobre, con contenidos variables de pirita, hematita, hematita especular. Las rocas consisten de fragmentos de vetas y brechas de cuarzo, turmalina e hidróxidos de hierro (Fig. 4.29).



Figura 4.29. Labores abandonadas en mina Merceditas, sitio de toma de muestras (izquierda). Muestras de material de extracción con mineralización de sulfuros y oxidados verdes de cobre (derecha).

4.1.6.3. Geoquímica prospectiva del sector Mina Merceditas – Sector El Volcán – Cajón del Maipo

Las muestras levantadas en el sector de la Mina Merceditas fueron analizadas mediante una Digestión de Agua Regia y análisis ICP-ES (AQ370, Bureau Veritas Minerals Laboratories), para un total de 24 elementos (Tabla 4.11).

Tabla 4.11. Resultados analíticos de Co, Cu, Mn, Fe, As y S, para las muestras obtenidas del sector de Mina Merceditas – Sector El Volcán – Cajón del Maipo, Región Metropolitana. El resto de los elementos en Anexo 2. Nombre de Mina, pique y laboreos y resumen descripción de muestra.

Muestra	Co %	Cu %	Mn %	Fe %	As %	S %	MINA	DESCRIPCIÓN - MUESTRA
M-001	0,007	4,04	0,51	>40,00	<0,01	4,15	Merceditas	Zona planta, mineralización sulfuros y óxidos de cobre, Pirita, Hematita, Hematita especular, alteración cuarzo, turmalina. Hidróxidos de Hierro.
M-002	0,17	4,308	1,19	19,78	0,21	4,22	Merceditas	Zona planta, mineralización sulfuros y óxidos de cobre, Pirita, Hematita, Hematita especular, alteración cuarzo, turmalina. Hidróxidos de Hierro.

Del análisis químico de las muestras seleccionadas de la zona de planta en el sector de Mina Merceditas, se destaca la concentración mayor a 4% de cobre en ambas muestras. La concentración de cobalto reportada es de 0,007% (M-001) y 0,17% (M-002), de hierro >40,0% y 19,78% respectivamente. La concentración de S y As reportada es de 4,15% y <0,01% para M-001 y de 4,22% y 0,21% para M-002 (Tabla 4.11). Estos datos corroborarían que la presencia de cobalto estaría asociada a minerales sulfurados con contenido de arsénico, como por ejemplo arsenopiritas cobaltíferas y/o cobaltita, junto con mineralización de magnetita, pirita y calcopirita (Tabla 4.11).

De un informe antiguo (Pizarro, 1943), se extrae que el yacimiento Merceditas son vetas que cruzan una serie de capas porfiríticas (mesozoicas), formadas por conglomerados, brechas y tobas. La formación de este yacimiento se interpreta en dicho informe como relacionada con la intrusión granodiorítica que aflora en la falda oriental del río Maipo y que se extiende siguiendo el curso del valle. El relleno de la veta consiste en roca silicificada con impregnaciones de mineral ferruginoso (hematita y especularita) y sulfuros de cobre con algo de oro y plata. Existen zonas de la veta con abundante arsenopirita, y según estudios petrográficos, ésta reemplaza a la pirita la que a su vez es reemplazada por calcopirita. Pizarro (1943) interpreta que la mineralización se pudo generar en dos eventos de mineralización; en la primera se produjo la mineralización de la magnetita, pirita y arsenopirita cobaltífera con cuarzo, y en la segunda ocurre la mineralización de calcopirita, posiblemente con cuarzo. En el mismo estudio se menciona que la zona cobaltífera se ubica de preferencia en el campo superior de la veta, lo que daría oportunidad de exploraciones a zonas inferiores que no hayan sido estudiadas.

4.1.7. Otros distritos de interés por Cobalto

En un estudio de exploración geoquímica realizada por Lacassie et al. (2016; 2015) con el procesamiento de datos mediante redes neuronales artificiales (RNA) de datos geoquímicos de muestras de mena y zonas de alteración de diversos depósitos metálicos distribuidos en la Provincia Metalogénica de la Cordillera de la Costa de la región de Atacama y de la región de Coquimbo, al norte del río Limarí, se distinguen 18 grupos de muestras que representan, cada uno, un tipo de yacimiento con características químicas específicas y de distinto orden (Tabla 4.12). En particular destaca el grupo de yacimientos asociados a una señal de Ni-Co, de primer orden, en donde el valor medio de cobalto alcanza los 1242 ppm, además de 200 ppm de Ni, 2,2% Cu y 585 ppm de Mo (Tabla 4.12; Lacassie et al., 2016). Otras señales con valores elevados de Co corresponden a las de Fe-P, Fe, Ca y La - Ce (Tabla 4.12, Fig. 4.30). Normalmente este conjunto de señales se asocia a depósitos de hierro del tipo IOA, depósitos vetiformes e irregulares del tipo IOCG, depósitos vetiformes mesotermales de Cu-Au y representan varios eventos de mineralización ocurridos desde el Jurásico Inferior hasta el Cretácico Inferior. Estos ocurren en distintos ambientes geológicos controlados por el desarrollo de sucesivos sistemas de arco-tras-arco en el ámbito de la Provincia Metalogénica de la Cordillera de la Costa y reflejan diferentes niveles de exposición asociados a niveles de erosión diferenciados.

Tabla 4.12. Concentración media de elementos distintivos de señales químicas de depósitos metálicos (tomado de Lacassie et al., 2016).

Señal	Elementos distintivos										
	Fe2O3	CaO	P2O5	Co	Ni	La	Ce	Au	Pb	Cu	Mo
Fe-P	32	8	4,17	262	80	348	632	991	33	18429	71
Fe	57	2	0,26	181	47	12	16	922	19	7669	58
La-Ce	19	6	0,20	151	42	104	165	1285	55	13944	24
Ni-Co	24	8	0,30	1242	200	112	167	1269	753	22328	585
Ca	15	25	0,13	168	41	18	29	1399	17	9497	10
Si	9	3	0,10	52	25	11	14	2135	29	5861	18
B	16	2	0,19	88	12	23	33	1059	202	10553	125

Estos depósitos se encuentran en parte en los distritos ya señalados y también en los distritos Sierra Santo Domingo (**Z1**; Fig. 4.31) y Las Áimas (**Z2**; Fig. 4.31), descritos en el mapa de Yacimientos Metalíferos de Chañaral – Diego de Almagro (Gelcich et al., 1998); en los distritos Algarrobo – El Roble, Relincho, San Ramón – Zorroquina, Quebrada Seca, estos descritos en el mapa de Yacimientos Metalíferos de Caldera (Pizarro et al., 2003) (**Z3**; Fig. 4.31); en el distrito Punta del Cobre, descrito en Yacimientos Metalíferos de la Hoja Copiapo (Díaz et al., 2006) y en el distrito Las Pintadas descrito en el mapa de Yacimientos Metalíferos de la Hoja Los Loros (Díaz et al., 1998) (**Z4**; Fig. 4.31); en los distritos Descubridora de Quebrada Seca, Sierra El Tiuque, Totoral Norte y Quebrada Los Loros, Sierra La Noria y Sierra Algarrobilla, en el área descrita en las carta de Yacimientos de Castilla – Totoral Bajo (Jorquera et al., 2003) (**Z5**; Fig. 4.31), y finalmente en los distritos Carrizal Alto, Astillas, Sierra La Bandera y sector de Quebrada del Medio al sur de Freirina (Vivallo et al., 2008) (**Z6**; Fig. 4.31).

Potencial mineralización de cobalto fuera de las regiones de estudio: Valle del Alto Maule

Finalmente, se hace una breve mención a la existencia de mineralización de hierro masivo, tanto en forma de magnetita como sulfuros, en dos prospectos ubicados en el valle del Alto Maule, región del Maule (Fig. 4.32), propiedades del Sr. Sergio Araya. La mineralización corresponde a reemplazos masivos mantiformes en secuencias estratificadas de rocas volcánicas y sedimentarias cenozoicas, vetas y cuerpos de brechas, las que se extienden por más de 3 Km, con potencias variables, de pocas decenas de centímetros hasta potencias de 4 a 6 m. Si bien estos prospectos se ubican fuera de las regiones prioritarias consideradas en el presente estudio y no fueron visitadas, si se obtuvo una muestra de rocas de los mantos masivos, estos con mineralización de pirita, localizada en Qda. Los Baños. Los resultados de análisis (muestra MAU-001) indican concentraciones bajas para Co y Cu, 0,02% y 0,028% respectivamente. No obstante se debe destacar que estas concentraciones (200 ppm Co y 280 ppm Cu) si representan anomalías de contraste positivo respecto de corteza. Lo más destacable en esta muestra es una muy alta concentración de hierro (31,11%), junto con una muy alta concentración de azufre (>30%). Estos resultados confirman mineralización de reemplazo masivo de pirita.

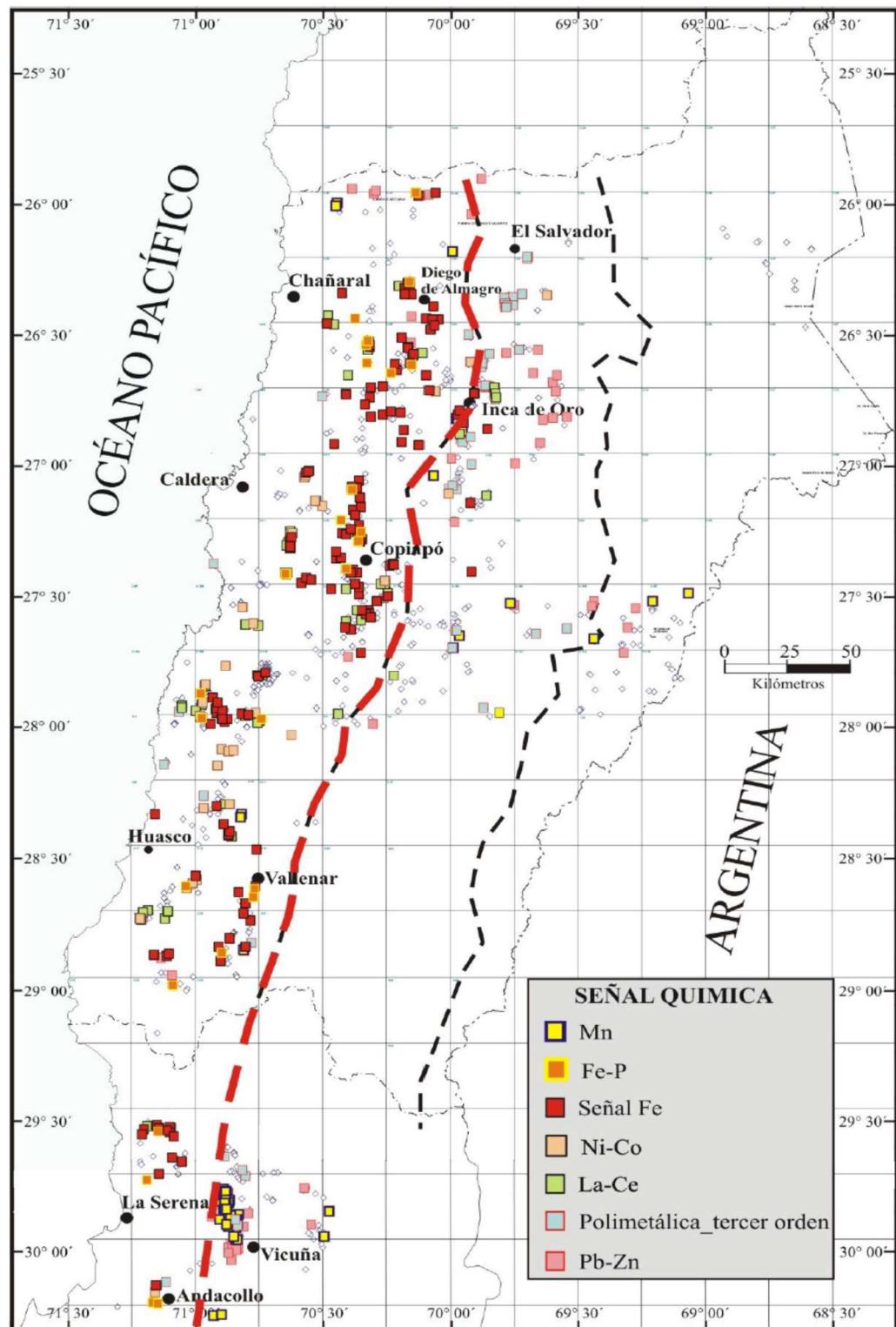


Figura 4.30. Distribución de señales químicas de distinto orden de depósitos metálicos (tomado de Lacassie et al., 2016: para observación de detalle se recomienda al lector acceder a mapa original).

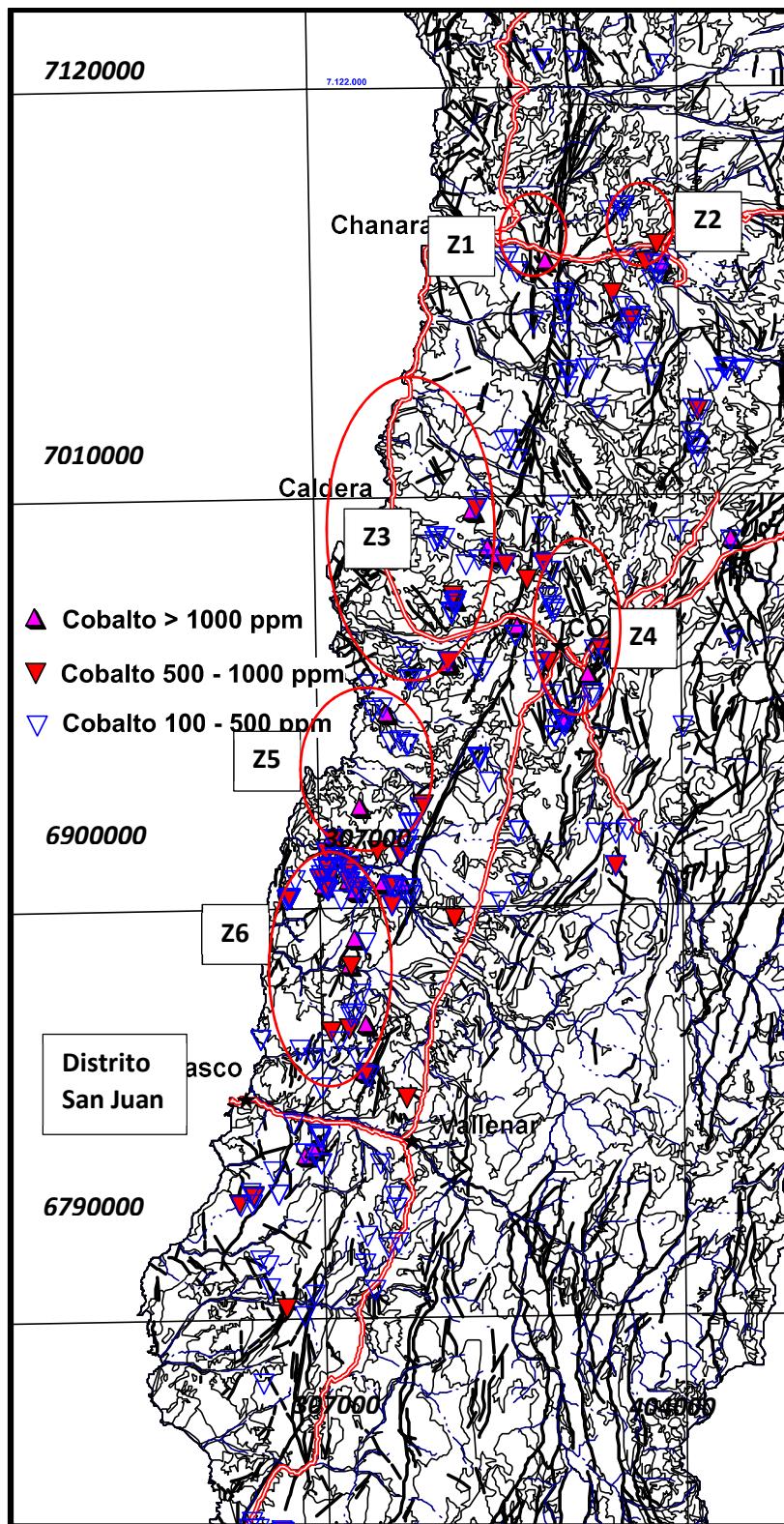


Figura 4.31. Contenidos de Cobalto de yacimientos en otras zonas (Z1 a Z6) de La Provincia Metalogénica de la Cordillera de la Costa y lineamientos principales (para observación de detalle se recomienda al lector acceder a mapa original).

Antecedentes aportados por una visita de terceros (geólogos Sr. Michael Corey y Sr. Patrick Burns) describen la mineralización mantiforme de hierro como potencialmente del tipo skarn de hierro o del tipo IOCG. Los resultados analíticos coinciden cercanamente con los resultados obtenidos en este estudio. Tres muestras del sector Qda. Los Baños (muestras 315537 – 39; Fig. 4.32) indican Cu entre 86 y 854 ppm, Co entre 48 y 275 ppm, Fe entre 26 y 30% y S entre 4 y >10%. Las concentraciones de otros elementos son en general cercanas al promedio de corteza, sin anomalías de contraste relevantes. En la misma visita, los geólogos Corey y Burns obtuvieron una muestra de la mina Fortuna (muestra 315540; Fig. 4.32). Los resultados de esta muestra indican concentraciones de Cu y Co muy bajas, 9 y 4 ppm respectivamente, Fe solamente de 5,17%, Mn 2050 ppm, Pb 197 ppm, y S 3,48%. La muestra corresponde a caliza fosilífera recristalizada con mineralización de pirita diseminada fina. Los resultados analíticos de estas muestras se incluyen en el Anexo 2.

Finalmente, una muestra de los mantos mineralizados en la Qda. Los Baños, reportada por el dueño de la propiedad (Sr. Sergio Araya) indica concentraciones de Au 0,61 ppm, Cu entre 0,2 y 0,3%, Co 297 ppm, Ni 178 ppm, Fe 45% y S 40%, confirmando una mineralización predominante de pirita, menor magnetita, y concentraciones anómalas positivas por Au, Cu, Co, Ni y Fe.



Figura 4.32. Ubicación de mineralización masiva de óxidos y sulfuros de hierro en el valle del Alto Maule, sector Río Lo Baños, y mina Fortuna, al borde del Río Maule (izquierda). Vista de mantos mineralizados y mineralización de magnetita y pirita en reemplazos masivos (derecha).

4.2. Distritos por Manganeso.

La producción de Manganeso comenzó en Chile en el siglo XIX, como consecuencia de la demanda del mercado internacional para hacer frente al creciente empleo del ferromanganeso en el proceso de aceros Bessemer. Dentro de los primeros 10 años, la explotación de los yacimientos chilenos alcanzó la cifra de 52.000 ton. anuales que se exportaban a Inglaterra. Este ritmo fue el más alto, y la producción posteriormente se redujo debido a la fluctuación del precio en el exterior. La Primera y Segunda Guerra Mundial generó un repunte de la producción chilena de manganeso, donde, la producción alcanzó la cifra récord de 114.000 ton en el año 1943, para caer verticalmente al terminar la Guerra en 1945.

Según el “Anuario de Estadísticas del Cobre y Otros Minerales 1997 – 2016”, la producción de manganeso bajó desde 62.887 ton anuales en el año 1996 hasta 5.722 ton anuales en el año 2009. Según consta en los registros la producción de manganeso se detiene a partir del año 2009 (Tabla 4.13).

Tabla 4.13: Producción de Manganeso de la Minería Metálica Chilena (Fuente: Comisión Chilena del Cobre, Anuario de Estadísticas del Cobre y otros Minerales 1997 – 2016).

	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
MANGANESO (TM de mineral)	62.887,0	63.673,0	48.931,0	40.505,0	41.716,0	31.320,0	12.195,0	19.641,0

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
MANGANESO (TM de mineral)	24.801,0	39.786,0	37.169,0	26.808,0	18.273,0	5.722,0	----- -	-----

Dentro de los mayores productores de Manganeso en Chile se encontraba Manganos Atacama, filial de Compañía Minera del Pacífico, que en los años 2004 y 2005 produjo 23.599 y 23.591 ton de manganeso respectivamente.

En términos generales, los recursos de manganeso en Chile se encuentran en la región de Coquimbo y parte sur de la región de Atacama, en el Altiplano de la 15^a región de Arica y Parinacota y en los yacimientos sedimentarios metamórficos precámbricos de las provincias de Valdivia y Cautín (Peebles y Ruiz, 1985; Ruiz y Peebles, 1988). Los de mayor importancia tienen una amplia distribución en la región de Coquimbo, en la denominada Cuenca del Manganeso del Cretácico Inferior. Los depósitos se ubican en rocas de la Formación Arqueros y en rocas de la Formación Quebrada Marquesa. Estos se habrían formado en tres ciclos diferentes. El más antiguo estaría representado por los depósitos reconocidos en el distrito Lambert, el intermedio por los yacimientos de los distritos Arqueros, Talcuna, Las Cañas (La Liga), El Arrayan, Corral Quemado y Fragua, y el último ciclo y más joven está representado por depósitos menores ubicados al suroeste del distrito Talcuna (Aguirre y Egert, 1965; Aguirre y Mehech, 1964; Aguirre, 1970). Los depósitos formados en el ciclo intermedio son los de mayor interés económico, en base a su tamaño y continuidad de los

mantos. En una reciente visita a los distritos de la región de Coquimbo, se pudo constatar que la totalidad de los depósitos de manganeso se encuentran paralizados y la mayoría de ellos, propiedad de CAP, se encontraban con sus accesos restringidos ya que se habían ejecutado los planes de cierre de faenas mineras. Sólo fue posible acceder a parte del distrito Corral Quemado, al distrito Fragua y a la parte sur del distrito Las Cañas. De igual modo se describen las características principales de los distritos de interés de esta área, y en los distritos visitados se describen las observaciones de terreno, toma de muestras y resultados de la geoquímica de estos.

4.2.1. Distrito Lambert

Se ubica en el dominio D3 definido por Jorquera et al. (2011) en el área definida en el mapa de Yacimientos Metalíferos de La Serena - La Higuera (Fig. 4.33). Se encuentra a unos 20 km al noreste de la ciudad de la Serena y se accede por la quebrada Santa Gracia hasta el sector donde se ubica la planta de lixiviación San Lorenzo de Lambert, para luego continuar por quebrada Arrayán. El distrito se caracteriza por la presencia de depósitos vetiformes y estratiformes de Cu, Mn, Au y Ag.

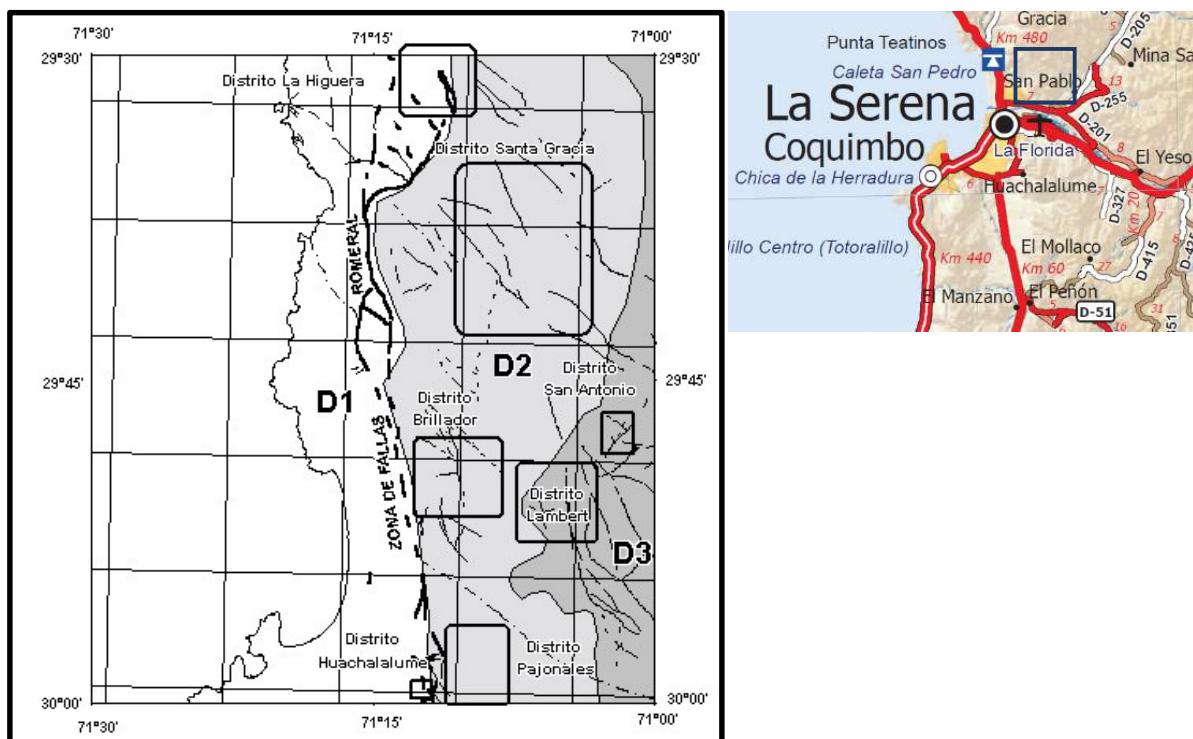
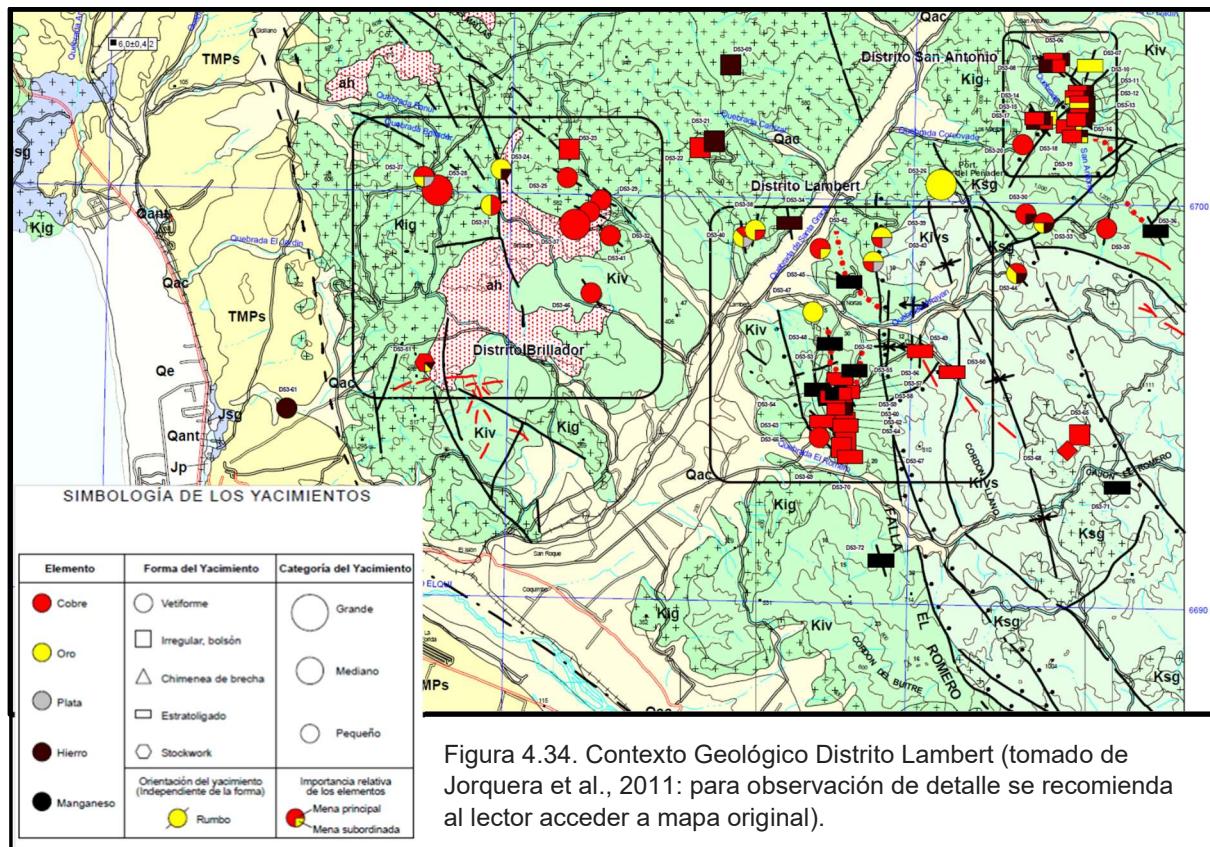


Figura 4.33. Ubicación (recuadro superior, rectángulo rojo) y contexto metalogénico (tomado de Jorquera et al., 2011) de los principales distritos mineros en el área La Serena-La Higuera.

En el contexto de este dominio (Fig. 4.34) afloran rocas volcánicas y sedimentarias de rumbo NNW y suave manteo al este donde destaca la presencia de andesitas, andesitas basálticas, basaltos, areniscas calcáreas y calizas asignadas a la formación Arqueros (Kiv), de edad neocomiana. Estas rocas están en contacto por falla normal de bajo ángulo con brechas epiclásticas e intercalaciones de areniscas, tobas y andesitas asignadas a la formación Quebrada Marquesa (Kivs). El conjunto de rocas antes descrita se encuentra intruida hacia el oeste por dioritas, dioritas porfídicas, microdioritas y andesitas de edad cretácica inferior (Kig). Granitoides monzoníticos a dioríticos de

edad cretácica superior (Ksg) intruyen a las rocas de la formación Quebrada Marquesa (Kivs) unos 4 km al este del distrito.



Los depósitos de manganeso son estratiformes y se emplazan con una actitud solidaria a los niveles de tobas, areniscas, limonitas y andesitas que los contienen, con una marcada tendencia NNW y manteos que varían entre 10° y 30° al este. Las corridas de estos depósitos tienen en promedio unos 300 m, con la excepción de mina Jamelas o Altoqui (D53-55 en mapa de Jorquera et al., 2011), donde se observa una corrida de 3 km. La potencia de los mantos varía entre 0,6 y 4 m, con un promedio de 1 m, y se reconocen desarrollos a lo largo del manteo de aproximadamente 100 m.

La mineralogía de mena de los depósitos de manganeso incluye pirolusita, braunita, psilomelano y cantidades subordinadas de minerales oxidados de Cu, en una ganga de calcita (Jorquera et al., 2011).

4.2.2. Distrito Arqueros.

Se ubica en el dominio D1C definido por Jorquera et al. (2012; Fig. 4.35) en el área descrita en el mapa de Yacimientos Metalíferos de Condoriaco – Rivadavia. Se accede a esta zona luego de recorrer unos 15 km hacia el norte desde el pueblo de Nueva Talcuna. En este distrito se concentran depósitos estratiformes de Mn-Fe y Cu-Ag y depósitos vetiformes de Ag con cantidades subordinadas de Cu.

Las rocas que afloran en el Distrito (Fig. 4.36) corresponden a areniscas, brechas volcánicas, brechas epiclásticas, tobas, andesitas y filones andesíticos de la Formación Quebrada Marquesa (Kivs), y andesitas, basaltos, calizas y areniscas calcáreas, areniscas, conglomerados, tufitas y lutitas de la Formación Arqueros (Kiv). El conjunto de rocas antes descrito se encuentra cortado por pórpidos andesíticos, basálticos, dioríticos y dacíticos, asignados al Cretácico Superior (83-76 Ma). Se reconoce en la porción sur del distrito la expresión del pliegue anticinal de Talcuna, rasgo característico que afecta a las rocas estratificadas del Cretácico Inferior (Jorquera et al., 2012).

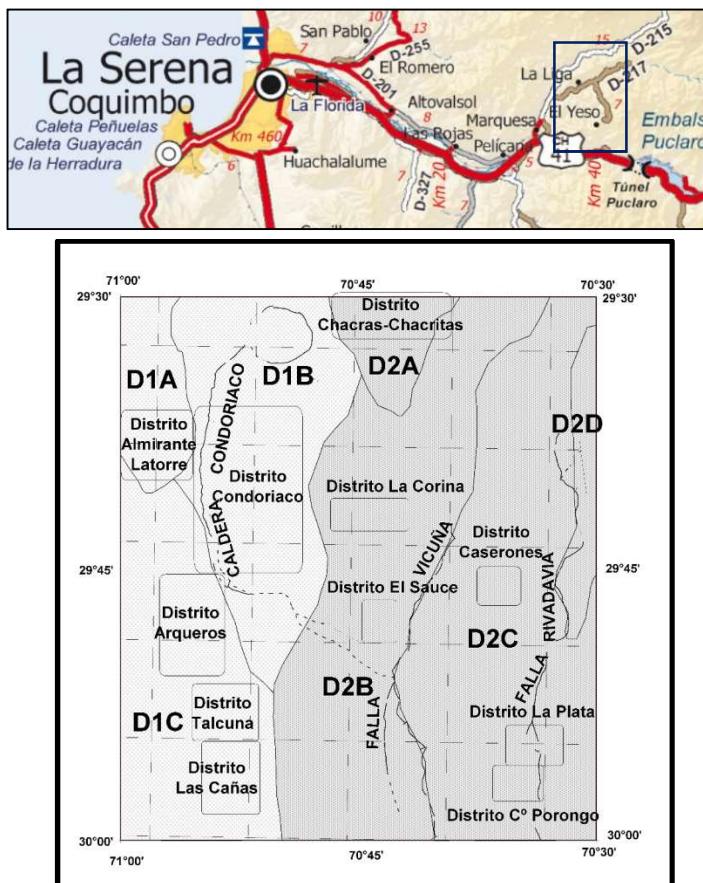


Figura 4.35. Ubicación (recuadro superior, rectángulo azul) y dominios metalogénicos (tomado de Jorquera et al., 2012) de distrito minero Las Cañas y distritos colindantes.

La mineralización de Mn-Fe está asociada a tobas y/o areniscas volcánicas rojas del miembro 1(b) de la formación Quebrada Marquesa (Kivs; Emparán y Pineda, 2000) o miembro 5 de la Formación Arqueros (Aguirre, 1970). Los mantos mineralizados consisten en horizontes de potencia centimétrica, ricos en minerales de Mn y Fe, intercalados con niveles de tobas y/o areniscas, que presentan cemento carbonatado ocasional. Estos cuerpos suelen tener dos a tres metros de potencia, y han sido explotados sólo a pequeña escala.

El resultado de análisis químicos de muestras de los mantos indica contenidos de hasta 20% de MnO, 278 ppm a 0,61% de Cu, 946 a 25096 ppm de Ba. Las concentraciones de Pb son menores a 426 ppm, salvo en la mina La Palmira (D54-17) donde se registra una concentración de 4710 ppm de Pb (Jorquera et al., 2012).

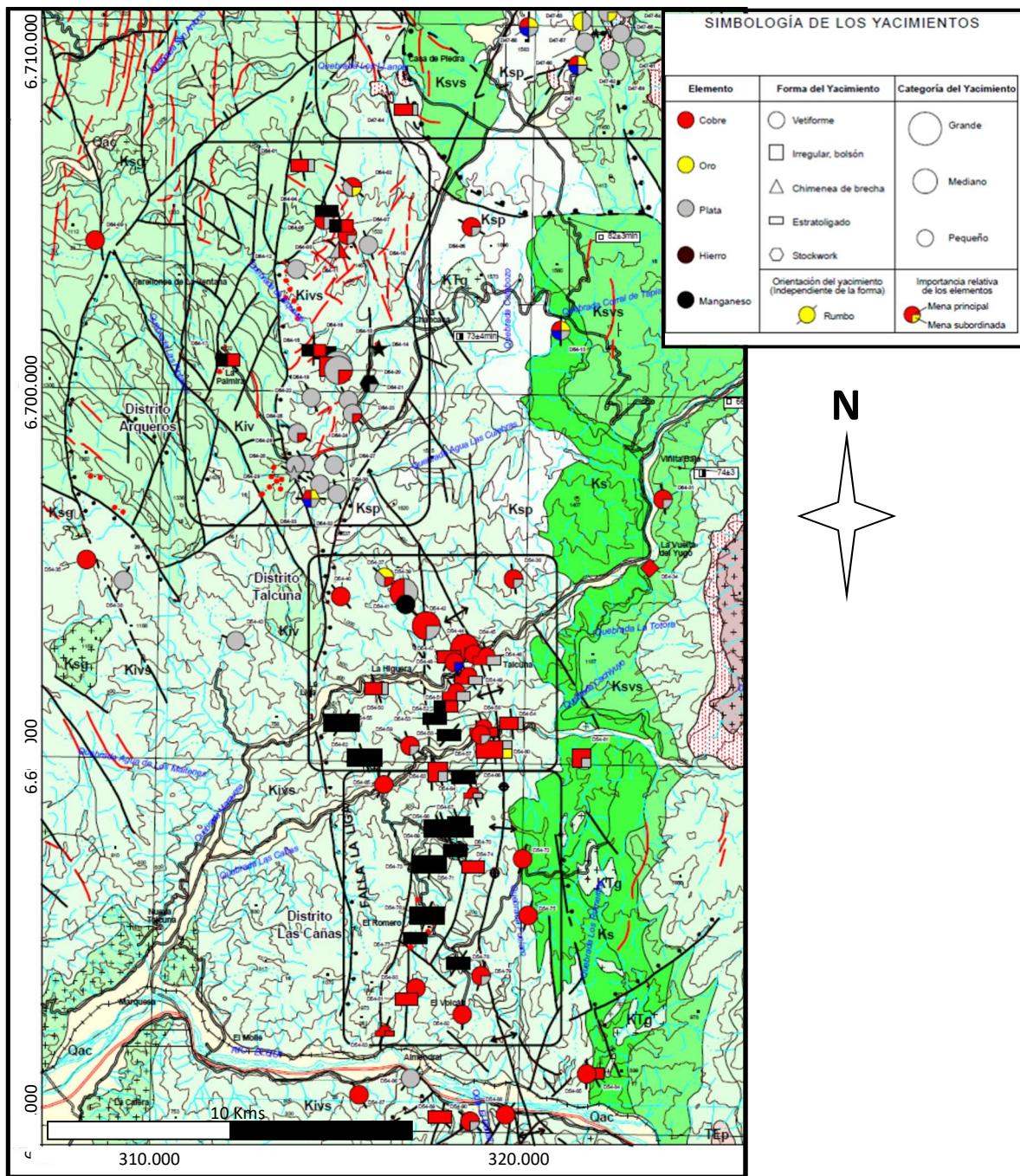


Figura 4.36. Contexto geológico distritos Arqueros, Talcuna, Las Cañas (tomado de Jorquera et al., 2012: para observación de detalle se recomienda al lector acceder a mapa original).

4.2.3. Distrito Talcuna

Se ubica en el dominio D1C definido por Jorquera et al. (2012; Fig. 4.35) y se accede a él desde la intersección de Quebrada Marquesa con el río Elqui, luego de recorrer unos 12 km en dirección noreste. En el distrito se reconocen rocas de los miembros superior e inferior de la Formación Quebrada Marquesa (Kivs), las que incluyen brechas epiclásticas, areniscas, areniscas calcáreas, andesitas, e intercalaciones de tobas y la presencia de sills microdioríticos y andesíticos

mineralizados. Esta secuencia es parte del anticlinal de Talcuna cuyo eje de plano axial se orienta según dirección NNW y se extiende por al menos 30 km en sentido SSE (Fig.4.36).

Los depósitos mantiformes de Mn se localizan preferentemente al oeste del distrito y están intercalados dentro de una secuencia de tobas, areniscas tobáceas y brechas sedimentarias. La corrida de estos depósitos es del orden de cientos de metros y su potencia varía entre 0,4 y 1,7 m. La mineralogía de mena consiste de cryptomelano, pirolusita, braunita, y presenta, de manera subordinada minerales oxidados de Cu y Ag. La ganga se compone de calcita y no se observan evidencias de alteración en la roca de caja.

El resultado de análisis químicos en muestras de mena de los mantos (ver ubicación de detalle en mapa de Jorquera et al., 2012) muestra contenidos de Mn superiores a 20% en minas La Liga de Talcuna (D54-55), mina Alta (D54-62) y Balcanes-La Higuera (D54-58). Las concentraciones de Cu alcanzan valores de hasta 0,56% en mina La Liga de Talcuna (D54-55), con un promedio de 0,23% en el distrito para este tipo de mantos. Las concentraciones de Ag alcanzan valores de hasta 33 ppm en mina Alta (D54-62) y 16 ppm en mina La Liga de Talcuna (D54-55).

4.2.4. Distrito Las Cañas

4.2.4.1. Antecedentes

Se Ubica en la porción sur del dominio D1C definido por Jorquera et al., (2012; Fig.4.35) y se accede a éste desde Quebrada Marquesa para luego tomar Quebrada Las Cañas, desviándose luego de recorrer unos 10 km desde la localidad de Marquesa. La actividad extractiva de Mn en el distrito se remonta a mediados del siglo XX, en minas El Romero (D54-76) y San Carlos (D54-73) (Biese, 1950).

Al igual que en el distrito Talcuna, en este distrito (Fig. 4.36) se reconocen rocas de los miembros superior e inferior de la Formación Quebrada Marquesa (Kivs), las que incluyen brechas epiclásticas, areniscas, areniscas calcáreas, andesitas, e intercalaciones de tobas y la presencia de sills microdioríticos y andesíticos mineralizados. Toda esta secuencia es parte del anticlinal de Talcuna y en general los depósitos de manganeso que se han explotado se localizan en el flanco occidental de esta estructura, al igual que en el distrito Talcuna.

El distrito está constituido por depósitos estratiformes de Mn, Cu-Ag y Cu, y depósitos vetiformes de Cu con Ag subordinada.

Los depósitos estratiformes de Mn, concordantes con los niveles estratificados de la Formación Quebrada Marquesa (Kivs), presentan rumbos que varían entre 25°W y 32°E, y manteos inferiores a 25° al W. Tienen corridas de hasta 600 m y promedio de 300 m. La potencia de los mantos no supera los 2,2 m y tienen en promedio alrededor de 0,7 m. Estos depósitos han sido explotados mediante galerías de longitudes inferiores a 50 m de longitud. Los mantos están intercalados en una secuencia de rocas que incluye areniscas, areniscas volcánicas, limolitas, calizas, brechas volcanoclásticas y tobas.

La mineralogía de mena de estos depósitos comprende pirolusita, psilomelano, y minerales oxidados de Cu, además de escasa presencia de magnetita, calcopirita, bornita y sulfosales de Ag. La ganga es principalmente calcita, y en menor cantidad se presenta baritina y yeso. Por lo general

no hay evidencias de alteración de la roca de caja y ocasionalmente es posible observar arcillas, clorita y escasa sericita.

Analisis químicos en muestras de mena indican concentraciones de Mn superiores a 20%. Las concentraciones de Cu son menores a 846 ppm y el contenido de Ag alcanzan valores de hasta 43 ppm, siendo el promedio en el distrito, de 24 ppm (Jorquera et al., 2012).

4.2.4.2. Geología y levantamiento de muestras en el distrito Las Cañas

En el distrito Las Cañas aflora una secuencia de rocas volcánicas, andesíticas, con intercalaciones calcáreas, marinas (principalmente neocomianas) que, por sus facies y edad, sería el equivalente litoestratigráfico directo de Formación Bandurrias (Kb) (Fig. 4.37).

Al sur de los 29°45' Lat S. la secuencia Grupo Bandurrias fue dividida (Aguirre y Egert, 1965) en dos unidades concordantes entre sí: la Formación Arqueros y la Formación Quebrada Marquesa.

En el distrito se reconocen rocas asignadas a la Formación Quebrada Marquesa, miembros superior e inferior. La secuencia comprende brechas epiclásticas, areniscas, areniscas calcáreas, andesitas, e intercalaciones de tobas. Además, en el sector noreste del distrito, se ha reconocido la existencia de sills microdioríticos y andesíticos mineralizados. Esta secuencia se encuentra plegada, reconociéndose el pliegue anticlinal de Talcuna al igual que en el distrito "Talcuna". Esta formación contiene en su parte media, mantos de manganeso; en algunos lugares presenta, cerca de la base, lentes de arenisca calcárea con fauna fósil (Fig. 4.37).

Al oeste afloran rocas volcánicas andesíticas, con intercalaciones de lavas riolíticas y rocas sedimentarias pertenecientes a la Formación Los Elquinos. Hacia el norte esta intruida por rocas de la Franja Central correspondiente a granitos (Fig. 4.37).

En la visita y revisión del distrito se tomó una muestra, ésta desde un sector de desmonte de material de acopio. El material es proveniente de mantos centimétricos a métricos intercalados con areniscas y fangolitas rojas (Fig. 4.38).

4.2.4.3. Geoquímica prospectiva del Distrito Las Cañas

La muestra levantada en el Distrito Las Cañas, obtenida de desmontes de material proveniente de mantos mineralizados, fueron analizadas mediante una Digestión de Aqua Regia y análisis ICP-ES (AQ370, Bureau Veritas Minerals Laboratories), para un total de 24 elementos.

Del análisis químico de la muestra LC-01, Distrito Las Cañas, se destaca la concentración mayor a 20% de manganeso (Tabla 4.14). Las concentraciones de Co y Cu se reportan bajas, 0,003% y 0,053% respectivamente.

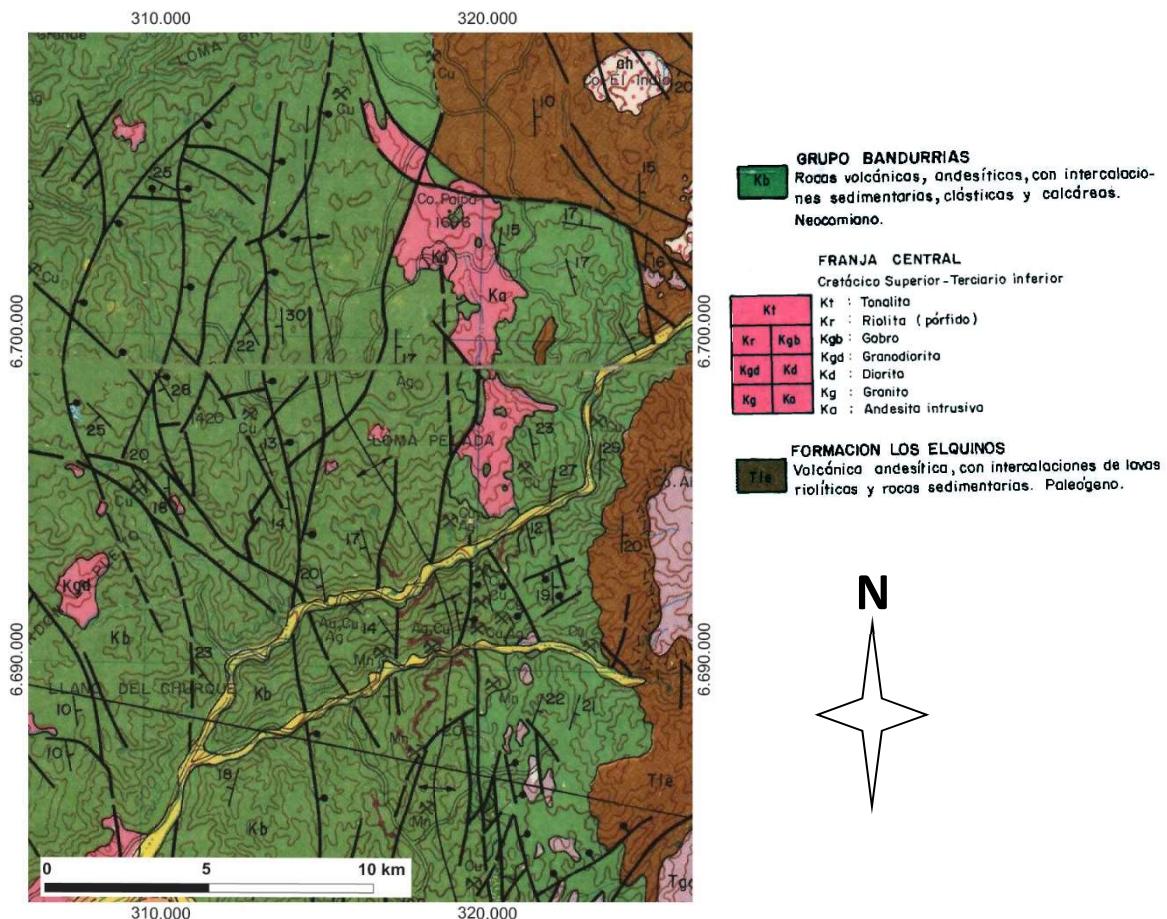


Figura 4.37: Mapa geológico modificado de Hoja Vallenar y parte Norte de La Serena 1:250.000 (Moscoso et al., 1982). Punto rojo indica sitio del levantamiento de muestra.



Figura 4.38: Niveles de manganeso intercalados en la secuencia volcanosedimentaria de la Fm. Arqueros (izquierda) y detalle de afloramientos con labores desarrolladas para extracción selectiva (derecha).

Los resultados de análisis geoquímico de la muestra obtenida en este distrito son concordantes con aquellos resultados descritos en los antecedentes, siendo la única mena en estos yacimientos los minerales de manganeso, con bajo potencial por minerales/ elementos secundarios que pudieran representar un subproducto relevante.

Tabla 4.14: Resultados analíticos de Co, Cu, Mn, Fe, As y S, para las muestras obtenidas del Distrito Las Cañas. El resto de los elementos se presentan en el Anexo 2. Nombre de Mina, pique y laboreos y resumen descripción de muestra.

Muestra	Co %	Cu %	Mn %	Fe %	As %	S %	MINA	DESCRIPCIÓN - MUESTRA
LC-01	0,003	0,053	>20,00	2,16	0,04	0,19	S.I.	Mantos centimétricos a métricos intercalados con areniscas y fangolitas rojas

S.I.: Sin Información

4.2.5. Distritos Corral Quemado y Fragua

4.2.5.1. Antecedentes del Distrito Corral Quemado

Ubicado a aproximadamente 20 km al norte de la localidad de Samo Alto se encuentra dentro del dominio metalogénico D1 definido por Jorquera et al. (2009; Fig.4.39). Los yacimientos del distrito consisten en mantos y lentes de manganeso intercalados en una secuencia de rocas que incluye areniscas, limolitas y tobas asignadas a la Formación Quebrada Marquesa (Kivs; Fig.4.40). Según Peebles y Klohn (1970), la empresa inglesa Chilean Manganese Co. inició la explotación de manganeso en Chile en el año 1884, en las minas del distrito Corral Quemado y otros de las regiones de Atacama y Coquimbo, hasta el año 1904. La actividad en el distrito se habría reiniciado el año 1937 (González, 1938), con una producción de 10.000 t de Mn con ley media de 46%, entre mayo y diciembre del año 1937, y similar cantidad en el primer semestre del año 1938. En 2009, los yacimientos del distrito eran explotados por Manganeseos Atacama S.A., en las minas Loma Negra y Toda la Vida. Loma Negra era explotada a rajo abierto, y poseía reservas probadas de 7 millones de toneladas con ley media de 12% de Mn. En Toda la Vida se señalaban reservas probadas de 250.000 t con ley media de 41% de Mn, y se desarrollaba mediante minería subterránea con una producción de 5.000 t/mes. En el distrito se han explotado menas con leyes entre 30% y 52% de Mn.

4.2.5.2. Antecedentes del Distrito minero Fragua

Localizado a unos 8 km al NO de la localidad de Samo Alto, se enmarca dentro del Dominio D1 definido por Jorquera et al. (2009; Fig. 4.39). Las minas del distrito se encuentran actualmente paralizadas. Al igual que en el distrito Corral Quemado, se explotaron minerales de manganeso desde el año 1884 por la empresa inglesa Chilean Manganese Co. Estos eran transportados a lomo de mula y en carretas hasta la estación Recoleta del ferrocarril longitudinal (Peebles y Klohn, 1970). Dicha actividad cesó el año 1904, y se habría retomado a fines de la década de 1930. En la mina Las Breas se indica una producción de 288 t desde 1945 a marzo de 1946, con leyes sobre 48% de Mn (Villavicencio, 1946). Las labores mineras se desarrollaron en depósitos manganesíferos estratigráficamente equivalentes a los reconocidos en el distrito Corral Quemado, los que se intercalan con limolitas, niveles de chert, calizas, tobas, areniscas y andesitas pertenecientes a la Formación Quebrada Marquesa (Kivs; Fig. 4.40).

Los mantos manganésíferos presentan corridas de cientos de metros, potencias en el rango 0,5 a 1,5 m, y se disponen con rumbo NO y manteos variables que no superan los 25°. La mineralogía de mena de los depósitos consiste en braunita, manganita, pirolusita, hausmanita y psilomelano, predominando braunita y manganita (Aguirre y Mehech, 1964). Estos autores indican, además, que la braunita se observa a) entremezclada con manganita y pirolusita, b) en cristales formando grupos compactos carentes de ganga, c) como pequeños cristales euhedrales diseminados en la ganga (secciones cuadrangulares y pentagonales), d) llenando poros como bandas concéntricas, alternando con calcita, e) ocupando espacios entre poros y f) como grandes cristales, en ocasiones con lados reemplazados por pirolusita y /o conteniendo inclusiones con forma de agujas de pirolusita levemente orientadas. La manganita ocurre como relleno de fracturas y, en parte, como cristales aciculares radiales que forman agregados; ocasionalmente se asocia a braunita, esto en aparente reemplazo. Además, la manganita ocurre rodeando cristales de hausmanita o formando, junto a braunita, parte de bandas concéntricas o como fina diseminación en la ganga. La pirolusita es escasa y se encuentra entremezclada con braunita, como inclusiones en manganita y braunita y, en parte, como cristales aciculares, incluidos en braunita. En algunas muestras este reemplazo se realiza según dos direcciones preferenciales. La hausmanita y el psilomelano son escasos. La ganga es principalmente calcita, cuarzo y un mineral rojo no identificado de cristales muy finos (Aguirre y Mehech, 1964). En secciones pulidas pertenecientes a la mina Las Breas, se han identificado nódulos de manganeso que rodean cristales de hematita. Algunos de estos nódulos presentan núcleos de hematita, tienen diámetros que varían en el rango 0,01 a 0,05 mm, y forman, en algunos sectores, 'cadenas' de nódulos. Un análisis químico realizado en una muestra de mena del distrito indica contenidos de manganeso no superior a 16,5%, un porcentaje de CaO de 51,91% y de SiO₂ de 27,31%. La concentración de Cu es baja (menor a 0,03%), y Au y Ag están bajo los límites de detección.

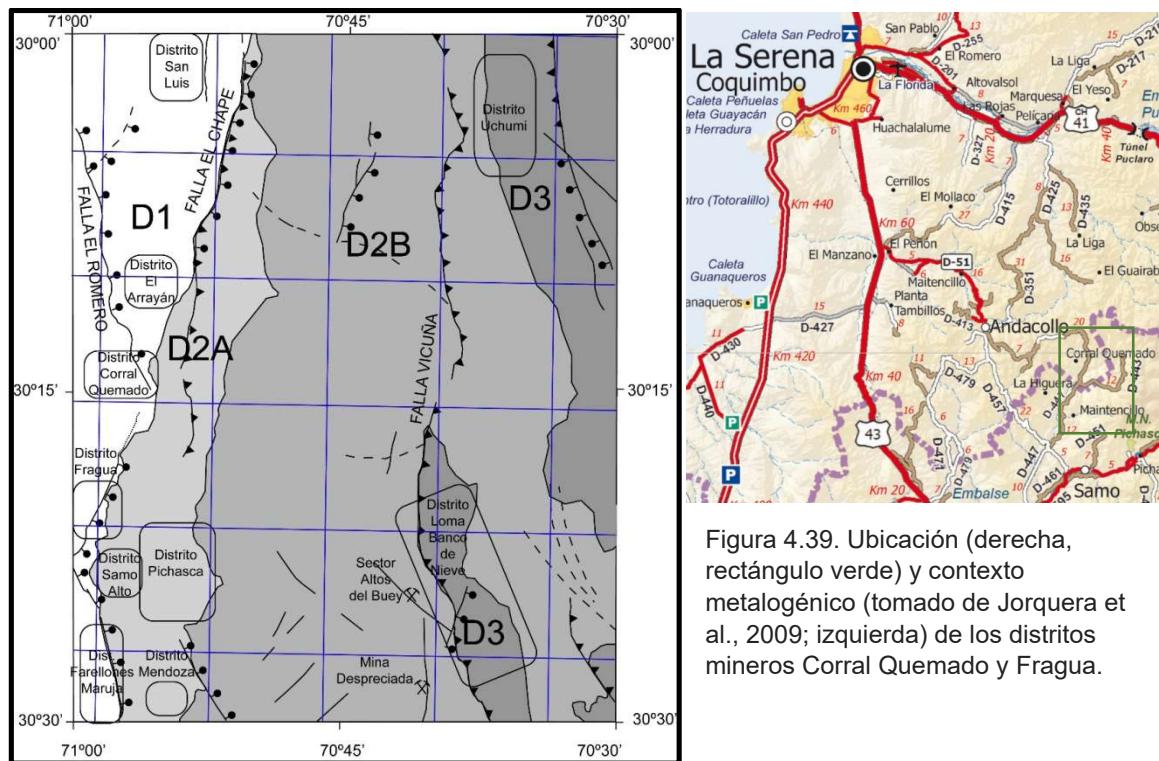


Figura 4.39. Ubicación (derecha, rectángulo verde) y contexto metalogénico (tomado de Jorquera et al., 2009; izquierda) de los distritos mineros Corral Quemado y Fragua.

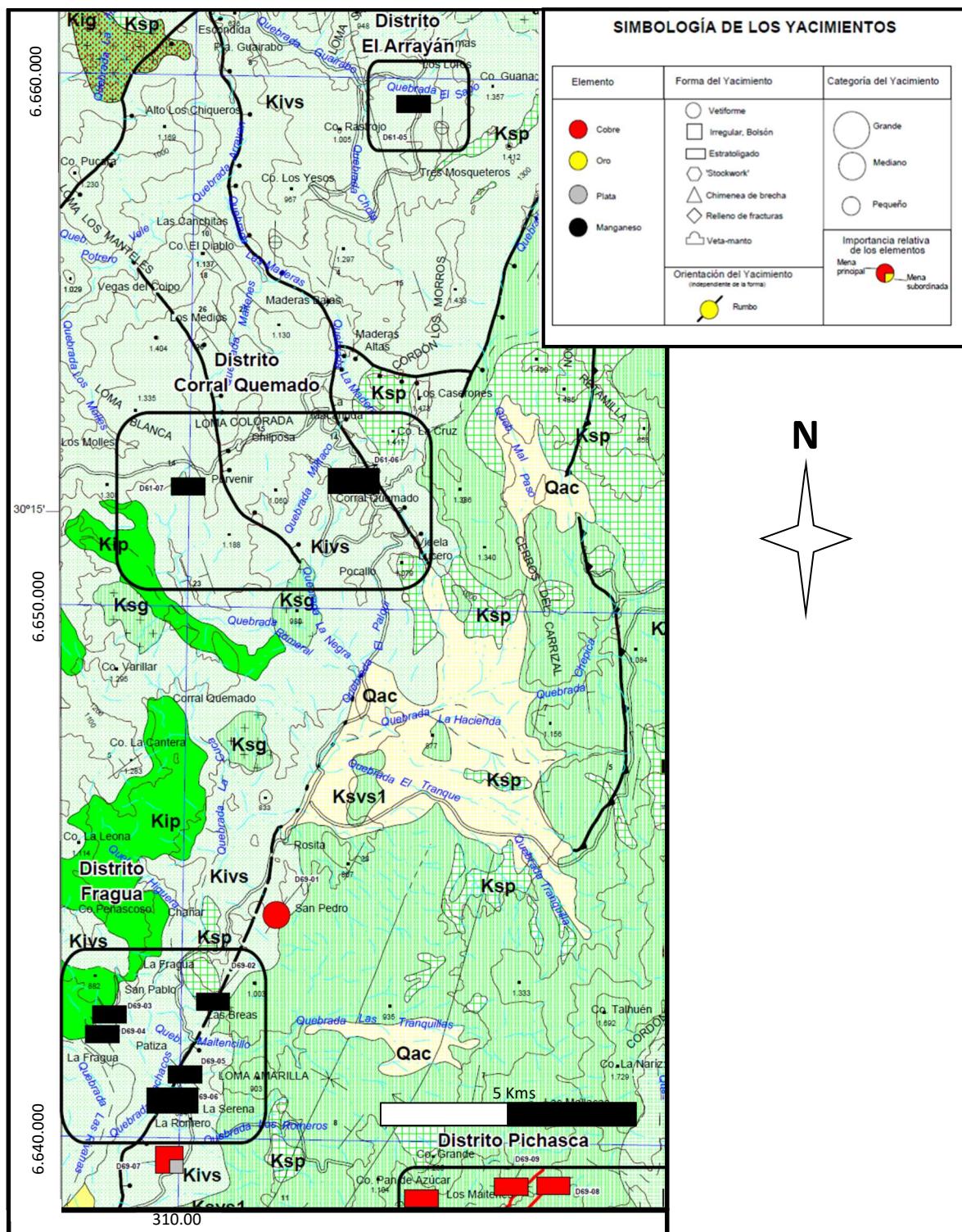


Figura 4.40. Contexto geológico distritos mineros (tomado de Jorquera et al., 2009: para observación de detalle se recomienda al lector acceder a mapa original).

4.2.5.3. Geología y levantamiento de muestras en los Distritos Corral Quemado y Fragua

En los distritos Corral Quemado y Fragua afloran principalmente rocas de la **Formación Quebrada Marquesa y Estratos de Quebrada La Totora** (Fig. 4.41). Estas están intruidas por Intrusivos Hipabisales Dácíticos – Andesíticos e Intrusivos Hipabisales Andesíticos a Dacíticos.

La **Formación Quebrada Marquesa (Kqm;** Fig. 4.41) fue definida por Aguirre y Egert (1965) como una secuencia sedimentaria clástica de origen predominantemente continental y volcánica, con una intercalación marina en la base. En el área aflora como secuencia de rocas que incluye areniscas, limolitas, tobas, rocas volcanoclásticas, brechas volcánicas andesíticas con fragmentos líticos, con mantos y lentes de manganeso. Las rocas de los **Estratos de Quebrada La Totora (Kqlt;** Fig. 4.41) afloran hacia el este, en contacto por falla normal (falla El Chape) con la Formación Quebrada Marquesa. Estos corresponden a una secuencia continental, constituidos por conglomerados con intercalaciones de arenisca (kqlt (a)), areniscas calcáreas y lutitas lacustres (kqlt (b)), conglomerados monomíticos (kqlt (c)) y brechas líticas (kqlt (d)). El conjunto de rocas antes descrita es intruido hacia el oeste por rocas hipabisales tipo stock y filones de composición dacítica y microdiorítica-andesítica, constituida principalmente por pórfidos dacíticos de anfíbola-biotita con variedades de pórfidos dacíticos de anfíbola, dacitas porfíricas de anfíbola-biotita y dacitas afaníticas y fluidales. Los minerales félidos presentan alteración a sericitita, esmectita y caolinita y anfíbola reemplazada por calcita y hematita-magnetita (**Intrusivos Hipabisales Dacíticos – Andesíticos Kih (a)** Fig. 4.41) y rocas intrusivas **Monzoníticos y Dioríticos (Kmd;** Fig. 4.39) constituidos principalmente por Monzodioritas cuarcíferas de anfíbola-biotita y de anfíbola-piroxeno de color gris rosáceo. Hacia el este están intruidas por **Intrusivos Hipabisales Andesíticos a Dacíticos (ksih;** Fig. 4.41) constituidos principalmente por pórfidos andesíticos de piroxeno, andesitas de anfíbola-piroxeno y pórfidos dioríticos de piroxeno y olivino.

Levantamiento de muestras en distrito Corral Quemado

En el distrito Corral Quemado se levantaron un total de 3 muestras (CQ1 a 3), estas en la mina Corral Quemado y sus inmediaciones, la mina ubicada en la cercanía del cerro Corral Quemado. En el área afloran rocas de los Estratos de Quebrada La Totora intruidas por las rocas de los Intrusivos Hipabisales Andesíticos a Dacíticos (Fig. 4.41). El muestreo se realizó a granza (gravilla) del descarte de proceso de separación de óxidos de manganeo, a material fino del descarte de proceso de separación de óxidos de manganeso y directamente en material proveniente de mantos de óxido de manganeso (masivo-escoreáceo-bandeado-clástico). Los sitios de toma de muestras se presentan en la Figura 4.42.

Levantamiento de muestras en distrito Fragua

En el distrito Fragua se tomaron dos muestras desde dos sitios distintos. La primera muestra fue levantada desde una mina abandonada y de nombre desconocido (muestra FR-01 en Mina-NN-01). Esta labor se encuentra ubicada inmediatamente al SE de la mina Fragua (Fig. 4.41). En esta localidad afloran rocas de la Formación Quebrada Marquesa cortados por Intrusivos Hipabisales Andesíticos a Dacíticos hacia el este y por Intrusivos Hipabisales y Dacíticos – Andesíticos hacia el oeste (Fig. 4.41). El muestreo se realizó a mantos de óxidos de manganeso en una secuencia de areniscas volcánicas rojas (Fig. 4.43).

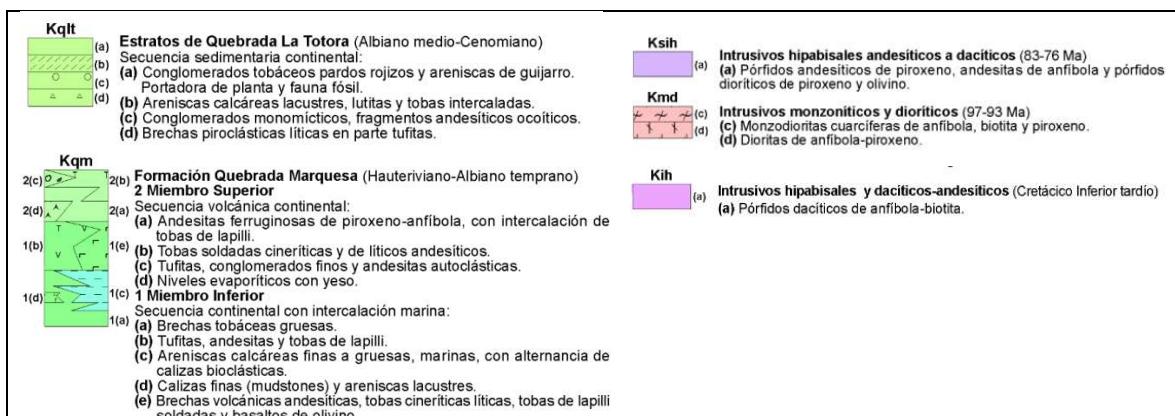
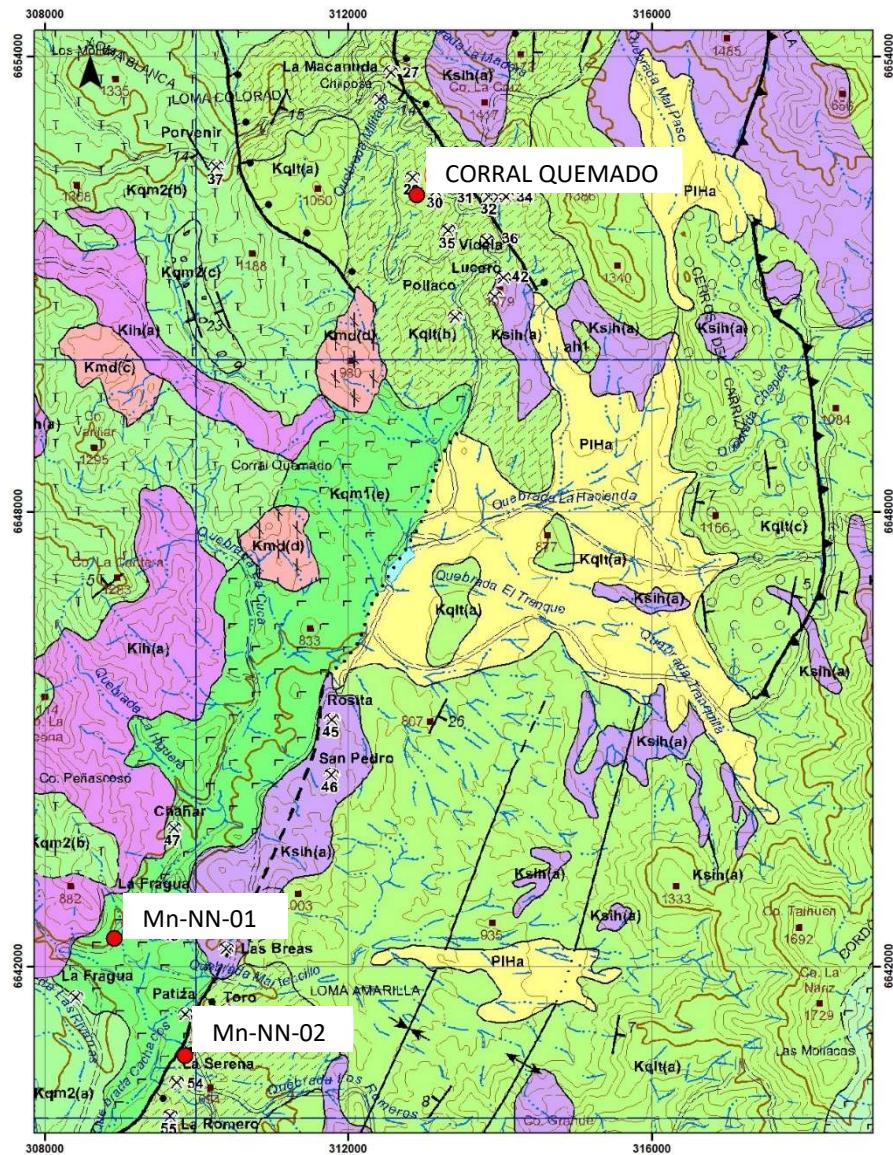


Figura 4.41: Mapa geológico modificado de Geología del Área Vicuña – Pichasca, Región de Coquimbo 1:100.000 (Pineda y Emparan, 2006). Localización de muestras en puntos rojos.



Figura 4.42: Muestra de gravilla (superior izquierda) y material fino de descarte de separación de óxidos de manganeso (superior derecha) y variedad de óxidos de manganeso de desmontes (inferior).

En la zona sur del distrito Fragua se obtuvo una segunda muestra (muestra FR-02 en Mina-NN-02), el sitio de muestreo en una mina sin nombre ubicada al sur de la mina Fragua (Fig. 4.39). En este sitio afloran rocas de la Formación Quebrada Marquesa cortados por Intrusivos Hipabisales Andesíticos a Dacíticos hacia el este y por Intrusivos Hipabisales y Dacíticos- Andesíticos hacia el oeste (Fig. 4.39). El muestreo se realizó a mantos de óxidos de manganeso interestratificados en secuencias de areniscas volcánicas rojas (Fig. 4.41).



Figura 4.43. Muestra Mina-NN-02 tomada desde un manto de manganeso interestratificado en arenisca roja (lápiz imán).

4.2.5.4. Geoquímica prospectiva de los Distritos Corral Quemado y Fragua

Distrito Corral Quemado

Las muestras levantadas en el Distrito Corral Quemado, obtenidas de materiales diversos en las labores de la mina Corral Quemado fueron analizadas mediante una Digestión de Agua Regia y análisis ICP-ES (AQ370, Bureau Veritas Minerals Laboratories), para un total de 24 elementos.

Del análisis químico de las muestras del Distrito Corral Quemado se destaca la concentración mayor a 20% de manganeso (muestras CQ2 y CQ3; Tabla 4.15). Las concentraciones de Co y Cu se reportan bajas, menores a 0,003% y 0,07% respectivamente.

Tabla 4.15: Resultados analíticos de Co, Cu, Mn, Fe, As y S, para las muestras obtenidas del Distrito Corral Quemado. El resto de los elementos se presentan en el Anexo 2. Nombre de Mina, pique y laboreos y resumen descripción de muestra.

Muestra	Co %	Cu %	Mn %	Fe %	As %	S %	MINA	DESCRIPCIÓN - MUESTRA
CQ1	0,002	0,05	11,91	0,85	<0,01	0,23	CORRAL QUEMADO	Granza (gravilla) del descarte de proceso separación de Ox.Mn
CQ2	0,002	0,069	>20,00	1,14	0,01	0,22	CORRAL QUEMADO	Material fino del descarte de proceso separación de Ox.Mn
CQ3	0,001	0,042	>20,00	0,59	0,01	0,14	CORRAL QUEMADO	Mantos de Ox.Mn (Masivo-Escoreáceo-bandeado-clástico)

Distrito Fragua

Las muestras levantadas en el Distrito Fragua, obtenidas de mantos mineralizados, fueron analizadas mediante una Digestión de Agua Regia y análisis ICP-ES (AQ370, Bureau Veritas Minerals Laboratories), para un total de 24 elementos.

Del análisis químico de las muestras del Distrito Fragua se destaca la concentración mayor a 20% de manganeso (muestra FR-02, Tabla 4.16). Las concentraciones de Co y Cu se reportan bajas, menores a 0,003% y 0,1% respectivamente.

Tabla 4.16: Resultados analíticos para Co, Cu, Mn, Fe, As y S, de las muestras obtenidas en el Distrito Fragua. El resto de los elementos se presentan en el Anexo 2. Nombre de Mina, pique y laboreos y resumen descripción de muestra.

Muestra	Co %	Cu %	Mn %	Fe %	As %	S %	MINA	DESCRIPCIÓN - MUESTRA
FR-01	0,002	0,105	17,05	0,37	0,04	0,13	S.I.	Mantos de Ox.Mn en secuencia de areniscas volcánicas rojas
FR-02	0,002	0,058	>20,00	1,22	0,04	0,24	S.I.	Mantos de Ox.Mn en secuencia de areniscas volcánicas rojas

4.2.6. Distrito minero El Arrayán

Se localiza a 8 km al norte del distrito Corral Quemado, a unos 30 km al norte de la localidad de Samo Alto (Fig. 4.39). Los yacimientos de este distrito empezaron a explotarse en forma sistemática solo a partir del año 1907. En el año 1970 únicamente registraba actividad de mediana escala la mina Santo Tomas II, mientras que otras minas menores del distrito registraban solo explotación artesanal (Peebles y Klohn, 1970). Las labores de explotación en el distrito se concentraron en los mantos de manganeso, en zonas donde ocurren bandas de manganeso o lentes con manganeso concordantes con la estratificación dentro de un nivel de areniscas volcánicas rojas (Peebles y Klohn,

1970). En algunos sectores del distrito se asocia a depósitos de travertino, dentro de una secuencia de areniscas y tobas de 2 a 10 m de espesor. Al igual que en Corral Quemado, la roca que subyace la secuencia que contiene los niveles con manganeso corresponde a lavas amigdaloidales, y el techo consiste de una secuencia sedimentaria lacustre, de color amarillo característico (Ruiz y Peebles, 1988). La secuencia volcanosedimentaria se dispone plegada y fallada, y conforma pliegues de eje NNO, con manteos NS con variaciones al este y oeste. Este conjunto de rocas ha sido asignado a la Formación Quebrada Marquesa (Kivs), y está cortado por cuerpos porfídicos de rumbo general NE (Ksp) (Fig. 4.40). Los mantos ricos en manganeso presentan rumbo general NE y manteos variables de 13°-15°E. La mineralogía de mena de los depósitos comprende principalmente braunita, pirolusita y en menor medida psilomelano y manganita (Peebles y Klohn, 1970). La pirolusita es producto de alteración de la braunita, y se presenta en cristales euhedrales con un clivaje claramente definido y que, en parte, presentan un arreglo radial. También es común la textura botroidal, coloforme. El psilomelano está presente, en la mayoría de los casos, con textura bandeada, coloforme (Aguirre y Mehech, 1964). La ganga es principalmente calcita y baritina.

Peebles y Klohn (1970) señalan para la mina Santo Tomás II leyes medias que varían entre 42 y 48% de manganeso.

4.2.7. Recursos Mineros por Manganeso

Los yacimientos del distrito Corral Quemado fueron explotados por Manganeseos Atacama S.A., en las minas Loma Negra y Toda la Vida hasta el año 2009. Loma Negra se explotaba a rajo abierto, y poseía reservas probadas de 7 millones de toneladas con ley media de 12% de Mn. Toda la Vida tiene reservas probadas de 250.000 t con ley media de 41% de Mn, y producía, en forma subterránea, 5.000 t al mes (Jorquera et al., 2009). Esta compañía, filial de CMP, es propietaria de las pertenencias mineras de Corral Quemado, Fragua, El Arrayán, Romero, San Carlos, La Liga Alta, Lambert y Arqueros.

Fuera del ámbito de la región de Coquimbo se conoce la existencia de estudios en dos proyectos para la explotación de manganeso, ubicados en la XV Región de Arica y Parinacota, estos descritos en la sección 3.2 de este estudio. Estos se mencionan brevemente a continuación:

- Proyecto Minera Mar y Cielo, donde se ha determinado la existencia de 600 millones de toneladas (Mt), con una ley promedio de 47% de Mn (Camin Ingeniería y Explotación Minera, <http://www.camin.cl/proyectos-mineros/proyecto-manganeso/>).
- Proyecto Manganeso Los Pumas, ubicado en la comuna de Putre, en el cual, se han estimado 18,3 millones de toneladas indicadas con ley de corte 7,8% Mn, más 5,4 millones de toneladas de reserva inferidas. Proyecto de Minera Hemisferio Sur, se encuentra actualmente en espera de resoluciones. Se debe mencionar que el Consejo de Ministros revocó recientemente el permiso del proyecto, esto por temas ambientales.

Otros recursos de manganeso de similares características se encuentran en la región de Atacama estos en el distrito Sierra de La Bandera. No se conoce reportes de recursos (Vivallo et al, 2008). Adicionalmente se conocen depósitos de manganeso del tipo vetiformes y diseminados, al noreste de la ciudad de Copiapó, en la Sierra el Chulo y el sector del Portezuelo del Inca, los que han sido explotados a escala de pirquén (Díaz et al., 2006).

5. Metalurgia extractiva y recuperación de Cobalto y Manganeso

5.1. Mineralogía del Cobalto y metalurgia extractiva

La concentración de Cobalto en la corteza terrestre se estima en 22 ppm y ocurre generalmente diseminado en casi todos los minerales metálicos junto con cobre, níquel, plomo, zinc, hierro, plata y manganeso. También se encuentra en las aguas minerales y del mar.

Los minerales de Cobalto se agrupan en: arsenatos, arseniuros, sulfuros, sulfo-arseniuros y óxidos. Los principales minerales con contenido de cobalto económicos se describen en la Tabla 5.1:

Tabla 5.1 Minerales comunes con contenido de cobalto que se encuentran en depósitos económicos.

Nombre	Grupo	Fórmula
Eritrina	Arsenato	$\text{Co}_3(\text{AsO}_4)_2\text{H}_2\text{O}$
Skutterudita	Arseniuro	$(\text{Co}, \text{Ni})\text{As}_3$
Cobaltita	Sulfosal	CoAsS
Carrolita	Sulfuro	$\text{Cu}(\text{Co}, \text{Ni})_2\text{S}_4$
Linnæita	Sulfuro	$\text{Co}^{2+}\text{Co}_2^{3+}\text{S}_4$
Asbolita (Asbolana)	Óxido	$(\text{Ni}, \text{Co})_{2-x}\text{Mn}^{4+}(\text{O}, \text{OH})_{4n}\text{H}_2\text{O}$
Pirita cobaltífera	Sulfuro	$\text{FeS}_2 + \text{Co}$

La concentración económica de cobalto se puede encontrar en cuatro diferentes ambientes geológicos (Tabla 5.2), y por lo general se presenta en la mayoría de las veces asociada como subproducto en la minería de otro metal base, preferentemente Níquel y Cobre. Grandes cantidades de cobalto ocurren en el piso oceánico, contenidos dentro de nódulos de manganeso y costras ricas en cobalto, aunque estos no son económicamente viables con la actual tecnología y condiciones económicas.

5.1.1. Procesamiento de minerales – metalurgia extractiva

Como se mencionó anteriormente el Cobalto que se obtiene a nivel mundial, casi en su totalidad proviene como un sub-producto, más o menos importante de las explotaciones de Cobre y Níquel.

Dependiendo de tamaño, grado de mineralización, morfología y proximidad a la superficie, los depósitos son explotados como minas subterráneas o a rajo abierto o combinación de ambas.

En general, los procesos de concentración de minerales ricos en cobalto se logran mediante molienda de la roca de mena y separación de los minerales con contenido de cobalto de los minerales de ganga usando procesos físicos y químicos.

La producción de cobalto en este caso, como sub-producto de otros metales, depende de los procesos extractivos del metal principal. Los procesos para la extracción de cobalto generalmente comienzan después de que el metal primario (usualmente níquel y cobre), han sido concentrados y extraídos. Los procesos son a menudo únicos a la mineralogía de la mena explotada. Existen tres procesos básicos usados en la extracción de cobalto: hidrometalurgia (incluyendo extracción por solvente; electrólisis y electrodeposición); pirometalúrgica y vapometalúrgica.

Tabla 5.2: Resumen de los principales tipos de depósitos de cobalto.

Tipo de Depósito	Procesos genéticos de formación	Leyes promedio típicas	Mayores ejemplos
Hospedado en Sedimentos	Procesos diagenéticos en ambientes de o cercano a la línea de costa o lagos salinos donde los sulfatos de agua de mar son reducidos a sulfuros y concentran elementos metálicos presentes en los sedimentos	0,1 – 0,4%	Tenke Fungurume, Democratic Republic of Congo; Mt Isa, Australia
Hidrotermal/magmáticos	Precipitación de minerales desde fluidos hidrotermales de origen magmático/ hidrotermal en roca de caja.	0,1%	Bou Azzer, Marruecos; Keretti, Finlandia
Sulfuros magmáticos	Fase líquida inmiscible de sulfuros es concentrada en los magmas y cristalizada. Esta fase colecta y concentra elementos metálicos ricos en cobalto	0,1%	Noril'sk, Rusia; Sudbury, Ontario, Canadá; Kambalda, Australia
Lateritas	Climas tropicales, causan la meteorización de silicatos y sulfuros de cobalto en cuerpos ultramáficos, causando el enriquecimiento de cobalto en rocas residuales	0,05 – 0,15%	Koniombo Massif, New Caledonia
Nódulos de Manganeso y costras ricas en cobalto de fondo oceánico	Concreciones de óxidos ferromagnesianos en el piso oceánico	2,5%	Actualmente no económicos

Las principales fuentes de minerales con cobalto son sulfuros. Dentro de estos los minerales de cobre y cobalto se procesan de manera convencional para producir un concentrado de cobre-cobalto. Esto se logra mediante flotación, para separar un concentrado rico en cobalto para tratamiento en el circuito posterior de refinación del cobalto. El proceso de separación por flotación utiliza agitación neumática y mecánica para producir burbujas de aire que transportan las partículas minerales a la superficie. Diferentes reactivos se utilizan para atraer los minerales de cobalto a las burbujas, en lugar de cobre. Los concentrados de cobalto, que pueden contener hasta un 15% de cobalto, se procesan posteriormente, utilizando procesos extractivos pirometalúrgicos o hidrometalúrgicos.

En los procesos hidrometalúrgicos, los metales son separados usando diferencias en la solubilidad, esto en base a las propiedades electroquímicas de la solución. Uno de los procesos hidrometalúrgicos más comunes es la lixiviación ácida a presión (PAL).

5.1.2. Extracción y refinado

El cobalto contenido en el concentrado de cobre se oxida junto con hierro durante la conversión final a cobre blister. De este proceso el cobalto entra en la capa de escoria, que puede ser tratada por separado, usualmente en un horno eléctrico. Este cobalto es recuperado por reducción con carbono en una aleación de cobre-hierro-cobalto. En la fundición de níquel, la mayor parte del cobalto se recupera durante el refinado electrolítico del níquel por precipitación de la solución, usualmente como un hidróxido de cobalto. En la fundición de níquel, el cobalto comienza a oxidarse antes del níquel y puede recuperarse de la escoria del convertidor final. En la lixiviación por presión de amoníaco del níquel, el cobalto se recupera de la solución mediante reducción con hidrógeno bajo presión. En refinerías que usan una lixiviación de cloruro para la mata de níquel, la extracción con disolvente se utiliza para eliminar el cobalto directamente de la solución. La solución concentrada resultante, después de una purificación, es adecuada para la recuperación de cobalto mediante extracción electrolítica.

El proceso de electrodeposición, envuelve la filtración, calentamiento y una serie de estados electrolíticos de la solución rica en metales. La precipitación de cobalto ocurre sobre placas de acero inoxidable para formar cátodos de alta pureza. El ácido es reciclado.

Los procesos de vapor metalúrgicos son procesos modernos que son efectivos para el procesamiento de menas lateríticas. En el caso particular de lateritas niquelíferas el cobalto se recupera como un subproducto cuando este se encuentra presente.

En los procesos pirometalúrgicos, el calor es usado para separar los metales, esto basado en los diferentes puntos de fusión, densidades y otras características físicas y químicas de cada elemento. Estos métodos son usados principalmente en menas de sulfuros magmáticos y se basan en la fundición para recuperar el máximo posible desde los concentrados. El cobalto es usualmente extraído desde estos productos fundidos usando procesos electrolíticos donde el cobalto anódico está disuelto en la celda electrolítica y donde el cobalto iónico es depositado en el cátodo con algunas impurezas en la parte inferior de la celda.

Para los concentrados de minerales de cobre-cobalto, se realiza una tostación bajo condiciones controladas para transformar la mayor parte del sulfuro de cobalto en un sulfato soluble, minimizando al mismo tiempo el cambio de cobre y hierro en sus estados solubles en agua. El producto de este proceso es lixiviado, la solución resultante es tratada para eliminar el cobre y el hierro, y el cobalto es finalmente recuperado por electrólisis. Si los minerales de cobre y cobalto están en estado oxidado, el cobre puede ser eliminado por electrólisis en una solución de ácido sulfúrico y el cobalto precipitado del electrolito por ajuste de la acidez de la solución. El cobalto es eventualmente obtenido en el estado metálico por electrólisis.

Los concentrados de cobalto de los minerales de arseniuro se pueden tostar de la misma manera que los concentrados de sulfuro para eliminar el arsénico como trióxido de arsénico impuro. Alternativamente, se pueden lixiviar y cobalto precipitar con hidrógeno, similar a como se realiza con los concentrados de sulfuro de níquel.

5.2. Mineralogía del cobalto y metalurgia extractiva en Chile

La información presentada a continuación, es basada principalmente en los informes: Adaptación de Tecnología para la recuperación de Cobalto desde Minerales y Relaves (INTEC, 1988) y Proyecto Cobalto – Freirina (Geoexploraciones, 1983).

La ocurrencia de cobalto en Chile, como se mencionó en los capítulos anteriores, se encuentra principalmente incluida en la estructura de la pirrotina, arsenopirita, o constituyendo sulfo-arseniuros y arseniuros, como cobaltita, esmaltina, skutterudita, safflorita y piritas cobaltíferas entre otros, o bien en forma de arsenatos, como es la eritrina. Con la excepción de la eritrina, normalmente estos minerales se asocian a calcopirita, pirita, blenda, galena y sulfuros de plata.

La obtención de cobalto metálico es compleja y existen varios procesos para aislarlo de las gangas y de los otros metales útiles como se ha visto anteriormente. Desde el punto de vista económico, el cobalto es un subproducto de la obtención de otros metales (ej. Cobre, Níquel).

5.2.1. Procesos de Concentración de Cobalto

Los principales procesos para la concentración de minerales de cobalto se refieren a concentración gravitacional, separación magnética y flotación.

Dentro de los procesos de concentración gravitacional se incluyen aquellos como separación en “jiggs”, mesas vibratorias, espirales y medios densos. La utilización de estos procesos de concentración gravitacional dependerá de las características que presente cada mineral, fundamentalmente: alto peso específico del mineral a concentrar, diferencia entre las densidades específicas de la especie mineral y la ganga (usualmente igual a 1 gr/cm³ de diferencia o más), y grado de liberación mineral en molienda de la especie de interés, entre otras.

Las especies mineralógicas de cobalto como cobaltita, safflorita, skutterudita y esmaltina pueden separarse con facilidad desde una ganga compuesta de cuarzo o biotita (2,7 gr/cm³), esto por métodos gravitatorios. La eritrina a su vez presenta un bajo peso, no apto para concentración gravitacional, pero sí es posible separarlo de una ganga de cuarzo en un concentrador magnético, dada la alta susceptibilidad magnética ($53,2 \times 10^6$ cm³/gr) que presenta esta especie.

En general, los arseniuros de cobalto tienen una alta densidad específica, comprendida entre 6,5 a 7,2 gr/cm³, propiedad que los hace aptos para separarlos de la ganga contenida usando métodos gravitacionales como “jiggs”, espirales y mesas vibratorias.

La concentración por flotación para arseniuros y sulfo-arseniuros presenta dificultades, dado que estas menas contienen normalmente calcopirita y sulfuros de hierro como pirita y pirrotina. La calcopirita puede ser fácilmente flotada, depresando el cobalto, en aquellos casos en que ambas especies se presentan claramente separadas. Pero la separación de las especies cobaltíferas de los minerales de hierro presenta dificultades, por cuanto ambas especies presentan similares comportamientos frente a la flotación, sobre todo en el caso de cobaltita.

5.2.1.1. Separación magnética

El separador magnético es una tecnología que aprovecha la susceptibilidad magnética elevada que poseen algunos minerales, para ser separados de otros que no poseen esta cualidad. Minerales como pirita con contenido de cobalto $[(Fe,Co)S_2]$, puede llegar a contener hasta un 22% de cobalto.

Este mineral es una especie de hierro no magnético, por lo que es posible entonces separarlo de otras especies de hierro que sí presentan esta cualidad en un mayor o menor grado, como lo son la pirrotina, magnetita y la hematita. Estos minerales cobaltíferos suelen estar asociados con otras especies de cobre como calcopirita, calcosina y bornita, en diferentes proporciones. El someter estos materiales al proceso de separación magnético, permite obtener un producto útil con un menor peso y mayor ley, respecto de la cabeza original. Otro caso donde se puede ocupar esta metodología es en la presencia de eritrina u otra especie oxidada de cobalto que pueden estar presentes en gran proporción como producto de alteración de la mena primaria.

5.2.1.2. Concentrado por flotación

En el procesamiento de rocas de mena con minerales sulfurados de cobre y sub producto cobalto, la concentración por flotación se efectúa normalmente de la siguiente manera:

- Flotación global de cobre-cobalto, a partir de un pre concentrado obtenido por la vía gravitacional.
- Flotación selectiva del cobre, depresando el cobalto, a partir del concentrado global obtenido en la flotación global previa.

En yacimientos de tipo polimetálicos se debe determinar la potencialidad del yacimiento con los diferentes metales (Cu, Ni y Co) y la relación entre estos que se obtendrá en el concentrado, esto para determinar el mejor proceso de recuperación de Cobalto.

5.2.2. Procesos de obtención de Cobalto

5.2.2.1. Proceso Piro Metalúrgico

En este proceso el concentrado obtenido de las plantas de flotación es tostado parcialmente, mezclado con Coke y Caliza y fundido en hornos eléctricos. En este procedimiento se obtiene una mata de cobre – cobalto. La mata se trata posteriormente en convertidores obteniéndose cobre metálico y una escoria rica en cobalto. La escoria que contiene cobalto, cobre y hierro se funde con Coke para obtener una aleación de estos metales que se separan posteriormente por procesos químicos.

Dentro de los procesos químicos se destacan: Tuesta con Cloruro de Sodio, Electro-depositación, Hidrometalurgia a Presión, Extracción por Solventes.

5.2.2.2. Tuesta con Cloruro de Sodio

El concentrado se somete a una tuesta con cloruro de sodio seguida de una lixiviación de los cloruros producidos. Se purifica la solución precipitando algo de arsénico y hierro por intermedio de creta. El cobalto se precipita con hipoclorito de Ca. Con este reactivo se precipita primero el cobalto y después el níquel (en caso presente), procedimiento en el cual se puede tener primero un óxido de cobalto y después un óxido de níquel. Posteriormente se puede reducir los óxidos fundiendo con carbón. Por este sistema se puede obtener cobalto relativamente puro (98%).

5.2.2.3. Electro-depositación

El concentrado se lixivia con ácido sulfúrico y el cobre y el cobalto se obtienen como cátodos de cobre y cátodos de cobalto impuros, esto por medio de complejos sistemas de lixiviaciones y electro-depositaciones sucesivas para el cobre y el cobalto. Los cátodos se purifican fundiendo con fundente apropiados.

5.2.2.4. Hidrometalurgia a Presión

La materia prima usada puede ser mineral, concentrado, mata o algún sub producto de otros procesos. El reactivo usado en la lixiviación puede ser amonio o ácido y el elemento oxidante aire u oxígeno. Para materiales con alto contenido de cobalto es preferible el uso de ácido lixiviante, mientras que para materiales con alto contenido de níquel o cobre y bajo contenido de cobalto es preferible el amonio.

Una vez realizada la lixiviación se separa el sólido de la solución y esta última es sometida a purificación. Las impurezas más comunes son producto de reacciones secundarias y exceso de reactivo. El primer elemento que se precipita es el cobre, posteriormente Ni, cuando está presente, y finalmente Co.

El cobre suele precipitarse con hidrógeno obteniéndose cobre con fierro o cobalto, o en su defecto se obtiene una mezcla cobre – fierro y cobalto. En otros casos el hidrógeno puede cambiarse por hidrógeno sulfurado.

El níquel puede precipitarse con hidrógeno, como sulfato amoniacial de níquel y por electrólisis.

El cobalto a su vez puede precipitarse con hidrógeno, como cobalto metálico, o cristalizarse como sulfato amoniacial de cobalto.

La diversidad de alternativas de precipitación dependerá de la relación en que se encuentren los elementos Cu, Ni y Co en la solución.

5.2.2.5. Extracción por solventes

Existen estudios al respecto, siendo en materiales de los nódulos marinos donde más se ha experimentado con este proceso. Parece a primera vista como lo más promisorio en términos de un proceso de extracción de minerales complejos de Cu, Ni y Co, sin embargo, las publicaciones no han sido hasta ahora muy específicas el respecto, y tampoco existe información respecto de costos para efectos de un proceso industrial.

5.3. Mineralogía del Manganese y metalurgia extractiva

5.3.1. Mineralogía

El Manganese es el 12avo elemento más abundante en la corteza terrestre, con un promedio de concentración de 0,1%. Es el 4to metal más abundante en uso comercial. En la naturaleza el manganese se encuentra en forma de óxidos, carbonatos y silicatos. Los depósitos son generalmente de origen sedimentario con capas de óxidos ricos en hierro inter-estratificadas. El más común de los minerales de manganese es pirolusita (MnO_2), pero también se encuentra como rodocrosita ($MnCO_3$), rodonita ($MnSiO_3$), braunita ($3Mn_2O_3MnSiO_3$), manganita negra ($MnO(OH)$) y alabandita (MnS). Se consideraba que sólo los minerales que contienen más de un 35 por ciento de manganese son comercialmente explotables, pero la falta de minerales de manganese de alta ley ha tenido una influencia en el desarrollo y la utilización de minerales de manganese de menor grado. Según el programa Federal Stockpile de EEUU (National Materials Advisory Board, 1976), para minerales de manganese o concentrados se requiere de un material procesado con un contenido bastante alto de manganese y con cantidades mínimas de impurezas. Las impurezas incluyen óxidos de otros metales, tales como hierro, que se reducen junto con el manganese al fundirse; elementos no metálicos tales como fósforo, azufre y arsénico; y "óxidos de ganga" metálicos tales como sílice, alúmina, cal y magnesia, que, con excepción de la sílice, permanecen generalmente en la escoria tras la fundición.

Otra potencial fuente de manganese son los nódulos de manganese o concreciones de hierro-manganese que han sido encontrados sobre el fondo oceánico. Usualmente contienen un 30 – 36% de Mn. Los nódulos se encuentran en ambos océanos (Atlántico y Pacífico), estando principalmente en el Océano Pacífico. Estos nódulos son de interés ya que tienen concentraciones importantes de Níquel, Cobre y Cobalto como también grandes cantidades de manganese, lo que los convierte en posibles fuentes de metales a futuro.

La mayoría de la producción de manganese a nivel mundial se concentra en cuatro países: Australia, China, Gabón y Sudáfrica. El 90% de las reservas mundiales de manganese se encuentran en estos cuatro países, junto con Brasil y Ucrania. Casi el 70% de las reservas mundiales de manganese están contenidas en el distrito de Kalahari de Sudáfrica (Palisade Research, 2017).

5.3.2. Minería y concentración

A continuación, se describen algunos de los procesos utilizados a nivel mundial para la extracción y posterior refinación de minerales de manganese (Michaud, 2016).

5.3.2.1. Extracción de minerales de manganese

La extracción de minerales de manganese se realiza normalmente en rafos abiertos. Despues de la extracción del material el proceso continúa con una concentración mecánica de manganese y eliminación de impurezas metálicas, no metálicas, volátiles, etc. Para extraer las impurezas los minerales son lavados y posteriormente son removidas desde la cinta transportadora que lleva el mineral a las plantas de procesamiento. Algunas de las impurezas metálicas son: Fe, Pb, Cu, Zn, Ag, impurezas no metálicas: Azufre, Fósforo, impurezas volátiles: H_2O , CO_2 , materia orgánica, ganga SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , MgO , BaO . El material de manganese se divide según tamaño, pasando el material

grueso a planta y posteriormente a trituradoras primarias y secundarias y el material fino puede aglomerarse mediante sinterización (Fig. 5.1).

5.3.2.2. Concentración de minerales de manganeso por gravedad

La concentración de minerales de manganeso por gravedad puede realizarse con Jigs, mesas vibratorias, espiral Humphreys, espiral Reichert, mesa densimétrica Birtley entre otros.

El proceso de concentración Jigs consiste en que a través de estos se impulsa aire y se elimina la ganga en una corriente ascendente, mientras que los minerales más pesados (Mn), se asientan en el fondo y se concentran.

5.3.2.3. Concentración de minerales de manganeso por separación magnética.

Se basa en la separación de minerales de hierro desde los minerales de manganeso mediante separación magnética de los primeros. Con esto se mejora la calidad del concentrado.



Figura 5.1: Ejemplo de extracción de mineral de manganeso (Fuente Maxtech Ventures en Palisade Research, 2017)

5.3.2.4. Concentración de mineral de manganeso por flotación

Uno de los procesos utilizados para la concentración de manganeso en la fracción de limo producida en los procesos de molienda y separación es la flotación. El tratamiento por flotación consiste en espesar los minerales de manganeso en un espesador de bandeja de rastrillo espiral.

El circuito de flotación se puede diseñar para tratar tres clases de minerales de manganeso.

- 1.- Minerales con una ganga de calcita alta.
- 2.- Minerales con calcita mixta y ganga silícea.
- 3.- Minerales con una ganga altamente silícea.

Los minerales de los tipos 1 y 2 requieren un tratamiento previo para eliminar la calcita en forma de espuma. La calcita debe eliminarse antes que el manganeso, ya que, si se deja en el circuito, flotará con el manganeso, dando así un concentrado de manganeso de baja ley. Para realizar este proceso es necesario el consumo de gran cantidad de reactivos y los que varían con cada tipo y grado de mineral.

Dentro de los reactivos a utilizar se pueden mencionar los siguientes, para los casos de menas con minerales de ganga de calcita y menas con minerales de ganga silíceos y aluminios.

(1) Ganga de minerales carbonatados: la ganga de carbonato, como la calcita, se flota primero con ácido graso, utilizando una pulpa alcalina y un almidón o dextrina amarilla para inhibir el óxido de manganeso. La pulpa se acidifica y el óxido de manganeso flota con una emulsión de aceite.

(2) Ganga de minerales silíceos y aluminio: se flotan directamente en un circuito de ácido sulfúrico, usando la emulsión de aceite combustible anterior.

5.3.3. Extracción y refinado

El manganeso puro es producido por procesos hidrometalúrgicos y electrolíticos, mientras que el ferromanganeso y el silicomanganeso son producidos por la fundición de minerales en un alto horno o, más comúnmente, en un horno eléctrico. Los óxidos superiores (MnO_2 , Mn_2O_3 y Mn_3O_4) pueden ser reducidos a óxido manganoso (MnO) por monóxido de carbono, pero este óxido inferior puede reducirse al metal sólo a temperaturas elevadas por carbono. La fundición se complica aún más por la acción de los óxidos de ganga. Por ejemplo, la sílice, un compuesto ácido, puede combinarse con MnO y evitar que se reduzca, un problema que puede corregirse mediante el uso de minerales altos en componentes básicos tales como cal y magnesia o mediante la adición de flujos básicos tales como tostado de caliza. Sin embargo, esto genera más escoria, que tiende a disolver el manganeso y a disminuir la cantidad de metal recuperado en la masa fundida. Además, dependiendo de la temperatura de fusión y la acidez o basicidad de la escoria, la sílice puede reducirse a silicio y entrar en el metal fundido.

5.3.3.1. Procesos de lixiviado

Los procesos típicos de lixiviación empleados son pasos químicos reductivos, incluyendo bio-lixiviación y electro-lixiviación. La purificación, separación y recuperación final se realiza mediante procedimientos tales como extracción por solvente, electrolisis y electrodeposición.

5.3.3.2. Proceso electrolítico

La electrodeposición de manganeso es un proceso importante para la producción de manganeso electrolítico de alta pureza (Zhang, 2007). Para aplicaciones en las que se prefiere el manganeso puro, se someten a tostación los minerales de manganeso para obtener una calcina, MnO , y ésta se disuelve en ácido sulfúrico para formar una solución de sulfato manganoso (Figura 5.2). El hierro (III) se elimina típicamente por precipitación con hidróxido a pH 3-4 y otras impurezas tales como Ni, Co, Cu, Zn se eliminan mediante precipitación con sulfuro. La solución de $MnSO_4$ resultante se puede usar para la producción de manganeso electrolítico. La solución purificada alimenta a una celda electrolítica y, con el paso de corriente eléctrica, el manganeso se deposita en capas de unos pocos milímetros de grosor sobre una lámina de cátodo de acero inoxidable con una pureza de 99,5% de Manganeso. Los cátodos se extraen periódicamente, y los depósitos de manganeso se

eliminan por martilleo. Las escamas se calientan a 500 °C, para remover el gas de hidrógeno, y producen metal de Manganese con un 99,9% de pureza.

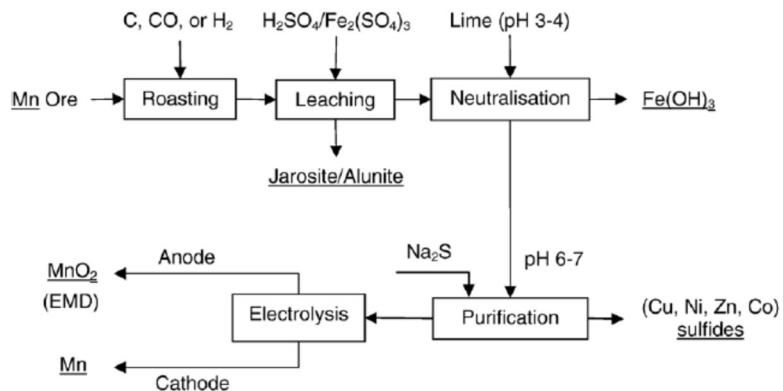


Figura 5.2: Proceso convencional de producción de Mn electrolítico y dióxido de manganeso electrolítico (Zhang, 2007).

5.3.3.3. Problemas de producción

Si bien el mineral de manganese no es un recurso no metálico, la aplicación de la flotación para su beneficio es similar a la utilizada para los minerales no metálicos. Los reactivos para minerales no metálicos se utilizan para flotar impurezas como la calcita, y existen reactivos de este tipo que se pueden utilizar para concentrar el mineral de manganese y rechazar los minerales de sílice y alúmina en la cola.

5.4. Mineralogía del manganeso y metalurgia extractiva en Chile

En Chile, la producción de manganeso cesó en el año 2009 (Fuente: Comisión Chilena del Cobre, Anuario de Estadísticas del Cobre y otros Minerales 1996 – 2015). Esta producción estaba asociada a la Empresa Manganeso Atacama que exportaba el 50% de la producción al mercado argentino y fabricaba ferroaleaciones de manganeso de alto y medio carbono. El cierre de la producción fue debido a la nula demanda de los productos de dicha empresa en el mercado (según informó mediante hecho esencial enviado a la SVS, el gerente general de la Compañía Minera del Pacífico, Erick Weber en esa oportunidad). La minera mantiene las pertenencias mineras Corral Quemado, Fragua, El Arrayán, Romero, San Carlos, La Liga Alta, Lambert y Arqueros, todas ubicadas en la región de Coquimbo.

La explotación de minerales de manganeso fue inicialmente concebida para explotar y exportar masivamente minerales de manganeso de alta ley. Estos minerales eran muy apreciados por la industria siderúrgica mundial en el siglo pasado. Actualmente estos minerales se encuentran agotados o son escasos y difíciles de explotar. La forma de extracción del mineral era a través de minería principalmente subterránea y en pocos yacimientos se ha utilizado extracción a rajo abierto.

De los capítulos anteriores se desprende que los principales minerales de manganeso que ocurren en los yacimientos chilenos son Braunita ($3\text{Mn}_2\text{O}_3\text{MnSiO}_3$, 50 – 60% de Mn), Pirolusita (MnO_2 , 63,2% de Mn) y en menor medida Manganita ($\text{Mn}_2\text{O}_3\text{H}_2\text{O}$, 62,4% de Mn), Psilomelano ($\text{BaMn}_9\text{O}_{18}\text{H}_2\text{O}$, 40 – 60% de Mn, varía el contenido de Ba, K y Na con las impurezas) y Hausmanita (MnMn_2O , 72% de Mn), asociados a minerales de ganga como Calcita (CaCO_3), Piedmontita ($2\text{Ca}(\text{Al, Fe, Mn}_3)(\text{OH})\text{Si}_3\text{O}_{12}$) y Baritina (BaSO_4) entre otros.

La explotación, en el último período, de yacimientos de media ley de manganeso era principalmente para satisfacer la demanda de procesos de ferroaleaciones de manganeso, como ferromanganeso de alto carbono, producidos por la empresa Minera Manganeso Atacama.

6. Discusión y Conclusiones

A continuación, se presenta una discusión respecto de los potenciales existentes en Chile por exploración y minería de cobalto y manganeso. Debe destacarse que, para efectos de realizar una evaluación de los potenciales recursos existentes en Chile por otros metales, se debe evitar comparaciones respecto de la gran minería del cobre o minería del oro, tratándose recursos minerales por cobalto o manganeso como menas no convencionales, o bien como subproductos de otras actividades mineras.

6.1. Potenciales recursos minerales por cobalto en Chile: menas primarias o subproductos

Chile posee gran riqueza en yacimientos minerales metálicos, principalmente de cobre, la génesis de estos comenzando desde los inicios de la evolución tectónica – magmática del margen Andino en tiempos paleozoicos. Los yacimientos minerales y la evolución metalogénica se relacionan con una larga historia de subducción a lo largo del margen convergente de placas tectónicas de Chile, los tipos de yacimientos y su distribución controlados por condiciones tectónicas y magmáticas en el tiempo y espacio. Los principales tipos de yacimientos y la distribución, desde los más antiguos a los más jóvenes son descritos a continuación (Maksaev et al., 2007):

- Paleozoico: Pórfidos cupríferos, todos pequeños y de baja ley, no económicos en Chile.
- Jurásico Superior: Yacimientos estrato ligados de cobre, yacimientos de vetas de cobre y de vetas de oro y plata.
- Cretácico Inferior: Pórfidos cupríferos de ocurrencia discreta; yacimientos del tipo hierro-apatito (IOA), yacimientos del tipo oxidados de hierro cobre-oro (IOCG), estrato ligados de cobre, skarns de cobre y hierro, y yacimientos del tipo vetas epitermales y mesotermales de oro-cobre (metales base).
- Cretácico Superior: Yacimientos de vetas de oro-cobre y de plata de ocurrencia discreta, y ocurrencias menores de pórfidos cupríferos, pequeños y de baja ley.
- Paleoceno: Yacimientos de clase mundial del tipo pórfidos cupríferos, yacimientos de vetas epitermales de oro y plata, y ocurrencias menores de chimeneas de brecha de cobre.
- Eoceno Superior – Oligoceno Inferior: Yacimientos súper gigantes a monstruosos del tipo pórfido cuprífero.
- Mioceno: Yacimientos epitermales de metales preciosos y pórfidos de oro, y yacimientos súper gigantes a monstruosos del tipo pórfido cuprífero.

La distribución de la mineralización de Cobalto conocida y extraída en Chile ocurre dentro de la Franja Ferrífera de Chile, yacimientos hospedados en rocas metamórficas paleozoicas como también en rocas intrusivas, volcánicas y en menor medida sedimentarias de edad Cretácico Inferior, en un ambiente de arco volcánico a lo largo de la Cordillera de la Costa de las regiones de Atacama y Coquimbo. También se conoce de mineralización de Cobalto en la zona de El Volcán – Cajón del Maipo, Región Metropolitana, estos yacimientos hospedados en rocas de un ambiente de cuenca de extensión de edad Cenozoica.

Basados en los principales tipos de yacimientos minerales metálicos en Chile, las únicas ocurrencias documentadas de yacimientos con mena primaria por cobalto se encuentran en el ambiente de arco y tras arco del Cretácico Inferior. Estos ocurren en la Franja Ferrífera de Chile, a lo largo de la

cordillera de la costa de las regiones de Atacama y Coquimbo, hospedados principalmente en el Sistema de Falla de Atacama, y en menor medida se extienden en rocas volcánicas y sedimentarias de Chile Central (El Volcán – Cajón del Maipo, Región Metropolitana; Fig. 6.1, marcados en rectángulos rojos), mineralización hospedada en rocas cenozoicas.

El Cobalto y minerales de cobalto presentan afinidad por sulfuros de cobre, níquel, arsénico y hierro, minerales que comúnmente forman asociaciones minerales en depósitos hidrotermales. Dada esta afinidad todos los depósitos de hierro pudieran tener potencial por minerales sulfuros /arseniuros de cobalto, en particular aquellos que presentan zonas muy ricas en minerales sulfuros de arsénico. Los principales tipos de depósitos en los cuales se puede evaluar un potencial de cobalto como subproducto son los yacimientos del tipo IOCG, seguidos por los IOA (Fig. 6.1 ambos tipos marcados en rectángulo rojo) y en menor medida, yacimientos del tipo pórfitos de cobre (Fig. 6.2 marcados en rectángulos azul). La evaluación de créditos por cobalto como sub producto es altamente dependiente de la ocurrencia mineral y metalurgia, estudios que no se realizan en forma regular como un estándar de la minería nacional.

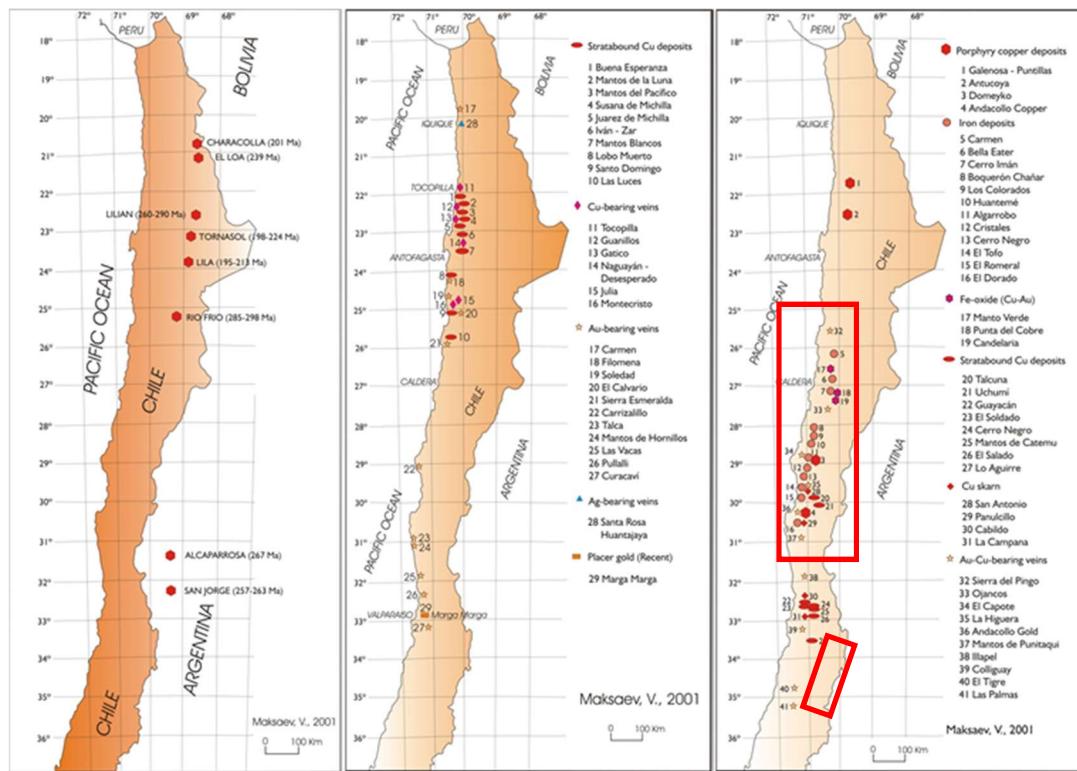


Figura 6.1. Cinturones metalogénicos, tipos y distribución de los principales depósitos metálicos en Chile (Maksaev et al., 2007; Maksaev, 2001). Desde izquierda a derecha: Paleozoico; Cretácico Inferior; Cretácico Superior. Rectángulos rojos: regiones en las cuales se conoce la ocurrencia de depósitos de Cobalto como mena principal, documentados desde extracciones pasadas y/o en las cuales el depósito principal pudiera ser evaluado por cobalto como sub producto.

En forma adicional a las posibles fuentes de cobalto como mena primaria o subproducto se debe destacar también la posibilidad de recuperar cobalto y una diversidad de otros elementos / minerales desde cuerpos de relaves. En el caso del cobalto los relaves con mayor probabilidad de contenidos relevantes serían los generados desde la explotación de yacimientos del tipo IOCG, por ejemplo, relaves activos y cerrados en distrito Punta del Cobre – La Candelaria, en distrito manto

Verde, en distrito Tambillos, distrito San Juan, y en relaves de la planta de flotación de ENAMI en Vallenar. Este último, un relave activo, recibe los descartes del procesamiento de minerales de la pequeña minería de la provincia de Huasco y alrededores, entre estos, materiales del distrito San Juan. Esta planta solamente recupera cobre y oro, por lo que otros metales de potencial interés finalizan en el relave.

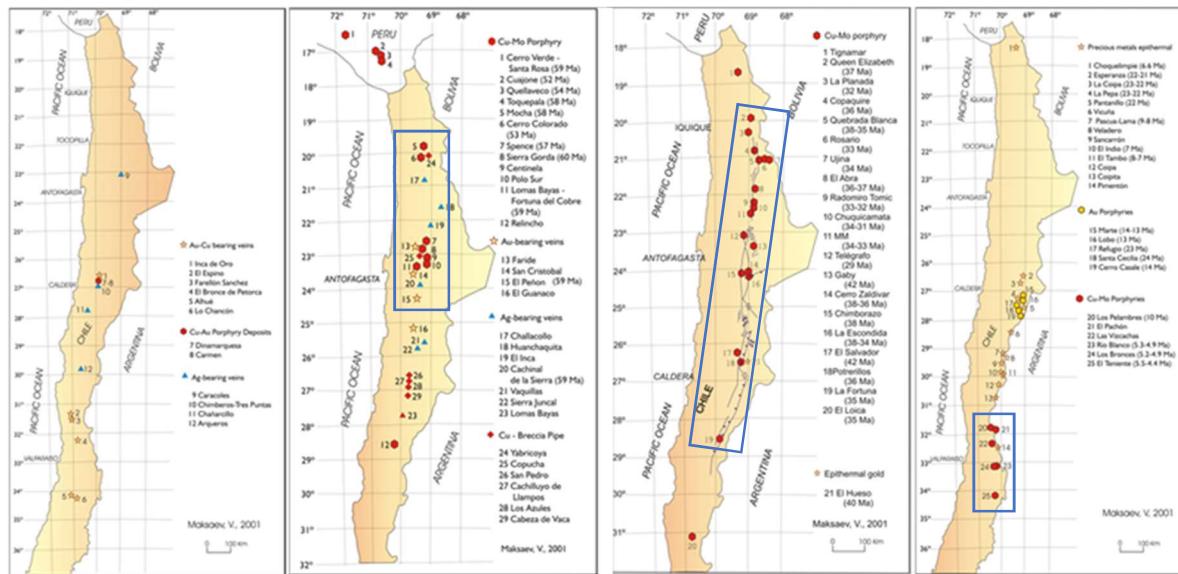


Figure 2. Cinturones metalogénicos, tipos y distribución de los principales depósitos metálicos en Chile (Maksaev et al., 2009; Maksaev, 2001). Desde izquierda a derecha: Cretácico Superior; Paleoceno; Oligoceno Superior – Eoceno Inferior; Mioceno. Rectángulos azules: regiones en las cuales los pórfitos cupríferos pudieran ser evaluados por Cobalto como sub – producto.

6.2. Distritos con potencial por exploración y eventual explotación de cobre y cobalto.

De los estudios de recopilación bibliográfica, trabajos y toma de muestras en terreno, se discute sobre el potencial existente en cada distrito minero, ordenados en prioridad, desde mayor a menor potencial.

6.2.1. Distrito Minero San Juan – Región de Atacama

Los antecedentes históricos de este distrito y las características geológicas descritas en la literatura, corroborados en visita a terreno y toma de muestras, indican este distrito tiene aún un potencial por exploración tanto en la continuidad de mineralización al norte, sur y lateral, como también un potencial abierto en profundidad. La explotación pasada no superó los 100 metros, y si bien la mineralización predominante consiste en vetas y menor ocurrencia de brechas y mantos, no se puede descartar la existencia de recursos sulfurados en profundidad. No existen antecedentes de perforaciones profundas en este distrito, y no se observó evidencias de esto en terreno, la exploración existente limitado a pirquinos y labores mineras de exploración y/o explotación.

En los trabajos en terreno el levantamiento de muestras se realizó en desmontes fuera de las distintas minas. De la observación del material de desmonte, más información histórica, en la mayoría de los yacimientos explotados se determina que existe una zona de oxidación de proporciones variables en las que predomina la eritrina, acompañada de hidróxidos de hierro y oxidados verdes de cobre, la cual se extiende hasta unos 30 o 40 m bajo la superficie, entrando en transición a zonas sulfuradas. En estas zonas se describe un enriquecimiento secundario local, con un aumento de las leyes del mineral a 6 - 8% de Co, conjuntamente con un fuerte enriquecimiento de Cu. Esto indicaría que los yacimientos explotados históricamente pueden esperar una buena profundización con leyes de la mineralización hipógena si bien más bajas que en la zona oxidada, junto con cobre pudieran justificar el levantamiento de nuevos recursos y áreas de explotación.

De los resultados de los análisis químicos se puede indicar que la presencia de cobalto existe en toda el área recorrida, que las concentraciones de cobre reportadas son altas en la mayoría de las muestras, y que se confirman los datos históricos y los más recientes de exploración (Geoexploraciones 1983). Dado la existencia de altas concentraciones de cobre y mineralización predominante de minerales de cobre, junto con la mineralización de cobalto, el distrito San Juan se considera el más relevante en la región de Atacama, teniendo un potencial polimetálico alto. No obstante, lo anterior, debe indicarse que los recursos totales, en base al tipo de mineralización predominante, sistemas de vetas, brechas y mantos, seguramente no superará dimensiones de mediana minería. Por otra parte, un desafío adicional será el procesamiento de menas polimetálicas, con una recuperación metalúrgica para a lo menos Cu y Co como menas principales, y subproductos potenciales por Au y Ag. Los resultados del presente estudio establecen que la zona tiene un potencial económico interesante con el cobre como productor (mena principal) y el cobalto como mena secundaria o subproducto (crédito).

Otro aspecto positivo del distrito San Juan es la existencia de las Plantas Quebradita y Cobaltera, donde las muestras obtenidas de las plantas indican remanentes importantes de mineralización por Co y Cu. En las muestras de ripios de la planta La Cobaltera y en las muestras de alimentación a planta Quebradita se indican concentraciones de 0,211% y 0,189% de Co. Asociado a estas muestras se destacan las concentraciones mayores de cobre reportadas de 3,765% para la planta Quebradita

y de 1,223% para la planta La Cobaltera, como también valores sobre 0,19% de As para ambas muestras. Estos recursos remanentes requieren levantamiento y evaluación.

6.2.2. Distrito Tambillo – Región de Coquimbo

Este distrito, en una perspectiva histórica, fue de los productores más importantes de cobalto a nivel nacional. Si bien la mineralización predominante es de cobre, esta es acompañada por mineralización de hierro y de cobalto. La mineralización existente en este distrito se presenta en vetas, brechas y mantos, los cuerpos de mayor extensión siendo los mantos. En este distrito existe explotación actual, la extracción y procesamiento mineral orientado a la producción de cobre, con mayores o menores créditos por oro. En varias de las minas antiguas y en las activas, se ha llegado a profundidades de 400 m. En superficie, si bien existe una zona oxidada, los procesos de enriquecimiento secundario no generan un nivel relevante de mineralización supérgena.

Los diversos tipos y estilos de mineralización se confirmaron durante los trabajos en terreno, esto conjuntamente con la toma de muestras, todas de materiales de labores y desmontes. Los resultados de los análisis geoquímicos indican que las muestras de la Mina Minillas presentan las concentraciones de Co más altas, una muestra con 0,45%, y dos muestras con Co por sobre el límite de detección superior ($>1\%$). La concentración de Cu reportada para estas muestras es sobre 0,7%. En otras muestras del distrito se destacan altas concentraciones de cobre ($>2\%$) y de hierro ($>40\%$). En algunas muestras se destacan concentraciones altas de As (1,76% y 9,31%) y de S (1,51% y 4,63%). Los resultados de los estudios geoquímicos se pueden asociar a la ocurrencia de minerales sulfurados de calcopirita, pirita, arsenopirita junto con minerales como cobaltita y/o minerales como arsenopirita cobaltífera y en zonas de oxidación de eritrina.

Los resultados de los análisis geoquímicos y las observaciones en terreno confirman la existencia de mineralización relevante de cobalto. No obstante, la mineralización de cobre es notoriamente más abundante, motivo por el cual este distrito se ha explotado por largo tiempo básicamente por cobre. Cabe destacar que existen en este distrito cuerpos minerales ricos en magnetita, con concentraciones de hierro por sobre 40%. Oro se presenta a nivel traza, representando un subproducto o crédito en la explotación actual de cobre.

Al igual que en el distrito San Juan, la mineralización en este yacimiento es de tipo polimetálica, Cu, Fe, Co (Au), entre otros elementos de interés. Se hace necesario caracterizar las actuales rocas de mena y determinar modificaciones tecnológicas en la planta de procesamiento que permitan la recuperación secuencial o conjunta de las menas principales (Cu, Co) y subproductos (Fe, Au). La mineralización y alteración hidrotermal presente sugiere yacimientos del tipo IOCG, con los cuerpos de magnetita presentando una afinidad de tipo IOA, con alteración de tipo calcosódica y abundante presencia de megacristales de apatito.

En este distrito si bien existe explotación de larga data, con profundización importante de la explotación, las evidencias de potencial mineralización del tipo IOCG sugiere el distrito aun tiene potencial para exploraciones, esto tanto a propiedades colindantes al norte, sur y poniente del distrito, como también en profundidad.

Los resultados del presente estudio en conjunto con los antecedentes establecen que la zona tiene un potencial económico interesante con el cobre como productor (mena principal) y el cobalto como

mena secundaria o subproducto (crédito). No se descarta la posible recuperación de hierro y oro en forma de subproductos.

Cabe destacar en este distrito la existencia de varios relaves abandonados y uno activo. Todos estos depósitos de relaves deben ser evaluados por el potencial para recuperación de minerales de cobalto, conjuntamente con una diversidad de otros minerales de potencial interés económico.

6.2.3. Mina La Estrella – Distrito El Zapallo, Región de Atacama

La mina La Estrella, en el distrito minero El Zapallo, colindante al proyecto Produtora de Hot Chili, presenta alteración y mineralización propia de yacimientos del tipo IOCG. La mineralización consiste en reemplazos penetrativos de rocas volcánicas por alteración potásica biotítica y mineralización penetrativa de magnetita, esto conjuntamente y superpuesto por mineralización sulfurada, constituida por pirita, calcopirita y posiblemente minerales sulfuros, sulfosales y arseniuros de cobalto. En este yacimiento se presenta también mineralización importante de oro, en ocasiones con concentraciones sobre los 16 g/t (Informe South World, 2011). La mineralización se presenta en reemplazos masivos de mantos, vetas y brechas. Las labores actuales de explotación han interceptado horizontes de mineralización masiva a profundidades superiores a los 30 m. En esta mina se ha acumulado un acopio, y si bien la explotación y extracción se ha realizado para envío a la planta de beneficio de ENAMI en Vallenar, actualmente se está evaluando la forma de recuperar las menas polimetálicas presentes, Cu, Fe, Co, Au y potencialmente otros elementos de interés.

De la visita a esta mina y de las muestras obtenidas se destaca que los valores de Co están sobre los 1500 ppm y los valores de cobre superan en promedio el 2,0%. La concentración de hierro está en promedio mayor a 35% junto con valores de azufre sobre el 20%. Estos valores indicarían que la mineralización en la Mina La Estrella es principalmente sulfurada, asociada a calcopirita, pirita, con existencia también de cuerpos masivos de magnetita. Las concentraciones de arsénico son bajas, en general bajo el límite de detección, por lo que el contenido de cobalto debería estar asociado a pirita y/o calcopirita, o bien a trazas de cattierita (sulfuro de cobalto).

Los resultados de los estudios en este distrito establecen que la zona tiene un potencial económico interesante, con cobre como productor (mena principal) y cobalto como mena secundaria o subproducto (crédito). También se destacan las altas concentraciones de hierro, parte importante en forma de magnetita, y altas concentraciones oro, existiendo para este yacimiento un desafío para la metalurgia extractiva, tratándose de mineralización polimetálica.

6.2.4. Otros yacimientos evaluados por Cobalto

Durante el desarrollo del presente estudio se estudiaron y visitaron otros distritos mineros, en los cuales no se determinó un potencial relevante por cobalto como mena ya sea primaria o secundaria, en algunos casos potencialmente recuperables como subproducto (crédito). Se lista a continuación una breve descripción de estos.

- Distrito Las Merceditas, El Volcán, Cajón del Maipo, región Metropolitana. Si bien este es un distrito antiguo en el cual se explotó cobalto, durante la revisión en terreno no fue posible encontrar las antiguas labores mineras de extracción y así validar la existencia de mineralización en vetas u otros cuerpos. La existencia de un antiguo relave, de material de descarte y de material de procesamiento en una rampa de carguío son los vestigios presentes de esta antigua mina. Si bien los resultados

geoquímicos indican altas concentraciones de Cu y menor Co, conjuntamente con alto Fe, las perspectivas de cuerpos minerales de gran volumen del tipo IOCG no estarían sustentadas en terreno. No obstante, lo anterior, no se debe descartar un potencial de exploraciones y minero para explotación de pequeña a mediana minería.

- Alto Valle Maule, región del Maule. En esta zona existen evidencias de mineralización de hierro con menor Cu, Co y Au, estos en reemplazos de mantos, vetas y brechas. Si bien las concentraciones de Cu y Co son bajas, altas concentraciones de Fe y existencia de mineralización sulfurada y oxidada de hierro, sugieren un ambiente posiblemente del tipo IOCG. Dado que los antecedentes existentes para esta zona de potencial interés son limitados, no se debe descartar toda posibilidad de existencia mineral del tipo polimetálica (Cu, Fe, Co, Au).

- Boquerón Chañar, región de Atacama. La visita y toma de muestras en la testigoteca de CAP (CORFO), la descripción de las muestras y los estudios geoquímicos realizados, confirman la mineralización existente en este yacimiento corresponde al tipo IOA. Cabe destacar en este yacimiento las altas concentraciones de Fe, mayoritariamente con concentraciones por sobre 40%, la mineralización predominante siendo magnetita, con menor ocurrencia de minerales sulfurados. Si bien las concentraciones de Cu y Co son bajos en este yacimiento, dado que la mena principal a considerar debiese ser Fe, y que este se puede concentrar mediante recuperación magnética, el residual de minerales pesados contendrá mayoritariamente sulfuros de Fe, Cu y Co, donde estos últimos elementos serían enriquecidos en los descartes. No se debe descarta entonces el otorgar valor agregado a este yacimiento, esto mediante una concentración, separación y recuperación de menas en forma secuencial.

Distrito Los Morteros, región de Atacama. En este distrito no se presenta mayor potencial de exploraciones, donde si bien existen antiguas labores de explotación y exploración, la mineralización presente y los resultados analíticos indican interés solamente por hierro.

6.3. Distritos con potencial por exploración y eventual explotación de manganeso

En las regiones de estudio, Atacama y Coquimbo, los distritos históricos de explotación de minerales de manganeso son conocidos, la explotación de estos habiendo finalizado en forma reciente (2009). La mayoría de los distritos estudiados y visitados pertenecen a CAP, esto a través de una subsidiaria, Manganesos Atacama, dueño de Corral Quemado, Fragua, El Arrayán, Romero, San Carlos, La Liga Alta, Lambert y Arqueros. Si bien en muchos de estos distritos históricos aún quedan recursos remanentes, los actuales valores de mercado de este metal no hacen la explotación de estos yacimientos de particular interés para CAP. Por otra parte, cabe destacar la existencia de dos grandes proyectos de explotación de manganeso en la región de Arica y Parinacota (Los Pumas y Mar y Cielo), los que pudieran fácilmente suplir las necesidades nacionales y ser importantes exportadores. Eso sí, ambos proyectos no cuentan aun con aprobación de la RCA, y ambos han enfrentado dura oposición de las comunidades locales y de grupos defensores del medio ambiente.

De las visitas en terreno y toma de muestras se destaca lo siguiente:

Distrito Las Cañas – IV Región: De la muestra obtenida, se destacan concentraciones mayores a 20% de manganeso, con concentraciones bajas de Cu y Co. Estos antecedentes corroboran trabajos anteriores de muestras de mena con concentraciones mayores a 20% de manganeso.

Distritos Corral Quemado y Fragua – IV Región: De las muestras obtenidas, se destacan concentraciones mayores a 20% de manganeso, con concentraciones bajas de Cu y Co en todas las muestras. Estas concentraciones indicarían potencial de exploración por Mn.

6.4. Desafíos de exploración, explotación y metalurgia del Cobalto y Manganeso

En una última mención, cabe destacar que la mineralización existente de cobalto en las regiones de Atacama, Coquimbo y región Metropolitana, se presentan en forma conjunta con otros minerales, en particular y más relevante, minerales de cobre, y como potenciales subproductos, hierro y oro, entre otros. Al presente existe actividad minera tanto en el distrito San Juan como Tambillos, donde la producción se realiza exclusivamente para cobre, sin mención a recuperación de cobalto u otros metales. Este escenario implica un desaprovechamiento de recursos que puede agregar valor al cobre. Se plantea la necesidad de estudiar en detalle la mineralogía de mena y potenciales subproductos recuperables de estos yacimientos, y de esta forma evaluar las modificaciones de planta que pudieran recuperar, en forma secuencial, las menas polimetálicas existentes en estos yacimientos. Otro aspecto importante es que es necesario mirar y evaluar estos yacimientos con una perspectiva de mineralización polimetálica, no solamente por cobre.

Dado que en algunos de estos distritos se han explotado estos recursos por cobre, se hace muy relevante el estudio de los cuerpos de relaves generados, esto a modo de evaluar posibilidades de procesamiento y recuperación de valiosos a partir de los pasivos ambientales, llevándolos a activos mineros.

Respecto de la explotación, procesamiento y metalurgia extractiva del manganeso, cabe destacar que dado que el término de producción y cierre de faenas es reciente, aún existe posibilidad de recuperar las plantas de procesamiento. Por otra parte, los proyectos Los Pumas y Mar y Cielo, si bien no cuentan con aprobación de explotación, si presentan un plan avanzado de extracción minera y procesamiento, esto de acuerdo a lo publicado en sus respectivas páginas web.

6.5. Comentarios Finales

Cobalto

En lo que respecta el potencial por cobalto en Chile, de los datos obtenidos, datos históricos y visitas en terreno, se puede establecer que existe potencial económico para las distintas zonas estudiadas, basadas en la concentración de cobre como mena principal y concentración de cobalto como mena secundaria o subproducto (créditos). A estas menas se puede agregar en algunos casos la recuperación de subproductos como hierro y oro, y quedando otros elementos/ minerales por evaluar. La asociación polimetálica observada y determinada en los yacimientos de cobalto en Chile es similar a la observada con más frecuencia en yacimientos productores de cobalto a nivel mundial, una impronta típica del tipo IOCG.

Con todos los antecedentes presentados se debiera evaluar la factibilidad de plantas piloto que comprendan la concentración de los minerales de cobre-cobalto en los distintos distritos y considerar la separación de cobre y cobalto a partir de concentraciones y soluciones obtenidas. La recuperación de menas polimetálicas puede dar viabilidad a producciones de pequeños y medianos mineros y otorgar una oferta nacional por cobalto, entre otros metales de interés estratégico. Es fundamental también evaluar posible recuperación de cobalto a partir de relaves productos de la explotación de yacimientos del tipo IOCG, entre estos La Candelaria, distrito Punta del Cobre, Manto Verde, entre otros, y por supuesto de los relaves de los históricos distritos cobaltíferos descritos.

Finalmente, si bien las concentraciones de cobalto en yacimientos del tipo pórfito cuprífero son bajas, dado que este tipo de yacimiento son los de mayor volumen de explotación en la gran minería del cobre, debiese evaluarse la ocurrencia mineral, concentraciones, distribución y viabilidad de recuperar minerales de cobalto o ricos en cobalto a partir del procesamiento mineral por cobre.

Manganeso

En el caso del manganeso, para los distritos clásicos en la región de Coquimbo, dado su explotación hasta tiempos recientes y el cierre de minas aún en proceso, no es difícil poner en marcha actividades de exploración, explotación y recuperación metalúrgica. Lo anterior depende eso si de las condiciones de mercado y competitividad. En el caso de los grandes proyectos existentes en la región de Arica y Parinacota, si bien de acuerdo a la información técnica presentada por las empresas dueñas de las propiedades mineras estas pudieran lograr una producción rentable, restricciones ambientales y sociales no lo permiten a la fecha.

Referencias

- Aguirre, L.; Egert, E. 1965. Cuadrángulo Marquesa. Instituto de Investigaciones Geológicas, Carta Geológica de Chile, No. 15, 92 p., 1 mapa escala 1:50.000. Santiago.
- Aguirre, L., Mehech, S., 1964. Stratigraphy and mineralogy of the manganese sedimentary deposits of Coquimbo province, Chile. Apartado. Economic Geology, Vol. 59, p. 428-442. Lancaster, Pa., E.E.U.U.
- Aguirre, L. 1970. Cuadrángulo Lambert. Instituto de Investigaciones Geológicas, Carta Geológica de Chile, No. 23, 14 p., 1 mapa escala 1:50.000. Santiago
- Arevalo, C. y Welkner, D., 2008. Geología del área Carrizal Bajo – Chacritas, región de Atacama, Escala 1:100.000. Monografías. SERNAGEOMIN, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica: n° 111. 67 p.
- Barra, F., Reich, M., Selby, D., Rojas, P., Simon, A., Salazar, E., and Palma, G., 2017. Unraveling the origin of the Andean IOCG clan: A Re-Os isotope approach. Ore Geology Reviews, 81, 62-78.
- Bembow, M., 1980. Geología regional y económica de los distritos Astillas y Capote, III región, Atacama, Chile. Memoria de Título, Departamento de Geología, Universidad de Chile. 108 pp.
- Biese, W., 1950. Informe sobre el yacimiento de manganeso "El Romero". (Inédito). Caja de Crédito Minero, 41 p. 1 mapa escala 1:10.000 (*).
- British geological survey, 2009. Cobalt. Mineral UK. Centre for sustainable mineral development.
- CAMCHAL, AHK Business center S.A., 2015. Identificar elementos de valor en residuos mineros (relaves) y evaluar su recuperación como productos comerciales – 13BPC3-19021- Informe Técnico Final. Antofagasta: CORFO.
- Caraballo, M., Townley, B., González, E., Riquelme, B., 2017. Elementos de interés económico en relaves Chilenos: Estado del Arte. Informe CORFO, P1, Programas Tecnológicos, Valorización de Relaves. 175 pp.
- Carballo, A., 1979. Cobalto, níquel y zinc en piritas y calcopiritas de algunos yacimientos cupríferos en el norte de Chile. Actas Segundo Congreso Geológico de Chile. 18 pp.
- Cruzat, A. 1968. Monografía sobre los yacimientos de cobalto chilenos (Inédito). Corporación de Fomento de la Producción-Instituto de Investigaciones Geológicas- Naciones Unidas, 30 pp.
- D'Aubarede, G. 1969. Evaluación de los conocimientos existentes sobre Cobalto, Manganeso, Mercurio. PNUD/CORFO/IIRN. Santiago. 259 pp.
- Díaz, A.; Lacassie, J.P.; Vivallo, W. 2010. Yacimientos Metalíferos del área Andacollo- Puerto Aldea, Región de Coquimbo. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Recursos Minerales y Energéticos, N° 31, 28 p., 1 mapa escala 1:100.000.
- Díaz, A.; Lledó, H.; Vivallo, W. 2006. Yacimientos metalíferos de la Carta Copiapó. Región de Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería. Serie Recursos Minerales y Energéticos No.26, 30 p., 1 mapa escala 1:100.000. Santiago.

Díaz, A.; Lledó, H.; Vivallo, W., 1998. Yacimientos metalíferos de la Hoja Los Loros, Región de Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería, Mapa de Recursos Minerales de Chile 2: 24 p., 1 mapa escala 1:100.000. Santiago.

Díaz, F.; Bembow, M.; Bravo, N.; Gutiérrez, A.; Montti, S.; Salinas, M.; Vogel, S. 1981. Mapa metalogénico pronóstico de la III Región (Inédito), Corporación de Fomento de la Producción-Instituto de Investigaciones Geológicas, 5 Vols., 6 mapas escala 1:250.000 (*).

Emparán, C.; Pineda, G. 2000. Área La Serena-La Higuera. Región de Coquimbo. Servicio Nacional de Geología y Minería. Mapas Geológicos, No 18, 1 mapa escala 1:100.000, Santiago.

Gelcich, S; Espinoza, C.; Vivallo, W., 1998. Yacimientos metalíferos de las hojas Chañaral y Diego de Almagro, Región de Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería, Mapa de Recursos Minerales de Chile 3; 17 p., 1 mapa escala 1:100,000. Santiago.

Geoexploraciones. 1983. Proyecto Cobalto-Freirina, publicado en: Diversificación de la pequeña y mediana minería. SERPLAC - Atacama. Copiapó.

González, J. 1938. Mineral Corral Quemado. (Inédito), Caixa de Crédito Minero, 2 p. (*)

Herrera, M. 2016. Estimación de las altitudes de las líneas de equilibrio en glaciares de montaña para el último ciclo Glacial-Integral en los Andes de Santiago Chile Central. Tesis de Doctorado. Departamento de Geología, Universidad de Chile, Santiago. 202.

Informe South World, 2011. Estudio de diagnóstico geológico distrital Distrito "El Zapallo", región de Atacama. Informe Final. ENAMI, SW Minning S.A., Noviembre 2011. 35 pp.

INTEC, 1988. Adaptación de tecnología para la recuperación de cobalto desde minerales y relaves. INTEC-CHILE. Corporación de Fomento (CORFO), 204 pp. Santiago.

Jorquera, R., Portigliati, C., Vivallo, W., Díaz, A., 2003. Yacimientos metalíferos de las cartas Castilla y Totoral bajo: región de Atacama, Escala 1:100.000. SERNAGEOMIN, Carta Geológica de Chile, Serie Recursos Minerales y Energéticos (n.23); 32 p., 1 mapa.

Jorquera, R.; Díaz, A.; Vivallo, W.; Astudillo, N. 2009. Yacimientos Metalíferos del área Vicuña-Pichasca, Región de Coquimbo. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Recursos Minerales y Energéticos, N° 29, 29 p., 1 mapa escala 1: 100.000.

Jorquera, R.; Pizarro, N.; Vogel, S. Díaz, A.; Vivallo, W. 2011. Yacimientos Metalíferos del área La Serena-La Higuera, Región de Coquimbo. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Recursos Minerales y Energéticos, N° 32, 32 p., 1mapa escala 1: 100.000.

Jorquera, R.; Díaz, A.; Vivallo, W.; Carrasco, R.; Pizarro, N.; Pineda, G.; Vogel, S. 2012 Yacimientos Metalíferos del área Condoriaco-Rivadavia, Región de Coquimbo. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Recursos Minerales y Energéticos, N° 33, 41 p., 1mapa escala 1: 100 000

Lacassie, J.P.; Vivallo, W.; Díaz, A. 2016. Caracterización geoquímica de yacimientos metalíferos de la Región de Atacama mediante el uso de redes neuronales artificiales. Servicio Nacional de Geología y Minería. Informe Registrado IR-16-61: 177 p. 1 CD. Santiago.

Lacassie, J.P.; Vivallo, W.; Díaz, A.; Ruiz del Solar, J., 2015. Geoquímica de yacimientos metálicos y de sedimentos, de las regiones de Atacama y Coquimbo, norte de Chile. Actas XIV Congreso Geológico de Chile. 4 pp.

Maksaev, V., Townley, B., Palacios, C., Camus, F. 2007, Metallic ore deposits (Chapter 6). In: The Geology of Chile, T. Moreno, W. Gibbons (eds.), England, p. 181-201.

Maksaev, V., 2001. Reseña metalogénica de Chile y de los procesos que determinan la metalogénesis Andina. Documento inédito, Departamento de Geología, Universidad de Chile. 63 pp.

Manganos Atacama S.A. 2009. Empresa del Grupo CAP (www.manganoso.cl)(22-01-2009).

Mathur, R., Marschik, R., Ruiz, J., Munizaga, F., Leveille, R., Martin, W., 2002. Age of Mineralization of the Candelaria Fe Oxide Cu-Au Deposit and the Origin of the Chilean Iron Belt, Based on Re-Os Isotopes. Vol. 97, 2002, pp. 59-71

Michaud, L. D. 2016. Manganese Ore Processing. (www.911metallurgist.com/blog/manganese-ore-processing) (24-10-2017).

Moscoso, D.; Nasi, C.; Salinas, P. 1982. Geología de la Hoja Vallenar y parte Norte de La Serena, Regiones de Atacama y Coquimbo. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, No. 55, 102 p., 1 mapa escala 1:250.000. Santiago.

National Materials Advisory Board, 1976. Manganese recovery technology. Report of the "Panel on manganese recovery technology of the committee on technical aspects of critical and strategical materials. 83 pp.

Palisade Research, 2017. Manganese – the third electric vehicle metal no one is talking about. (www.mining.com/web/manganese-the-third-electric-vehicle-metal-no-one-is-talking-about-it-heres-how-to-take-advantage/) (24-10-2017).

Peebles, F.; Klohn, E. 1970. Geología de los Yacimientos de Manganese de Corral Quemado, Arrayán y Fragua, Provincia de Coquimbo. Instituto de Investigaciones Geológicas, Boletín 27: 58 p.

Peebles, F.; Ruiz, C. 1985. Distribución y Génesis de los Yacimientos estratiformes de manganese en Chile. Actas 4º Congreso Geológico Chileno, Vol. 3, p. 3-271 - 3-287. Antofagasta, Chile.

Pincheira, M., Rodriguez, M., Helle, S., Kelm, U., Frutos, J., 1997. El cobalto y níquel en sulfuros como indicadores de la fuente de los metales y ambientes de formación de depósitos. Actas VIII Congreso Geológico Chileno. 5 pp.

Pineda, G. y Emparan, C., 2006. Geología del área Vicuña – Pichasca, región de Coquimbo, Escala 1:100.000. SERNAGEOMIN. Carta Geológica de Chile, serie Geología Básica (n.97). 40 p., 1 mapa.

Pizarro, N.; Portigliati, C.; Vivallo, W. Díaz, A. 2003. Yacimientos metalíferos de la Carta Caldera, Región de Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Recursos Minerales y Energéticos 22: 23 p., 1 mapa escala 1:100.000. Santiago.

Pizarro, B. 1943. Informe sobre Reservas de Minerales del Yacimiento Cobaltífero de la CIA. Minera Merceditas. Corporación de Fomento de la Producción Chile. 8 p.

Ruiz, C., Peebles, F. 1988. Geología y Yacimientos Metalíferos de Chile. Editorial Universitaria, 334 p.

Ruiz, C., Aguirre, L., Corvalan, J., Klohn, E. y Levi, B., 1965. Geología y Yacimientos Metalíferos de Chile. Instituto de Investigaciones Geológicas, Santiago. 302 pp.

SERNAGEOMIN, 2017. Propuesta para el estudio de yacimientos de cobalto y manganeso en las regiones de Atacama, Coquimbo y Metropolitana, Chile. Documento inédito, presentado a CORFO. 7 pp.

Thiele, R. 1980. Carta Geológica de Chile 1:250.000. Hoja Santiago, Región Metropolitana. Instituto de Investigaciones Geológicas, Carta Geológica de Chile, 39, 51.

Townley, B., Díaz, A., Luca, R., 2017. Estado del Arte y Potenciales Recursos Co y Mn en Chile. Informe CORFO, Diciembre 2017. 55 pp.

Townley, B., Díaz, A., Luca, R., 2017. Geología, alteración y mineralización preliminar de distritos / yacimientos seleccionados. Potenciales recursos de Cobalto y Manganeso en Chile: definición d zonas y selección de distritos / yacimientos u otras fuentes en Chile. Informe CORFO. Diciembre 2017. 29 pp.

Vasallo, L.F., 2008, Yacimientos Minerales Metálicos. 4ta Edición. Versión OnLine, Bol-e. Centro de Geociencias, UNAM Querétaro, México. 198 pp.

Villavicencio, E. 1946. Minas San Pablo 1 al 11, Cristo Rey 1 al 11 y Carbonillo 1 al 10, Sres. Eloy Pérez Araya y otros. (Inédito), Caja de Crédito Minero: 2 p.(*)

Vivallo, W.; Díaz, A.; Jorquera, R. 2008. Yacimientos Metalíferos de la Región de Atacama, Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Recursos Minerales y Energéticos, N° 27, 72 p., 1mapa escala 1: 500.000.

Welkner, D.; Arévalo, C.; Godoy, E. 2006. Geología de la Carta Freirina-El Morado, Región de Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica, No. 100, 50 p., 1 mapa escala 1:100.000.

www.hotchili.net.au/projects/productora/. Productora- Chile's next Coastal Copper Mine in the making. Hot Chile Limited. Página web. 2018.

Zamarsky, V., Conn, H., Tabak, M., 1973. Estudio geoquímico de los productos de interperismo de las rocas ultrabásicas (serpentinitas) en la Provincia de Valdivia, Chile. Revista Geológica de Chile, n.1, p. 81-102.

Zhang, W.; Cheng, C. Y. 2007. Manganese metallurgy review. Parte I: Leaching of ores/secondary materials and recovery of electrolytic/chemical manganese dioxide. Hydrometallurgy Vol. 89 pag. 137 – 159.

Anexo 1 Listado de estudios y publicaciones existentes en formato digital

- Carballo, A., 1979. Cobalto, níquel y zinc en piritas y calcopiritas de algunos yacimientos cupríferos en el norte de Chile. Actas Segundo Congreso Geológico de Chile. 18 pp.
- Lacassie, J.P.; Vivallo, W.; Díaz, A.; Ruiz del Solar, J., 2015. Geoquímica de yacimientos metálicos y de sedimentos, de las regiones de Atacama y Coquimbo, norte de Chile. Actas XIV Congreso Geológico de Chile. 4 pp.
- Lacassie, J.P.; Vivallo, W.; Díaz, A. 2016. Caracterización geoquímica de yacimientos metálicos de la Región de Atacama mediante el uso de redes neuronales artificiales. Servicio Nacional de Geología y Minería, Informe Registrado IR-16-61: 177 p, 1 CD. Santiago.
- Mathur, R., Marschik, R., Ruiz, J., Munizaga, F., Leveille, R., Martin, W., 2002. Age of Mineralization of the Candelaria Fe Oxide Cu-Au Deposit and the Origin of the Chilean Iron Belt, Based on Re-Os Isotopes. Vol. 97, 2002, pp. 59–71.
- Pincheira, M., Rodriguez, M., Helle, S., Kelm, U., Frutos, J., 1997. El cobalto y níquel en sulfuros como indicadores de la fuente de los metales y ambientes de formación de depósitos. Actas VIII Congreso Geológico Chileno. 5 pp.
- Vasallo, L.F., 2008, Yacimientos Minerales Metálicos. 4ta Edición. Versión OnLine, Bol-e. Centro de Geociencias, UNAM Querétaro, México. 198 pp.
- Zamarsky, V., Conn, H., Tabak, M., 1973. Estudio geoquímico de los productos de interperismo de las rocas ultrabásicas (serpentinitas) en la Provincia de Valdivia, Chile. Revista Geológica de Chile, n.1, p. 81-102.

Anexo 2 Resultados de Análisis geoquímicos y certificados de análisis
(Resultados y certificados en formato digital en anexo digital adjunto)

						Method	WGHT	AQ370	AQ370	AQ370	AQ370	AQ370
					Analyte	Wgt	Mo	Cu	Pb	Zn	Ag	
					Unit	KG	%	%	%	%	GM/T	
					MDL	0,01	0,001	0,001	0,01	0,01	0,01	2
Sample	Correlativo	UTMN(PSAD56)	UTME(PSAD56)	UTMN(WGS84)	UTME(WGS84)	Type						
Mina Fresia 1_5	1	6820804	285033	6820469	284833	Rock	5,84	0,002	>10,000	<0,01	<0,01	10
Mina Despreciada	2	6822663	284946	6822328	284745	Rock	3,48	<0,001	0,054	<0,01	<0,01	<2
Las Marengo-1	3	6823182	285408	6822847	285207	Rock	3,09	<0,001	1,333	<0,01	<0,01	<2
Las Marengo-2	4	6823182	285408	6822847	285207	Rock	3,42	0,002	1,062	<0,01	<0,01	<2
Las Marengo-3	5	6824110	285453	6823774	285252	Rock	3,95	<0,001	2,967	<0,01	<0,01	6
Las Marengo-4	6	6824110	285453	6823774	285252	Rock	5,81	<0,001	0,683	<0,01	<0,01	<2
Las Marengo-5	7	6823143	286157	6822805	285959	Rock	3,16	<0,001	1,618	<0,01	<0,01	<2
Planta Relave-01	8	6823016	282368	6822680	282168	Rock	2,39	0,001	0,564	<0,01	<0,01	<2
Planta Relave-02	9	6823016	282368	6822680	282168	Rock	3,09	0,009	0,89	<0,01	<0,01	8
Planta Relave-03	10	6823016	282368	6822680	282168	Rock	5,09	0,002	3,765	<0,01	<0,01	5
Sector Labrар-01	11	6819943	282411	6819608	282211	Rock	4,75	0,003	2,136	<0,01	<0,01	<2
Sector Labrар-02	12	6820022	282513	6819687	282313	Rock	3,23	<0,001	2,379	<0,01	<0,01	3
Mina Delirio-01	13	6822117	285413	6821780	285150	Rock	3,94	<0,001	0,302	<0,01	<0,01	<2
Mina Delirio-02	14	6822117	285413	6821780	285150	Rock	3,37	<0,001	0,974	<0,01	<0,01	<2
Planta La Cobaltera-01	15	6823731	284340	6823394	284139	Rock	2,42	<0,001	1,223	<0,01	<0,01	2
Veta NN Qzo-01	16	6823681	285284	6823346	285083	Rock	3,44	<0,001	0,271	<0,01	<0,01	<2
Mina Blanca-01	17	6823493	285025	6823156	284824	Rock	4,02	<0,001	1,561	<0,01	0,01	6
Mina Blanca-02	18	6823493	285025	6823156	284824	Rock	3,55	<0,001	0,662	<0,01	<0,01	<2
Sector Paulita-01	19	6823643	286122	6823308	285922	Rock	4,46	<0,001	0,601	<0,01	<0,01	<2
Sector Los Morteros-01	20	6835577	337853	6837653	337653	Rock	3,36	<0,001	0,168	<0,01	<0,01	<2
Sector Los Morteros-02	21	6836217	336504	6835882	336302	Rock	3,66	<0,001	0,662	<0,01	<0,01	<2
CQ1	22	6652178	312902	6651846	312702	Rock	4,11	0,004	0,05	0,05	<0,01	<2
CQ2	23	6652178	312902	6651846	312702	Rock	2,35	0,007	0,069	0,06	<0,01	<2
CQ3	24	6652178	312902	6651846	312702	Rock	3,66	0,006	0,042	0,19	<0,01	<2
FR-01	25	6642369	308920	6642040	308720	Rock	3,37	<0,001	0,105	0,01	<0,01	<2
FR-02	26	6640827	309851	6640497	309651	Rock	4,38	0,002	0,058	<0,01	<0,01	3
Mi1	27	6652596	287951	6652264	287750	Rock	5,74	0,003	0,713	<0,01	<0,01	<2
Mi2	28	6652596	287951	6652264	287750	Rock	3,63	0,036	0,801	<0,01	<0,01	<2
Mi3	29	6652596	287951	6652264	287750	Rock	2,97	0,08	0,817	0,01	<0,01	<2
REL1	30	6652755	287090	6656926	286891	Rock	2,94	0,008	0,129	<0,01	<0,01	<2
TB-01	31	6658600	286505	6658269	286304	Rock	6	0,021	2,146	<0,01	<0,01	<2
MN-01	32	6658551	290387	6658218	290187	Rock	5,05	0,002	1,887	<0,01	<0,01	<2
MN-02	33	6657417	289724	6657085	289526	Rock	3,8	0,026	5,485	<0,01	<0,01	<2
MN-03	34	6657417	289724	6657085	289526	Rock	3,56	0,002	0,086	<0,01	<0,01	<2
MN-04	35	6657470	289952	6657140	289751	Rock	5,95	0,002	2,255	<0,01	<0,01	<2
LC-01	36	6685810	317570	6685478	317367	Rock	3,31	0,001	0,053	<0,01	<0,01	<2
BH20-793	37					Rock	3	<0,001	0,172	<0,01	<0,01	<2
BH20-489	38					Rock	3,54	<0,001	0,022	<0,01	<0,01	<2
BH11-902	39					Rock	2,4	<0,001	0,084	<0,01	<0,01	<2
BH21-1036,15	40					Rock	0,83	<0,001	0,082	<0,01	<0,01	<2
BH12-824	41					Rock	1,67	<0,001	0,048	<0,01	0,02	<2
BH15-685	42					Rock	2,23	<0,001	0,034	<0,01	<0,01	<2
MINA ESTRELLA 1	43					Rock	3,01	<0,001	2,323	<0,01	<0,01	5
MINA ESTRELLA 2	44					Rock	5,15	<0,001	0,683	<0,01	<0,01	<2
MINA ESTRELLA 3	45					Rock	2,82	<0,001	1,333	<0,01	0,01	3
MINA ESTRELLA 4	46					Rock	4,54	<0,001	5,241	<0,01	0,04	10
LEONA 5	47	6819043	323034	6818711	322833	Rock	4,16	0,002	0,32	<0,01	<0,01	<2
M-001	48	6257441	391499	6257122	391296	Rock	6,94	0,005	4,04	<0,01	<0,01	5
M-002	49	6257441	391499	6257122	391296	Rock	3,83	0,005	4,308	<0,01	<0,01	3
MAU-001	50					Rock	2,56	<0,001	0,028	<0,01	<0,01	<2

	AQ370	AQ370	AQ370	AQ370	AQ370	AQ370	AQ370	AQ370	AQ370	AQ370	AQ370	AQ370
	Ni	Co	Mn	Fe	As	Sr	Cd	Sb	Bi	Ca	P	Cr
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
	0,001	0,001	0,01	0,01	0,01	0,001	0,001	0,001	0,01	0,01	0,001	0,001
Sample												
Mina Fresia 1_5	0,039	0,087	<0,01	31,54	0,08	0,006	<0,001	<0,001	<0,01	3,17	1,581	<0,001
Mina Despreciada	0,021	0,416	0,02	3,98	0,59	<0,001	<0,001	<0,001	<0,01	0,86	0,076	0,003
Las Marengo-1	0,011	0,278	0,01	6,7	0,71	0,019	<0,001	<0,001	<0,01	0,73	0,303	0,001
Las Marengo-2	0,016	0,049	<0,01	23,68	0,23	0,003	<0,001	<0,001	<0,01	0,04	0,068	<0,001
Las Marengo-3	0,023	0,079	0,06	10,25	0,1	0,002	<0,001	<0,001	<0,01	0,24	0,075	0,031
Las Marengo-4	0,028	0,443	0,03	3,5	0,77	0,012	<0,001	<0,001	<0,01	0,58	0,215	0,011
Las Marengo-5	0,013	0,017	0,03	6,17	0,12	<0,001	<0,001	<0,001	<0,01	0,06	0,122	<0,001
Planta Relave-01	0,006	0,011	0,06	9,21	0,02	0,003	<0,001	<0,001	<0,01	2,66	0,108	0,006
Planta Relave-02	0,002	0,012	0,01	22,51	0,01	0,005	<0,001	<0,001	<0,01	1,37	0,11	0,002
Planta Relave-03	0,037	0,189	0,13	10,14	0,29	0,004	<0,001	<0,001	<0,01	7,04	0,06	0,002
Sector Labrar-01	0,044	0,085	0,04	23,07	<0,01	0,001	<0,001	<0,001	<0,01	1,63	0,053	0,002
Sector Labrar-02	0,005	0,015	0,05	9,15	0,02	0,002	<0,001	<0,001	<0,01	3,21	0,061	0,002
Mina Delirio-01	0,12	0,781	0,03	1,84	1,19	0,001	<0,001	<0,001	<0,01	1,02	0,007	0,001
Mina Delirio-02	0,029	0,1	0,02	21,03	0,18	0,001	<0,001	<0,001	<0,01	0,13	0,067	0,003
Planta La Cobaltera-01	0,023	0,211	0,05	8,36	0,19	0,004	<0,001	0,002	<0,01	0,51	0,08	0,011
Veta NN Qzo-01	0,005	0,022	0,01	2,41	0,06	0,002	<0,001	<0,001	<0,01	0,18	0,073	0,002
Mina Blanca-01	0,045	0,649	0,01	4,9	1,07	0,002	<0,001	<0,001	<0,01	0,49	0,128	0,003
Mina Blanca-02	0,005	0,021	0,02	3,39	0,1	0,003	<0,001	<0,001	<0,01	0,11	0,039	0,001
Sector Paulita-01	0,007	0,005	0,01	3,74	0,02	0,003	<0,001	<0,001	<0,01	0,05	0,094	<0,001
Sector Los Morteros-01	0,002	0,002	0,07	11,99	<0,01	<0,001	<0,001	<0,001	<0,01	0,2	0,077	0,003
Sector Los Morteros-02	<0,001	<0,001	0,07	11,63	<0,01	<0,001	<0,001	<0,001	<0,01	0,21	0,041	<0,001
CQ1	<0,001	0,002	11,91	0,85	<0,01	0,053	<0,001	<0,001	<0,01	21,36	0,018	0,002
CQ2	0,001	0,002	>20,00	1,14	0,01	0,071	<0,001	<0,001	<0,01	13,2	0,027	0,003
CQ3	<0,001	0,001	>20,00	0,59	0,01	0,092	<0,001	<0,001	<0,01	17,26	0,012	0,003
FR-01	0,001	0,002	17,05	0,37	0,04	0,039	<0,001	<0,001	<0,01	25,71	0,006	0,003
FR-02	0,002	0,002	>20,00	1,22	0,04	0,027	<0,001	<0,001	<0,01	10,79	0,023	0,004
Mi1	0,012	0,483	0,3	5,92	0,64	0,003	<0,001	<0,001	<0,01	1,37	0,105	0,006
Mi2	0,017	>1,000	0,6	2,44	1,76	0,004	<0,001	0,003	<0,01	16,62	0,748	0,003
Mi3	0,063	>1,000	0,17	4,27	9,31	0,002	<0,001	0,01	<0,01	1,54	0,478	0,003
REL1	0,007	0,018	0,17	15,85	<0,01	0,009	<0,001	<0,001	<0,01	7,03	2,346	<0,001
TB-01	0,005	0,027	0,07	22,14	0,04	0,002	<0,001	0,001	<0,01	2,44	0,676	0,001
MN-01	0,007	0,005	0,06	>40,00	<0,01	0,005	<0,001	<0,001	<0,01	6,75	2,436	<0,001
MN-02	<0,001	0,002	0,13	10,23	<0,01	0,017	<0,001	<0,001	<0,01	15,08	2,903	<0,001
MN-03	0,002	0,003	0,12	10,57	<0,01	0,01	<0,001	<0,001	<0,01	2,23	0,117	<0,001
MN-04	0,017	0,028	0,07	>40,00	<0,01	0,005	<0,001	<0,001	<0,01	4,59	0,864	<0,001
LC-01	0,002	0,003	>20,00	2,16	0,04	0,036	<0,001	<0,001	<0,01	4,87	0,035	0,004
BH20-793	0,005	0,01	0,17	39,28	<0,01	<0,001	<0,001	<0,001	<0,01	0,68	0,052	0,001
BH20-489	0,005	0,009	0,18	19,82	<0,01	0,005	<0,001	<0,001	<0,01	11,48	4,931	0,001
BH11-902	0,032	0,027	0,2	26,72	<0,01	0,002	<0,001	<0,001	<0,01	1,41	0,455	<0,001
BH21-1036,15	0,018	0,013	0,25	17,11	<0,01	0,002	<0,001	<0,001	<0,01	0,91	0,22	0,001
BH12-824	0,008	0,012	0,16	31,96	<0,01	0,003	<0,001	<0,001	<0,01	2,13	0,697	0,002
BH15-685	0,003	0,003	0,13	>40,00	<0,01	<0,001	<0,001	<0,001	<0,01	3,69	0,225	0,001
MINA ESTRELLA 1	0,917	0,199	0,08	36,71	0,01	<0,001	<0,001	<0,001	<0,01	3,29	1,441	<0,001
MINA ESTRELLA 2	0,191	0,104	0,06	>40,00	<0,01	<0,001	<0,001	<0,001	<0,01	1,96	0,757	<0,001
MINA ESTRELLA 3	0,285	0,251	0,04	>40,00	<0,01	<0,001	<0,001	<0,001	<0,01	3	1,286	<0,001
MINA ESTRELLA 4	0,43	0,141	0,04	>40,00	<0,01	<0,001	<0,001	<0,001	<0,01	3,56	1,584	<0,001
LEONA 5	0,076	0,074	0,16	39,3	<0,01	0,001	<0,001	<0,001	<0,01	2,51	0,344	0,001
M-001	0,003	0,007	0,51	>40,00	<0,01	<0,001	<0,001	<0,001	<0,01	0,35	0,028	<0,001
M-002	0,001	0,17	1,19	19,78	0,21	0,002	<0,001	<0,001	<0,01	0,44	0,029	<0,001
MAU-001	0,009	0,02	0,07	31,11	0,01	0,002	<0,001	<0,001	<0,01	1,73	0,031	0,002

	AQ370	AQ370	AQ370	AQ370	AQ370	AQ370	AQ370		
	Mg	Al	Na	K	W	Hg	S		
	%	%	%	%	%	%	%		
	0,01	0,01	0,01	0,01	0,001	0,001	0,05		
Sample								DISTRITO	MINA
Mina Fresia 1_5	0,19	0,31	0,02	0,03	<0,001	<0,001	1,02	SAN JUAN	FRESIA
Mina Despreciada	1,23	2,14	0,03	0,29	<0,001	<0,001	0,26		DESPRECIADA
Las Marengo-1	0,12	0,74	0,03	0,12	<0,001	<0,001	0,05		MARENGO
Las Marengo-2	0,03	0,5	0,01	0,19	<0,001	<0,001	0,06		MARENGO
Las Marengo-3	2,6	2,68	0,03	0,03	<0,001	<0,001	<0,05		LAS MARENGO
Las Marengo-4	1,31	1,47	0,03	0,05	<0,001	<0,001	<0,05		LAS MARENGO
Las Marengo-5	0,11	0,4	0,01	0,22	<0,001	<0,001	<0,05		LAS MARENGO-5
Planta Relave-01	2	3,25	0,05	0,64	<0,001	<0,001	0,79		PLANTA QUEBRADITA
Planta Relave-02	0,3	0,83	0,03	0,09	<0,001	<0,001	11,59		PLANTA QUEBRADITA
Planta Relave-03	1,9	1,55	0,01	0,12	<0,001	<0,001	5,86		PLANTA QUEBRADITA
Sector Labrar-01	1,36	3,11	0,01	1,91	<0,001	<0,001	16,36		SECTOR LABRAR
Sector Labrar-02	0,93	1,96	0,03	0,46	<0,001	<0,001	3,41		SECTOR LABRAR
Mina Delirio-01	0,24	0,26	0,01	<0,01	<0,001	<0,001	0,26		DELIRIO
Mina Delirio-02	1,28	2,04	0,03	0,05	<0,001	<0,001	<0,05		DELIRIO
Planta La Cobaltera-01	1,6	2,28	0,04	0,24	<0,001	<0,001	1,19		PLANTA LA COBALTERA
Veta NN Qzo-01	0,7	0,97	0,06	0,07	<0,001	<0,001	<0,05		NN
Mina Blanca-01	0,12	0,18	0,01	<0,01	<0,001	<0,001	0,82		BLANCA
Mina Blanca-02	1,14	1,53	0,03	0,03	<0,001	<0,001	<0,05		BLANCA
Sector Paulita-01	1,42	1,23	0,02	<0,01	<0,001	<0,001	<0,05		Camino Mina Paulita
Sector Los Morteros-01	2,79	3,57	0,06	2,07	<0,001	<0,001	0,75	LOS MORTEROS	
Sector Los Morteros-02	1,58	1,79	<0,01	<0,01	0,006	<0,001	<0,05	LOS MORTEROS	
CQ1	0,09	0,3	0,06	0,09	<0,001	<0,001	0,23	CORRAL QUEMADO	CORRAL QUEMADO
CQ2	0,16	0,52	0,05	0,15	<0,001	<0,001	0,22		CORRAL QUEMADO
CQ3	0,09	0,46	0,03	0,17	<0,001	<0,001	0,14		CORRAL QUEMADO
FR-01	0,27	0,33	0,02	0,03	<0,001	<0,001	0,13	FRAGUA	
FR-02	0,39	0,5	0,03	0,07	<0,001	<0,001	0,24		
Mi1	2,05	2,3	0,04	0,08	<0,001	<0,001	0,93	TAMBILLOS	MINILLAS
Mi2	0,8	0,86	0,01	0,11	<0,001	<0,001	1,51		MINILLAS
Mi3	0,74	0,96	0,02	0,09	<0,001	<0,001	4,63		MINILLAS
REL1	3,09	2,67	0,24	0,08	<0,001	<0,001	0,27		PLANTA ABANDONADA
TB-01	1,77	1,54	0,03	0,05	<0,001	<0,001	2,13		
MN-01	1,16	0,63	0,03	0,01	<0,001	<0,001	1,79		MANZANO 1 Ó 2
MN-02	1,64	1,83	<0,01	0,06	<0,001	<0,001	4,18		
MN-03	2,89	2,83	0,05	0,03	<0,001	<0,001	0,07		
MN-04	0,16	0,18	0,02	<0,01	<0,001	<0,001	3,12		
LC-01	0,31	1,88	0,05	0,05	<0,001	<0,001	0,19	LAS CAÑAS	
BH20-793	2,28	1,67	0,03	0,09	<0,001	<0,001	0,82		
BH20-489	3,54	2,19	0,1	0,05	<0,001	<0,001	0,42		
BH11-902	3,24	2,9	0,17	0,22	<0,001	<0,001	2,99		
BH21-1036,15	3,08	2,89	0,22	0,16	<0,001	<0,001	2,25		
BH12-824	1,5	1,79	0,21	0,38	<0,001	<0,001	1,65		
BH15-685	0,77	0,22	<0,01	0,02	<0,001	<0,001	0,11		
MINA ESTRELLA 1	0,67	0,35	<0,01	<0,01	<0,001	<0,001	>30,00	Productora	Estrella
MINA ESTRELLA 2	1,36	0,67	<0,01	0,11	<0,001	<0,001	13,1	Productora	Estrella
MINA ESTRELLA 3	0,34	0,14	<0,01	0,01	<0,001	<0,001	25,01	Productora	Estrella
MINA ESTRELLA 4	0,31	0,14	<0,01	0,01	<0,001	<0,001	24,43	Productora	Estrella
LEONA 5	0,62	0,47	<0,01	<0,01	<0,001	<0,001	9,04	Productora	Leona
M-001	0,09	0,11	0,02	0,04	0,039	<0,001	4,15		Mercedita
M-002	0,5	0,35	0,01	0,1	0,02	<0,001	4,22		Mercedita
MAU-001	0,35	0,26	0,08	<0,01	0,004	<0,001	>30,00		

Sample	DESCRIPCIÓN
Mina Fresia 1_5	Desmontes de vetas de Mgt(Mar)-Qzo-Turm-Cpy-Arspy-Bor-Alm-Atab-Cup-Cris-Atac-Antl
Mina Despreciada	Desmontes con Eritrina asociada a Qzo-Turm (Cal)
Las Marengo-1	Vetas de Qzo-Lim-Jar
Las Marengo-2	Vetas Ox.Cu-Eri-Arc-Qzo-Ox.Fe
Las Marengo-3	Vetas de Qzo-Turm-Ox.Cu-Ox.Mn-Lim-Jar
Las Marengo-4	Vetas de Qzo-Turm-Eri-Cpy-Py
Las Marengo-5	
Planta Relave-01	Relave
Planta Relave-02	Piritas oxidadas
Planta Relave-03	Vetas de Qzo-Cal-Ser-Clo-Ox.Fe-(OxCu) en intrusivo y esquistos de alimentador planta
Sector Labrар-01	Vetas de Mgt-Qzo(Cal)-Py(Arspy)-Cpy-Clo-Bt
Sector Labrар-02	Vetas de Mgt-Qzo(Cal)-Py(Arspy)-Cpy-Clo-Bt
Mina Delirio-01	Vetas Qzo-Turm-Eri-Cpy-Py
Mina Delirio-02	Brecha matriz de Ox.Mn
Planta La Cobaltera-01	Ripios
Veta NN Qzo-01	Veta Qzo-Lim-Jar-(Ox.Cu-Ox.Mn)
Mina Blanca-01	Veta Qzo-Turm-Py-Eri
Mina Blanca-02	Esquistos con sulfuros diseminados y escasos minerales Ox.Cu
Sector Paulita-01	Veta Qzo-Turm-Eri-(Ox.Cu)
Sector Los Morteros-01	Andesita porfídica con Mgt-Act(Clo) diseminada/pervasiva y Py-Cpy-Po, diseminada y en vetillas
Sector Los Morteros-02	Estructura (Pique) con Hmt, Mgt, Qzo, Óxidos de Cu.
CQ1	Granza(gravilla) del descarte de proceso separación de Ox.Mn
CQ2	Material fino del descarte de proceso separación de Ox.Mn
CQ3	Mantos de Ox.Mn (Masivo-Escoreáceo-bandeado-clástico)
FR-01	Mantos de Ox.Mn en secuencia de areniscas volcánicas rojas
FR-02	Mantos de Ox.Mn en secuencia de areniscas volcánicas rojas
Mi1	Rocas volcánicas y volcanosedimentarias anfibolitizadas con Py-(Cpy-Arspy)
Mi2	Vetas Cal-Py-(Cpy-Mo)
Mi3	Rocas volcanoclasticas con Cob-Eri
REL1	Relave con abundante Mgt
TB-01	Desmonte con vetas de Mgt-(Cal)-Cpy-Py-Anf-Epdt-Eri
MN-01	Vetas de Mgt-(Cal)-Cpy-Py-Anf-Ap-Epdt en intrusivo
MN-02	Vetas de Mgt-(Cal)-Cpy-Py-Anf-Ap-Epdt en metandesita
MN-03	diseminado de Mgt-(Cal)-Cpy-Py-Anf-Ap-Epdt en metandesita
MN-04	Vetas de Mgt-(Cal)-Cpy-Py-Anf-Ap-Epdt en intrusivo y metandesita
LC-01	Mantos centimétricos a métricos intercalados con areniscas y fangolitas rojas
BH20-793	
BH20-489	
BH11-902	
BH21-1036,15	Sondaje BH21 BOX 80. Muestra tramos 1028,081 - 1031; 1031,0 - 1036,5; 1036,15 - 1041,46 pies
BH12-824	Sondaje BH12 BOX 53. Muestra tramos 820 - 824; 824 - 826 pies
BH15-685	Sondaje BH15 BOX 52.
MINA ESTRELLA 1	Manto 30 - 40 cm interior mina.
MINA ESTRELLA 2	Frente Parte superio, menor cantidad de sulfuros
MINA ESTRELLA 3	Frente Parte inferior mayor cantidad de sulfuros
MINA ESTRELLA 4	Desmonte fuera de mina
LEONA 5	Desmonte fuera de mina - pique donde sacaban oro
M-001	Zona planta, mineralización sulfuros y óxidos de cobre, Pirita, Hemita, Hematita especula, alteración cuarzo, turmalina. Hidróxidos de Hierro,
M-002	Zona planta, mineralización sulfuros y óxidos de cobre, Pirita, Hemita, Hematita especula, alteración cuarzo, turmalina. Hidróxidos de Hierro,
MAU-001	



**BUREAU
VERITAS**
MINERAL LABORATORIES

www.bureauveritas.com/um

Canada
Bureau Veritas Commodities Canada Ltd.
9050 Shaughnessy St. Vancouver British Columbia V6P 6E5 Canada
PHONE (604) 253-3158

CERTIFICATE OF ANALYSIS

CLIENT JOB INFORMATION

Project: Corfo Co-Mn

Shipment ID:

P.O. Number

Number of Samples: 36

SAMPLE PREPARATION AND ANALYTICAL PROCEDURES

Procedure Code	Number of Samples	Code Description	Test Wgt (g)	Report Status	Lab
PRP80-1KG	36	Crush, split and pulverize 1kg of sample to 200 mesh			CQQ
AQ370	36	1:1:1 Aqua Regia digestion ICP-ES analysis			VAN
SHF01	36	Per sample shipping charges for branch shipments			CQQ

ADDITIONAL COMMENTS

IMM-PLP

Return immediately after analysis

Bureau Veritas does not accept responsibility for samples left at the laboratory after 90 days without prior written instructions for sample storage or return.

Invoice To:

Fundación Para La Transferencia Tecnológica
Av. Beaucheff 993
Santiago Metropolitana
Chile

CC: Brian Townley

This report supersedes all previous preliminary and final reports with this file number dated prior to the date on this certificate. Signature indicates final approval. Preliminary reports are unsigned and should be used for reference only.
* All results are considered the confidential property of the client. Bureau Veritas assumes no liability for actual cost of analysis or results due to unusual high levels of interference from other elements.

109





MINERAL LABORATORIES

Canada

Bureau Veritas Commons Canada Ltd.

9050 Shaughnessy St Vancouver British Columbia V6P 6E5 Canada
PHONE (604) 253-3158

CERTIFICATE OF ANALYSIS

Page: 2 of 3

CQQ17001336.1

Method	WGT	Mo	Cu	Pb	Zn	Ag	Mn	Co	Ni	Fe	As	Sr	Cd	Sn	Bi	Cs	P	Cr	Mg	Al	
Analyte	Wgt	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	
Unit	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	
MDL	0.01	0.001	0.001	0.01	0.01	2	0.001	0.001	0.01	0.01	0.001	0.001	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	
Mina Fresia 1_5	Rock	5.84	0.002	>10	<0.01	<0.01	10	0.039	0.087	<0.01	31.54	0.08	0.006	<0.01	<0.01	<0.01	3.17	1.581	<0.01	0.19	0.31
Mina Despaciada	Rock	3.48	<0.001	0.054	<0.01	<2	0.021	0.416	0.02	3.68	0.59	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.086	0.076	<0.003	1.23	2.14
Las Marenig-1	Rock	3.09	<0.001	1.333	<0.01	<0.01	<2	0.011	0.278	0.01	6.70	0.71	0.019	<0.01	<0.01	<0.01	0.73	0.303	0.001	0.12	0.74
Las Marenig-2	Rock	3.42	0.002	1.062	<0.01	<0.01	<2	0.016	0.049	<0.01	23.68	0.23	0.003	<0.01	<0.01	<0.01	0.04	0.068	<0.001	0.03	0.50
Las Marenig-3	Rock	3.95	<0.001	2.987	<0.01	<0.01	8	0.023	0.079	0.08	10.25	0.10	0.002	<0.01	<0.01	<0.01	0.24	0.075	0.031	2.60	2.68
Las Marenig-4	Rock	5.81	<0.001	0.683	<0.01	<0.01	<2	0.028	0.443	0.03	3.50	0.77	0.012	<0.01	<0.01	<0.01	0.58	0.215	0.011	1.31	1.47
Las Marenig-5	Rock	3.18	<0.001	1.618	<0.01	<0.01	<2	0.013	0.017	0.03	6.17	0.12	0.017	<0.01	<0.01	<0.01	0.06	0.122	<0.001	0.11	0.40
Planta Relave-01	Rock	2.39	0.001	0.564	<0.01	<0.01	<2	0.008	0.011	0.08	9.21	0.02	0.003	<0.01	<0.01	<0.01	0.66	0.108	0.008	2.00	3.25
Planta Relave-02	Rock	3.09	0.009	0.890	<0.01	<0.01	8	0.002	0.012	0.01	22.51	0.01	0.005	<0.01	<0.01	<0.01	1.37	0.110	0.002	0.30	0.83
Planta Relave-03	Rock	5.09	0.002	3.795	<0.01	<0.01	5	0.037	0.189	0.13	10.14	0.29	0.004	<0.01	<0.01	<0.01	7.04	0.080	0.002	1.90	1.55
Sector Labr1-01	Rock	4.75	0.003	2.136	<0.01	<0.01	<2	0.044	0.085	0.04	23.07	<0.01	0.001	<0.01	<0.01	<0.01	1.63	0.053	0.002	1.36	3.11
Sector Labr1-02	Rock	3.23	<0.001	2.379	<0.01	<0.01	3	0.005	0.015	0.05	9.15	0.02	0.002	<0.01	<0.01	<0.01	3.21	0.061	0.002	0.93	1.98
Mina Delirio-01	Rock	3.94	<0.001	0.302	<0.01	<0.01	<2	0.120	0.781	0.05	1.94	1.19	0.004	<0.01	<0.01	<0.01	1.02	0.097	0.001	0.24	0.28
Mina Delirio-02	Rock	3.37	<0.001	0.974	<0.01	<0.01	<2	0.029	0.100	0.02	21.03	0.18	0.001	<0.01	<0.01	<0.01	0.13	0.067	0.003	1.28	2.04
Planta Costanera-01	Rock	2.42	<0.001	1.223	<0.01	<0.01	2	0.023	0.211	0.05	0.02	0.02	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.51	0.080	0.011	1.60	2.28
Veta NN Qzo-01	Rock	3.44	<0.001	0.271	<0.01	<0.01	<2	0.005	0.022	0.01	2.41	0.06	0.002	<0.01	<0.01	<0.01	0.18	0.073	0.002	0.70	0.97
Mina Blanca-01	Rock	4.02	<0.001	1.561	<0.01	<0.01	8	0.045	0.649	0.01	4.90	0.07	0.002	<0.01	<0.01	<0.01	0.49	0.128	0.003	0.12	0.18
Mina Blanca-02	Rock	3.55	<0.001	0.682	<0.01	<0.01	<2	0.005	0.021	0.03	3.39	0.10	0.003	<0.01	<0.01	<0.01	0.11	0.039	0.001	1.14	1.53
Sector Paulina-01	Rock	4.46	<0.001	0.601	<0.01	<0.01	<2	0.007	0.005	0.01	3.74	0.02	0.003	<0.01	<0.01	<0.01	0.06	0.094	<0.001	1.42	1.23
Sector Los Monos-01	Rock	3.36	<0.001	0.198	<0.01	<0.01	<2	0.002	0.002	0.07	11.98	<0.01	<0.001	<0.01	<0.01	<0.01	0.20	0.077	0.003	2.79	3.57
Sector Los Monos-02	Rock	3.66	<0.001	0.692	<0.01	<0.01	<2	<0.001	<0.001	0.07	11.83	<0.01	<0.001	<0.01	<0.01	<0.01	0.21	0.041	<0.001	1.58	1.79
CQ1	Rock	4.11	0.004	0.050	0.05	<0.01	<2	<0.001	0.002	11.91	0.85	<0.01	0.053	<0.001	<0.01	<0.01	21.36	0.018	0.002	0.09	0.39
CQ2	Rock	2.35	0.007	0.069	0.06	<0.01	<2	<0.001	0.002	>20	1.14	0.01	0.071	<0.001	<0.01	<0.01	13.20	0.027	0.003	0.16	0.52
CQ3	Rock	3.66	0.006	0.042	0.19	<0.01	<2	<0.001	0.001	>20	0.56	0.01	0.092	<0.001	<0.01	<0.01	17.26	0.012	0.003	0.09	0.48
FR-01	Rock	3.37	<0.001	0.195	0.01	<0.01	<2	0.001	0.002	17.05	0.37	0.04	0.038	<0.001	<0.01	<0.01	25.71	0.008	0.003	0.27	0.33
FR-02	Rock	4.38	0.002	0.058	<0.01	<0.01	3	0.002	0.002	>20	1.22	0.04	0.027	<0.001	<0.01	<0.01	10.79	0.023	0.004	0.39	0.50
M1	Rock	5.74	0.003	0.713	<0.01	<0.01	<2	0.012	0.483	0.30	5.92	0.84	0.003	<0.001	<0.01	<0.01	1.37	1.05	0.006	2.05	2.39
M2	Rock	3.63	0.036	0.801	<0.01	<0.01	<2	0.063	>1	0.17	2.44	1.76	0.004	<0.01	<0.01	<0.01	16.62	0.748	0.003	0.80	0.98
M3	Rock	2.97	0.080	0.817	0.01	<0.01	<2	0.003	>1	0.17	4.27	9.31	0.002	<0.001	0.010	<0.01	1.54	0.478	0.003	0.74	0.98
REL1	Rock	2.94	0.008	0.129	<0.01	<0.01	<2	0.007	0.018	0.17	15.85	<0.01	0.006	<0.001	<0.01	<0.01	7.03	2.346	<0.001	3.09	2.67

This report supersedes all previous preliminary and final reports within this file number dated prior to the date on this certificate. Signature indicates that approval, preliminary reports are unsigned and should be used for reference only.



**BUREAU
VERITAS** MINERAL LABORATORIES
Canada

9050 Shaughnessy St Vancouver British Columbia V6P 6E5 Canada
PHONE (604) 253-3158

CERTIFICATE OF ANALYSIS

Method	AQ370	AQ370	AQ370	AQ370	AQ370
Analyte	Na	K	W	Hg	S
Unit	%	%	%	%	%
MDL	0.01	0.01	0.001	0.001	0.05
Mina Fresia 1-5	Rock	0.02	0.03	<0.001	0.001
Mina Despoblada	Rock	0.03	0.29	<0.001	0.001
Las Marengo-1	Rock	0.03	0.12	<0.001	0.001
Las Marengo-2	Rock	0.01	0.19	<0.001	0.001
Las Marengo-3	Rock	0.03	0.03	<0.001	<0.001
Las Marengo-4	Rock	0.03	0.05	<0.001	<0.001
Las Marengo-5	Rock	0.01	0.22	<0.001	<0.001
Planta Relave-01	Rock	0.05	0.64	<0.001	0.001
Planta Relave-02	Rock	0.03	0.09	<0.001	0.001
Planta Relave-03	Rock	0.01	0.12	<0.001	<0.001
Sector Labran-01	Rock	0.01	1.91	<0.001	<0.001
Sector Labran-02	Rock	0.01	0.48	<0.001	<0.001
Mina Delirio-01	Rock	0.01	<0.01	<0.001	0.001
Mina Delirio-02	Rock	0.03	0.05	<0.001	<0.001
Planta Cobre-01	Rock	0.04	0.24	<0.001	<0.001
Veta NN Zco-01	Rock	0.06	0.07	<0.001	<0.001
Mina Blanca-01	Rock	0.01	<0.01	<0.001	0.001
Mina Blanca-02	Rock	0.03	0.03	<0.001	<0.001
Sector Paulina-01	Rock	0.02	<0.01	<0.001	<0.001
Sector Los Montes-01	Rock	0.06	2.07	<0.001	0.001
Sector Los Montes-02	Rock	<0.01	<0.01	0.006	<0.001
CQ1	Rock	0.06	0.09	<0.001	<0.001
CQ2	Rock	0.05	0.15	<0.001	<0.001
CQ3	Rock	0.03	0.17	<0.001	<0.001
FR-01	Rock	0.02	0.03	<0.001	<0.001
FR-02	Rock	0.03	0.07	<0.001	<0.001
M1	Rock	0.04	0.08	<0.001	<0.001
M2	Rock	0.01	0.11	<0.001	<0.001
M3	Rock	0.02	0.09	<0.001	<0.001
REL1	Rock	0.24	0.08	<0.001	<0.001

This report supersedes all previous preliminary and final reports with this file number dated prior to the date on this certificate. Signature indicates that approval, preliminary reports are unsigned and should be used for reference only.

Client:

Fundación Para La Transferencia Técnológico
Av. Beaucheff 983
Santiago Metropolitana Chile

MINERAL LABORATORIES
www.bureauveritas.com/fum

Project:
Corfo Co-Mn
Report Date:
December 18, 2017

Page:
2 of 3

Part:
CQQ170013336.1

2 of 2



**BUREAU
VERITAS** MINERAL LABORATORIES
Canada
Bureau Veritas Commodities Canada Ltd.
9050 Shaughnessy St, Vancouver British Columbia V6P 6E5 Canada
PHONE (604) 253-3158

Client:

Fundación Para La Transferencia Tecnológica
Av. Beauchef 693
Santiago Metropolitana Chile

www.bureauveritas.com/um

Project:
Report Date:
Corfo Co-Min
December 18, 2017

CERTIFICATE OF ANALYSIS

Method Analyte	AQ370				
	Na	K	W	Hg	S
Unit	%	%	%	%	%
MDL	0.01	0.01	0.001	0.001	0.05
TB-01 Rock	0.03	0.05	<0.001	<0.001	2.13
MN-01 Rock	0.03	0.01	<0.001	<0.001	1.79
MN-02 Rock	<0.01	0.06	<0.001	<0.001	4.18
MN-03 Rock	0.05	0.03	<0.001	<0.001	0.37
MN-04 Rock	0.02	<0.01	<0.001	<0.001	3.12
LC-01 Rock	0.05	0.05	<0.001	<0.001	0.19

Page: 3 of 3

Part: 2 of 2

CQQ17001336.1

This report supersedes all previous preliminary and final reports with this file number dated prior to the date on this certificate. Signature indicates final approval; preliminary reports are unsigned and should be used for reference only.

113

MINERÍA
NO METÁLICA
COMITÉ CORFO

CORFO
CONSORCIO
Minería de Base
Gobierno de Chile



Fundación Para La Transferencia Técnolog

Av. Beaucheff 993

Santiago Metropolitana Chile

Client:

**BUREAU
VERITAS** Canada
MINERAL LABORATORIES

www.bureauveritas.com/film

Bureau Veritas Commodities Canada Ltd.
9050 Shaughnessy St. Vancouver British Columbia V6P 6E5 Canada
PHONE (604) 253-3158

QUALITY CONTROL REPORT

Method	AQ370	AQ370	AQ370	AQ370	AQ370	AQ370
Analyte	Na	K	W	Hg	S	
Unit	%	%	%	%	%	
MDL	0.01	0.01	0.001	0.001	0.05	
Pulp Duplicates						
Las Marenge-2	Rock	0.01	0.19	<0.001	<0.001	0.06
TRIP Las Marenge-2	QC	0.01	0.18	<0.001	<0.001	0.06
REL1	Rock	0.24	0.08	<0.001	<0.001	0.27
TRIP REL1	QC	0.25	0.08	<0.001	<0.001	0.27
Core Reject Duplicates						
M3	Rock	0.02	0.08	<0.001	<0.001	4.03
DUP M3	QC	0.02	0.11	<0.001	<0.001	4.59
Reference Materials						
STD CON-ME-9A	Standard	0.32	0.18	<0.001	<0.001	3.37
STD CON-ME-14A	Standard	0.02	0.34	<0.001	<0.001	16.28
STD CON-ME-9A	Standard	0.30	0.18	<0.001	<0.001	3.32
STD CON-ME-14A	Standard	0.02	0.33	<0.001	<0.001	16.44
STD CON-ME-9A Expected		0.306	0.1813	0	0	3.34
STD CON-ME-14A Expected		0.0284	0.359	0.0015	0.0015	16.52
BLK	Blank	<0.01	<0.01	<0.001	<0.001	<0.05
BLK	Blank	<0.01	<0.01	<0.001	<0.001	<0.05

115

**MINERÍA
NO METÁLICA**
COMITÉ CORFO

This report supersedes all previous preliminary and final reports with this number dated prior to the date on this certificate. Signature indicates that approval, preliminary reports are unsigned and should be used for reference only.

CORFO
CORFO
Comité de Minería



MINERAL LABORATORIES

Canada

BUREAU

VERITAS

Bureau Veritas Commodities Canada Ltd.

9050 Shaughnessy St. Vancouver British Columbia V6P 6E5 Canada

PHONE (604) 253-3158

www.bureauveritas.com/um

Client: Fundación Para La Transferencia Tecnológico
Av. Beaucheff 993
Santiago Metropolitana Chile

Submitted By: Brian Townley
Receiving Lab: Chile-Santiago
Received: January 12, 2018
Report Date: February 22, 2018
Page: 1 of 2

CERTIFICATE OF ANALYSIS

CLIENT JOB INFORMATION

Project:	Corfo Co-Mn
Shipment ID:	
P.O. Number	
Number of Samples:	14

SAMPLE DISPOSAL

SAMPLE PREPARATION AND ANALYTICAL PROCEDURES

Procedure Code	Number of Samples	Code Description
FRP80-1KG	14	Crush, split and pulverize 1kg of sample to 200 mesh
AQ370	14	1:1:1 Aqua Regia digestion ICP-ES analysis
SHF01	14	Per sample shipping charges for branch shipments

ADDITIONAL COMMENTS

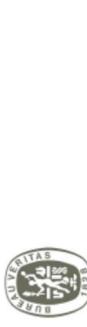
Bureau Veritas does not accept responsibility for sample left at the laboratory after 90 days without prior written instructions for sample storage or return.

Invoice To:
Fundación Para La Transferencia Tecnológica
Av. Beaucheff 993
Santiago Metropolitana
Chile

C.C.:



This report supersedes all previous preliminary and final reports with this file number dated prior to the date on this certificate. Signature indicates final approval; preliminary reports are unsigned and should be used for reference only.
All results are considered the confidential property of the client. Bureau Veritas assumes the liability for actual cost of analysis only.
An asterisk indicates that an analytical result could not be provided due to unusually high levels of interference from other elements.



MINERAL LABORATORIES
BUREAU
VERITAS
Canada

Bureau Veritas Commodities Canada Ltd.
9050 Shaughnessy St. Vancouver British Columbia V6P 6E5 Canada
PHONE (604) 253-3158

www.bureauveritas.com/um

Client: Fundación Para La Transferencia Tecnológica
Av. Beauchef 993
Santiago Metropolitana Chile

Project: Corfo Co-Mn
Report Date:
February 22, 2018

CERTIFICATE OF ANALYSIS

Method Analyte	Wgt										Wgt									
	Mo	Cu	Pb	Zn	Ag	Ni	Co	Mn	Fe	As	Sr	Cd	Sn	Bi	Ca	P	Cr	Mg	A	
Unit	kg	0.001	0.001	0.01	0.01	2	0.001	0.01	0.01	0.01	0.001	0.001	0.001	0.001	0.01	0.001	0.001	0.01	0.01	
MDL																				
BH20-793	3.00	<0.001	0.172	<0.01	<0.01	<2	0.005	0.010	0.17	38.28	<0.01	<0.001	<0.001	<0.01	0.68	0.052	0.001	2.28	1.67	
BH20-489	3.54	<0.001	0.022	<0.01	<0.01	<2	0.005	0.009	0.18	19.82	<0.01	0.005	<0.001	<0.001	11.48	4.931	0.001	3.54	2.16	
BH11-402	2.40	<0.001	0.084	<0.01	<0.01	<2	0.032	0.027	0.20	26.72	<0.01	0.002	<0.001	<0.001	1.41	0.455	<0.001	3.24	2.90	
BH21-1036.15	0.83	<0.001	0.082	<0.01	<0.01	<2	0.018	0.013	0.25	17.11	<0.01	0.002	<0.001	<0.001	0.91	0.220	0.001	3.08	2.89	
BH12-224	1.67	<0.001	0.048	<0.01	0.02	<2	0.008	0.012	0.16	31.96	<0.01	0.003	<0.001	<0.001	2.13	0.667	0.002	1.50	1.76	
BH15-585	2.23	<0.001	0.034	<0.01	<0.01	<2	0.003	0.003	0.13	>40	<0.01	<0.001	<0.001	<0.001	3.69	0.225	0.001	0.77	0.22	
MINA ESTRELLA 1	3.01	<0.001	2.323	<0.01	5	<0.01	5	0.917	0.198	0.08	36.71	0.01	<0.001	<0.001	<0.01	3.29	1.441	<0.001	0.87	0.35
MINA ESTRELLA 2	5.15	<0.001	0.683	<0.01	<0.01	<2	0.191	0.104	0.06	>40	<0.01	<0.001	<0.001	<0.001	1.96	0.757	<0.001	1.36	0.67	
MINA ESTRELLA 3	2.82	<0.001	1.333	<0.01	0.01	3	0.285	0.251	0.04	>40	<0.01	<0.001	<0.001	<0.001	3.00	1.288	<0.001	0.34	0.14	
MINA ESTRELLA 4	4.54	<0.001	5.241	<0.01	0.04	10	0.430	0.141	0.04	>40	<0.01	<0.001	<0.001	<0.001	3.56	1.564	<0.001	0.31	0.14	
LEONA 5	4.16	0.002	0.320	<0.01	<0.01	<2	0.078	0.074	0.16	38.30	<0.01	0.001	<0.001	<0.001	2.51	0.344	<0.001	0.82	0.47	
M-001	6.94	0.005	4.040	<0.01	<0.01	5	0.003	0.007	0.51	>40	<0.01	<0.001	<0.001	<0.001	0.36	0.028	<0.001	0.09	0.11	
M-002	3.83	0.005	4.308	<0.01	<0.01	3	0.001	0.170	1.19	19.78	0.21	0.002	<0.001	<0.001	0.44	0.029	<0.001	0.50	0.35	
MAU-001	2.56	<0.001	0.028	<0.01	<0.01	<2	0.009	0.020	0.07	31.11	0.01	0.002	<0.001	<0.001	1.73	0.031	0.002	0.35	0.26	

Page: 2 of 2

Part: 1 of 2

Project: CQQ180000027.1

This report supersedes all previous preliminary and final reports with this file number dated prior to the date on this certificate. Signature indicates that approval, preliminary reports are unsigned and should be used for reference only.



**BUREAU
VERITAS**

MINERAL LABORATORIES
Canada
Bureau Veritas Commodities Canada Ltd.
9050 Shaughnessy St, Vancouver British Columbia V6P 6E5 Canada
PHONE (604) 253-3158

www.bureauveritas.com/lum

Client:

Fundación Para La Transferencia Tecnológica

Av. Beauchef 993
Santiago Metropolitana Chile

**BUREAU
VERITAS**
Canada
Bureau Veritas Commodities Canada Ltd.
9050 Shaughnessy St, Vancouver British Columbia V6P 6E5 Canada
PHONE (604) 253-3158

Project:
Cofo Co-Mn
Report Date:
February 22, 2018

CERTIFICATE OF ANALYSIS

Method	AQ370	AQ370	AQ370	AQ370	AQ370	AQ370
Analyte	Na	K	W	Hg		
Unit	%	%	%	%	%	%
MDL	0.01	0.01	0.001	0.001	0.05	
BH20-793	Rock	0.03	0.09	<0.001	<0.001	0.82
BH20-489	Rock	0.10	0.05	<0.001	<0.001	0.42
BH11-902	Rock	0.17	0.22	<0.001	<0.001	2.98
BH21-1098.15	Rock	0.22	0.16	<0.001	<0.001	2.25
BH12-924	Rock	0.21	0.38	<0.001	<0.001	1.65
BH15-685	Rock	<0.01	0.02	<0.001	<0.001	0.11
MINA ESTRELLA 1	Rock	<0.01	<0.01	<0.001	<0.001	>30
MINA ESTRELLA 2	Rock	<0.01	0.11	<0.001	<0.001	13.10
MINA ESTRELLA 3	Rock	<0.01	0.01	<0.001	<0.001	25.01
MINA ESTRELLA 4	Rock	<0.01	0.01	<0.001	<0.001	24.43
LEONA 5	Rock	<0.01	<0.01	<0.001	<0.001	9.04
M-001	Rock	0.02	0.04	0.039	<0.001	4.15
M-002	Rock	0.01	0.10	0.020	<0.001	4.22
MAU-001	Rock	0.08	<0.01	0.004	<0.001	>30

Page: 2 of 2

Part: 2 of 2

CQQ180000027.1



**BUREAU
VERITAS**
Canada

Bureau Veritas Commodities Canada Ltd.
9050 Shaughnessy St. Vancouver British Columbia V6P 6E5 Canada
PHONE (604) 253-3158

QUALITY CONTROL REPORT

www.bureauveritas.com/um

Client:
Fundación Para La Transferencia Técnológica
Av. Beaucheff 993
Santiago Metropolitana Chile

Project:
Corfo Co-Mn
Report Date:
February 22, 2018

Page: 1 of 1

CQQ180000027.1

Method	WGHT	AQ370	AQ370	AQ370	AQ370	AQ370	AQ370	AQ370	AQ370	AQ370	AQ370	AQ370	AQ370	AQ370	AQ370	AQ370	AQ370	AQ370	AQ370		
Analyte	Wat	Mo	Cu	Pb	Zn	Ag	Ni	Co	Mn	Fe	As	Sr	Cd	Sb	Bi	Ca	P	Cr	Mg	Al	
Unit	kg	%	%	%	%	ppm	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	
MDL	0.01	0.001	0.001	0.01	0.01	2	0.001	0.001	0.01	0.01	0.01	0.001	0.001	0.01	0.01	0.001	0.01	0.01	0.01		
Pulp Duplicates																					
MINA ESTRELLA 3	Rock	2.82	<0.001	1.333	<0.01	0.01	3	0.285	0.251	0.04	>40	<0.01	<0.001	<0.001	<0.01	3.00	1.286	<0.001	0.34	0.14	
REF MINA ESTRELLA 3	QC	<0.001	1.347	<0.01	0.01	3	0.287	0.255	0.04	>40	<0.01	<0.001	<0.001	<0.001	<0.01	3.00	1.299	<0.001	0.35	0.14	
Core Rejected Duplicates																					
MINA ESTRELLA 1	Rock	3.01	<0.001	2.323	<0.01	<0.01	5	0.917	0.199	0.08	38.71	0.01	<0.001	<0.001	<0.001	<0.01	3.29	1.441	<0.001	0.67	0.36
DUP MINA ESTRELLA 1	QC	<0.001	2.355	<0.01	<0.01	5	0.908	0.194	0.08	38.32	0.01	<0.001	<0.001	<0.001	<0.01	3.20	1.405	<0.001	0.66	0.34	
Reference Materials																					
STD CDN-MIE-9A	Standard	<0.001	0.249	<0.01	<0.01	4	0.937	0.016	0.07	11.50	<0.01	0.006	<0.001	<0.001	<0.01	1.39	0.080	0.014	2.77	2.17	
STD CDN-MIE-14A		0.002	1.220	0.48	3.05	43	0.002	0.017	0.06	18.97	<0.01	<0.001	0.009	0.002	<0.01	0.32	0.013	0.002	0.88	1.18	
STD CDN-MIE-14A Expected		0.00033	0.654	0.003	0.0096	3.3	0.912	0.0165	0.066	11.73	0.00125	0.0006	0.0014	0.0002	1.37	0.0883	0.0134	2.84	2.21		
STD CDN-MIE-14A Expected		0.00015	1.24	0.488	2.97	42.3	0.0018	0.017	0.0598	17.29	0.0105	0.0036	0.0088	0.0024	0.298	0.0127	0.0019	0.8787	1.14		
BLK	Blank	<0.001	<0.001	<0.01	<0.01	<2	<0.001	<0.001	<0.01	<0.01	<0.001	<0.001	<0.001	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01		
Prep Wash																					
QUARTZ_CQO	Prep Blank	<0.001	<0.001	<0.01	<0.01	<2	<0.001	<0.001	<0.01	0.56	<0.01	<0.001	<0.001	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.01		
QUARTZ_CQO	Prep Blank	<0.001	<0.001	<0.01	<0.01	<2	<0.001	<0.001	<0.01	0.58	<0.01	<0.001	<0.001	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.01		

This report supersedes all previous preliminary and final reports with this number dated prior to the date on this certificate. Signature indicates final approval. Preliminary reports are unsigned and should be used for reference only.

