



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

**GEOLOGÍA DEL PROSPECTO IOCG ALCAPARRA D,
COMUNA DE HUASCO, REGIÓN DE ATACAMA**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE GEÓLOGA
MARÍA JOSÉ NICOL FREDES BOWN

PROFESOR GUÍA:

FERNANDO BARRA PANTOJA

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:

MARTIN REICH MORALES

CARLOS MARQUARDT ROMÁN

Este proyecto ha sido financiado por proyecto FONDECYT 1140780

SANTIAGO

2017

**RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR
AL TÍTULO DE: Geóloga**

POR: María José Nicol Fredes Bown

FECHA: Septiembre 2017

PROFESOR GUÍA: Fernando Barra Pantoja

**GEOLOGÍA DEL PROSPECTO IOCG ALCAPARRA D, COMUNA DE HUASCO,
REGIÓN DE ATACAMA.**

El prospecto Alcaparra D de propiedad de la Compañía Minera del Pacífico S.A (CMP Minería) corresponde a un depósito tipo IOCG dominado por magnetita con una zona de alteración supérgena en la parte superior del prospecto.

El objetivo principal de este estudio es determinar el modelo geológico para el yacimiento Alcaparra D mediante mapeo de sondajes y estudios mineralógicos. Además, se entregan nuevos antecedentes para establecer la posible fuente de la mineralización sulfurada utilizando isótopos de azufre.

Este yacimiento se encuentra en la Franja Ferrífera del Norte de Chile, en la Cordillera de la Costa de la Región de Atacama, a 15 kilómetros al sur-oeste de Vallenar. El yacimiento se encuentra en el distrito minero El Algarrobo, en donde se han identificado al menos dos yacimientos importantes del tipo hierro-apatito: El Algarrobo y Ojos de Agua.

La mineralización se emplaza en rocas volcánicas de la Formación Punta del Cobre y el control estructural está dado por fallas que pertenecen a la Zona de la Falla de Atacama. La mena principal de cobre es calcopirita y se encuentra en andesitas asociada a magnetita y en brechas hidrotermales con matriz de especularita.

Los estudios petro-calcográficos indican que el depósito se formó a partir de cuatro eventos de mineralización y alteración: El primero se asocia a un evento de posible carácter magmático con asociación de magnetita-actinolita. Es seguido por un segundo evento magmático-hidrotermal de sulfuros con magnetita junto a una alteración potásica. El tercer evento corresponde a un pulso hidrotermal que genera localmente brechas de especularita y una alteración hidrotermal caracterizado por sericita, clorita, calcita y sílice. El cuarto evento presenta una alteración supérgena asociada a aguas meteóricas oxidadas que producen una oxidación de la magnetita (martitización) y de sulfuros.

Los resultados del análisis de isótopos de azufre de fases sulfuradas arrojan un rango acotado de valores de $\delta^{34}\text{S}$, los cuales son consistentes con una fuente magmática del azufre ($-4.0\text{‰} \leq \delta^{34}\text{S} \leq 2.2\text{‰}$).

Los estudios realizados indican que Alcaparra D corresponde a un depósito IOCG del tipo calcopirita-magnetita en el cual es posible identificar una conexión espacial con depósitos tipo hierro-apatito en profundidad.

*“...Y si algún día cambia la suerte
y no podemos triunfar,
levantaremos bien alta la frente, y
nuevamente volveremos a
cantar...”*

A mi Lelito, que siempre me
repetía: *“cuando mi niña esté en la
universidad...”*

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a los miembros de mi comisión, Dr. Martin Reich, Dr. Carlos Marquardt, y en especial, a mi profesor guía, Dr. Fernando Barra, por toda la ayuda recibida y su disposición durante este proceso. Agradecer a Compañía Minera del Pacífico, a Mario Rojo, Jefe de Geología y en especial a la geóloga Mayasil García por la ayuda entregada para realizar este trabajo.

No hay lugar a dudas que los agradecimientos más importantes son para mis papás, Katia y Jaime, sin su apoyo incondicional yo no estaría aquí hoy. Gracias por todo su esfuerzo durante estos años, gracias por todo lo que hacen por mis hermanos y por mí, gracias por siempre estar cuando lo necesito y por todo lo que me han ayudado. Gracias por su amor incondicional, gracias por la linda familia que tenemos. Este es un regalo para ustedes, ¡los amo infinito!

A mis hermanos, Cristián y Seba. Gracias por siempre hacerme reír, por ir a Santiago cuando los necesité, por comprarme Redbulls con Rolls, por enrollarme en las sábanas, por dejarme debajo de la cama, por la leche con aceituna y por ser tan mongolitos. Son los mejores amigos que puedo tener. ¡Los amo! A mi lelita, mi tía Lucy, mi madrina y mi padrino, por siempre preocuparse por mí, por mandarme cositas y por todos los detalles que tuvieron todos estos años.

A mis amigas de la vida, Vane y Cata (y a todos los Almendras), por estar siempre, por esta amistad de años y que será de muchos más. A mi amiga Nico Zamora, mi partner desde mechonas ¿qué hubiera sido de mi vida universitaria sin ti?, a mis amigas de básquet; Nico Nuñez, Feña, Xio, Gisse, muchas gracias por todo, por estar en las buenas y en las malas, por todos esos entrenamientos, por los almuerzos, por las oncesitas cerdas, por los consejos, por los abrazos, por los carretes y por mucho más. ¡Las quiero mucho!

A mi equipo de atletismo y a mi equipo de basquetball, sin ellos seguramente estaría en otra universidad contando otra historia, a mis entrenadores Mario Rodríguez y Julio Figueroa. A mis amigos, gracias por tantos recuerdos y kilómetros juntos: A mi loca Sasha, a House, Pancho, Jose, Fabi, Emilio, Dani, Alonso, Braulio, Chispo, Carlos, Paredes, Fito.

A mis geoamigas; Less, Lore, Naty Lorena, Naty Isabel, gracias por este lindo grupo que se formó, gracias por explicarme cuando no entendía, jaja, gracias por los largos días de estudio, por las papitas teclados, por los cafecitos de las tardes, por las conversaciones y mucho más. A mi amigo Piero, amigo de viernes felices y lunes de mal, de sufrimiento y de alegrías, de odio a Beauchef y de amor a Beauchef, el único que me entendía por haber vivido lo mismo, muchas gracias por todo Piero!. A mi Dany loly, gracias por acompañarme todo ese tiempo en la pensión del mal, fuiste un soporte fundamental en ese momento, al igual que este último mes. ¡Te adoro! Al Memeg, gracias por tu apoyo, por ayudarme a dibujar piritas, calcopiritas, cositas y por mucho más.

A todos los que de alguna u otra forma aportaron para que hoy pueda estar escribiendo estas líneas. ¡Gracias!

TABLA DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	III
TABLA DE CONTENIDO	IV
ÍNDICE DE FIGURAS	V
ÍNDICE DE TABLAS	VI
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 FORMULACIÓN DEL PROYECTO.....	2
1.2 OBJETIVOS	3
1.3 HIPÓTESIS	3
1.4 METODOLOGÍA	4
1.5 MARCO TECTÓNICO.....	5
1.6 UBICACIÓN Y VÍAS DE ACCESO	6
2. MARCO GEOLÓGICO	9
2.1 GEOLOGÍA REGIONAL.....	9
3. GEOLOGÍA DEL PROSPECTO	15
3.1 GENERALIDADES.....	15
3.2 UNIDADES LITOLÓGICAS.....	15
3.3 MINERALIZACIÓN DEL YACIMIENTO ALCAPARRA D	19
3.4 ESTRUCTURAS	19
4. RESULTADOS	20
4.1 MODELO LITOLÓGICO.....	20
4.2 PETROGRAFÍA	26
4.3 SECUENCIA PARAGENÉTICA	34
4.4 ISÓTOPOS DE AZUFRE	35
4.5 MODELO DE MINERALIZACION	36
5. DISCUSIÓN	39
5.1 MINERALIZACIÓN Y ALTERACIÓN HIDROTERMAL	39
5.2 ISÓTOPOS DE AZUFRE	41
5.3 MODELO GEOLÓGICO.....	43
5.4 RELACIÓN ENTRE DEPÓSITOS TIPO IOA Y TIPO IOCG	44
6. CONCLUSIÓN	47
7. BIBLIOGRAFÍA	49
ANEXOS	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Distribución de los principales depósitos de hierro (IOA e IOCG) en la Franja Metalogénica mesozoica. Modificado de Sillitoe (2003).....	6
Figura 2: Ubicación y accesos al yacimiento Alcaparra D. Coordenadas UTM PSAD56 .8	
Figura 3: Ubicación Alcaparra D. Imagen satelital de la zona extraída desde Google earth.	9
Figura 4: Mapa geológico regional con la zona de estudio y la ubicación del depósito Alcaparra D. Modificado de Arévalo (2009).....	14
Figura 5: Óxidos de hierro y martitización. Muestra ALD – 02, sondaje ALD1335, profundidad 81.15 metros (455 m.s.n.m).	16
Figura 6: Magnetita masiva, pirita, calcopirita, actinolita. Muestra ALD-21, sondaje ALD1335, profundidad 405.75 metros (130 m.s.n.m.).....	16
Figura 7: Fotomicrografía de granodiorita con cuarzo, sericita y calcita (Cal) en vetilla que corta la roca. Muestra código 549268, profundidad 342.1m (cota 246.46 m.s.n.m.). Minerales opacos corresponden a calcopirita y magnetita.	18
Figura 8: Unidad de andesita mineralizada con brecha magnetita-actinolita±sulfuros. Muestra ALD2-03, sondaje ALD 1215, profundidad 283 metros (262 m.s.n.m.)	20
Figura 9: Mapa en planta ubicación secciones litológicas Alcaparra D.	21
Figura 10: Sección este-oeste de sondajes, corresponde a la sección A-A'. Los colores representan las litologías presentes.	22
Figura 11: Sección este-oeste de sondajes, corresponde a la sección B-B'. Los colores representan las litologías presentes.	23
Figura 12: Sección este-oeste de sondajes, corresponde a la sección C-C". Los colores representan las litologías presentes.	24
Figura 13: Sección Noreste-suroeste de sondajes, corresponde a la sección D-D'. Los colores representan las litologías presentes.	25
Figura 14: Fotomicrografía de asociación actinolita-magnetita. A, actinolita (act) a nicoles cruzados luz transmitida, B, magnetita (mt I) a nicoles paralelos luz reflejada. Corte 0549285, profundidad 234.8 m.	27
Figura 15: Fotomicrografía con cristales de pirita y magnetita I aislados con menor calcopirita. Corte 0549255, profundidad 259 metros. Nicles paralelos, luz reflejada. ..	28
Figura 16: Fotomicrografía de magnetita con sulfuros, pirita y calcopirita. Corte 0549285, profundidad 234.8 metros. Nicles paralelos, luz reflejada.	28
Figura 17: Fotomicrografía con calcopirita, bornita, pirita y magnetita. Corte 0549265, profundidad 258 m. Derecha, nicles paralelos, luz reflejada.	29
Figura 18: Fotomicrografía con biotita, feldespatos y plagioclasas de la roca original. Corte 0549283, profundidad 216 m. Nicles cruzados, luz transmitida.....	29
Figura 19: Fotomicrografía de brecha de especularita (Hm) con clastos de pirita (Py) y calcopirita (Cp). Muestra 0549269, sondaje ALD-1321, profundidad 193.7 metros. Nicles paralelos, luz reflejada.	30
Figura 20: Fotomicrografía de cloritización. Mineral opaco corresponde a magnetita. Corte 0549277, profundidad 116.55 metros. Derecha, nicles paralelos, izquierda, nicles cruzados, luz transmitida.....	30
Figura 21: Fotomicrografía de vetilla de calcita con calcopirita II. Se observa magnetita II en la masa fundamental. Corte 0549268, profundidad 342.1 m. Derecha, nicles paralelos, luz reflejada, izquierda, nicles cruzados, luz transmitida.	31

Figura 22: Fotomicrografía de turmalina con magnetita. Corte 0549276, sondaje ALD-1449, profundidad 216.15 m. En la imagen se observa turmalina, feldespatos alterados y magnetita como mineral opaco. Derecha, nicols paralelos, izquierda, nicols cruzados, luz transmitida.	31
Figura 23: Fotomicrografía de alteración supérgena con hematita, clorita y vetilla de calcita. Corte 0549272, profundidad 105 m. Nicols cruzados, luz transmitida.....	32
Figura 24: Fotomicrografía de proceso de martitización. Hematita II reemplazando a magnetita I. Corte 0549275, profundidad 50 metros.	33
Figura 25: Datos isotópicos de azufre del depósito Alcaparra D y comparación con fuente magmática (Shanks et al., 1995)	35
Figura 26: Sección representativa de leyes de Fe de Alcaparra D.....	37
Figura 27: Sección representativa de leyes de Cu de Alcaparra D.	38
Figura 28: Gráfico valores isótopo de azufre versus profundidad.	42
Figura 29: Datos isotópicos de azufre de distintos IOCG andinos. Fuente: Mantoverde (Rieger et al., 2010), Candelaria (Marschik, 2001), Casualidad (Kovacic, 2014).	43
Figura 30: Modelo de formación de depósitos tipo IOA. A, microlitos de magnetita primaria a la cual se adhieren burbujas de fluido magmático en un magma parental. B, Flotación y ascenso del par burbuja- magnetita. C, enriquecimiento de Cl y extracción de Fe y otros metales durante el ascenso. D, Precipitación de magnetita hidrotermal (Knipping et al. 2015).	45
Figura 31: Modelo de zonación vertical de depósitos Tipo IOA a depósitos tipo IOCG (Barra et al., 2017).	46

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Secuencia paragenética Alcaparra D	34
Tabla 2: Resultados de isótopos de azufre $\delta^{34}\text{S}$ (‰) de muestras del depósito Alcaparra D.	35

1. INTRODUCCIÓN

El prospecto Alcaparra D, ubicado en el Distrito El Algarrobo, corresponde a un yacimiento de óxidos de hierro-cobre-oro o tipo IOCG, por su sigla en inglés (Sillitoe, 2003; Barton, 2014). Se ubica en la Franja Ferrífera de la Cordillera de la Costa Chilena dentro del dominio de la Zona de la Falla de Atacama desarrollado en el Cretácico Inferior (Scheuber y González, 1999).

Alcaparra D pertenece a la Compañía Minera del Pacífico (CMP S.A.) y actualmente se encuentra en fase de exploración. Corresponde a un depósito ciego que fue descubierto mediante un levantamiento aeromagnético ejecutado por Aero Service de Philadelphia, E.E.U.U. en 1961, a petición de la Compañía de Acero del Pacífico (CAP) en el contexto de un programa de exploración de las extensiones del yacimiento de hierro-apatito El Algarrobo. El yacimiento se encuentra cubierto por una unidad de gravas seguido por una zona de alteración supérgena (entre los 50 y 150 metros de profundidad). Estas unidades se encuentran sobre el mineral de interés y han sido causa de la postergación de la explotación del depósito (Fortín, 2013).

Los depósitos tipo IOCG son una fuente importante de cobre en Chile y existe un gran interés en la explotación de estos ya que constituyen blancos potencialmente rentables de cobre y oro. Actualmente, su génesis no ha sido determinada con claridad, en particular, lo que se refiere al origen de la mineralización y de los fluidos, como así también, su posible relación con los depósitos de hierro-apatito, también conocidos como tipo Kiruna o IOA (Iron Oxide-Apatite) (Barra et al., 2017).

El yacimiento Alcaparra D fue recientemente definido como un yacimiento tipo IOCG de acuerdo con sus características mineralógicas y de alteración identificadas a partir de sondajes de exploración (Fortín, 2013). Por otro lado, Alcaparra D se encuentra en el distrito El Algarrobo (yacimiento tipo Kiruna) en donde además del yacimiento El Algarrobo se han reportado varias ocurrencias de yacimientos tipo IOA, por ejemplo, el prospecto Ojos de Agua. Debido a esto, en este trabajo se plantea una posible relación genética entre los yacimientos IOA de El Algarrobo, Añañucas y/o Ojos de Agua con Alcaparra D.

Este trabajo de memoria tiene por objetivo determinar el origen de la mineralización del IOCG Alcaparra D y así poder aportar al refinamiento del modelo de formación de este tipo de depósitos en Chile. Para cumplir con este objetivo se realizó un estudio de la geología del prospecto Alcaparra D con énfasis en, la mineralización y alteración de éste mediante la descripción macroscópica de muestras de sondajes, descripción de cortes transparentes-pulidos y estudios de isótopos de azufre de fases sulfuradas.

1.1 FORMULACIÓN DEL PROYECTO

La anomalía magnética “Alcaparra D” fue descubierta mediante un levantamiento aeromagnético ejecutado por Aero Service de Philadelphia, E.E.U.U. en 1961, a petición de la Compañía de Acero del Pacífico (CAP) en el contexto de un programa de exploración de las extensiones del yacimiento de hierro El Algarrobo. Como resultado del estudio de estas anomalías se proyectó un programa de sondajes en las zonas de interés (Álvarez, 1965).

Los depósitos magnetita-apatito (tipo Kiruna o IOA de su sigla en inglés “iron-oxide-apatite”) y los depósitos de óxidos de hierro-cobre-oro (IOCG) son miembros de una misma familia, o clan, el de los IOCG. Esta familia corresponde a un amplio grupo, mal definido, de depósitos minerales caracterizados, principalmente, por su contenido de óxidos de hierro (magnetita y/o hematita especular) y que pueden contener cobre (calcopirita y menor bornita) además de otros elementos de interés como son el oro, tierras raras y uranio (Barton, 2014). Se encuentran presentes en una variedad de ambientes tectónicos magmáticos y la franja más joven de estos depósitos se encuentra en la Cordillera de la Costa del norte de Chile y sur de Perú (Jurásico-Cretácico Inferior) (Sillitoe, 2003). En Chile, los depósitos IOCG se explotan, principalmente, por cobre con oro como subproducto, mientras que los IOA son explotados por hierro.

Los depósitos tipo Kiruna suelen formarse a mayor profundidad y a mayor temperatura que los IOCG y en un mismo distrito existirían evidencias de que ambos tipos de yacimientos, IOA y IOCG, están ligados genéticamente (Knipping et al., 2015a, b; Reich et al., 2016; Barra et al., 2017). Actualmente, Alcaparra D está definido como un depósito tipo IOCG y, posiblemente, podría estar relacionado al IOA Ojos de Agua, Añañucas o al yacimiento El Algarrobo, ubicados a unos pocos kilómetros de Alcaparra.

Actualmente, existe un gran interés en la explotación de este tipo de depósitos ya que constituyen blancos potencialmente rentables por Cu y Au. Sin embargo, el origen de estos depósitos es aún tema de debate, en particular, lo que se refiere al origen de la mineralización y de los fluidos (Sillitoe, 2003; Barton, 2014; Barra et al., 2017).

Este trabajo de memoria tiene por objetivo general determinar el modelo geológico para el yacimiento Alcaparra D mediante mapeo de sondajes y estudios mineralógicos y determinar la posible fuente de la mineralización sulfurada mediante isótopos de azufre con el propósito de aportar al refinamiento del modelo de formación de estos depósitos en Chile.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar el modelo geológico para el yacimiento Alcaparra D mediante mapeo de sondajes y estudios mineralógicos y determinar la posible fuente de la mineralización mediante isótopos de azufre.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar las unidades litológicas del prospecto.
- Describir los distintos eventos de mineralización y alteración hidrotermal del yacimiento y determinar la secuencia paragenética de Alcaparra D.
- Determinar la composición isotópica de azufre de las fases sulfuradas.

1.3 HIPÓTESIS

Los sondajes de exploración de Alcaparra D muestran cantidades relevantes de sulfuros y alteraciones hidrotermales que indican que este prospecto corresponde a un yacimiento tipo IOCG. La relación genética entre IOA e IOCG ha sido explorada por otros autores, por lo que se plantea una posible relación genética entre El Algarrobo-Ojos de Agua y Alcaparra D.

El prospecto Alcaparra D es un yacimiento tipo IOCG de acuerdo con sus características mineralógicas y de alteración, pero dado que el prospecto se encuentra en el distrito El Algarrobo (yacimiento tipo Kiruna) en donde se han reportado varias ocurrencias de yacimientos tipo IOA pero a la fecha no se ha identificado ningún IOCG, este podría representar una zona de transición entre un depósito tipo IOA y un depósito tipo IOCG.

1.4 METODOLOGÍA

1.4.1 Revisión y compilación de antecedentes geológicos disponibles

En la primera etapa se recolectó información bibliográfica disponible sobre los depósitos IOA e IOCG andinos, además se revisaron 2 informes geológicos internos efectuados por la Compañía Acero del Pacífico (CMP S.A.) para el prospecto Alcaparra D (Peralta, 1992; Fortín, 2013). Además, se revisó un informe petrográfico que contiene descripciones microscópicas realizadas el año 2007, por el departamento de Geología de la Universidad de La Serena.

Por otro lado, se revisaron planillas de descripciones de sondajes, realizadas por CMP S.A., cuya información se utilizó para la elaboración de secciones litológicas del depósito.

1.4.2 Descripción macroscópica de muestras (litología, mineralogía, alteración)

Se describieron 43 muestras correspondientes a 3 sondajes de diamantina (ALD-1215, ALD-1217 y AID-1335) realizados por Compañía Minera del Pacífico S.A. Estas descripciones se utilizaron para caracterizar e identificar unidades litológicas y los eventos de alteración y mineralización, además se utilizaron de apoyo para confeccionar perfiles litológicos del depósito.

1.4.3 Descripción de cortes transparentes-pulidos

Se describieron 38 cortes transparentes-pulidos utilizando un microscopio de luz polarizada transmitida y reflejada. De esta forma se obtuvo una caracterización de la mineralización/alteración presente en el depósito Alcaparra D complementando la información obtenida de la descripción de muestras macroscópicas. En base a estas descripciones se elaboró la secuencia paragenética (mineralización y alteración) del yacimiento.

1.4.4 Estudios de isótopos de azufre

Las razones isotópicas de azufre fueron medidas en 8 muestras de pirita separadas de muestras de 3 sondajes de diamantina (ALD-1215, ALD-1217 y AID-1335) del depósito Alcaparra D. Las mediciones se realizaron en la Universidad de Arizona, E.E.U.U.

1.4.5 Confección de mapas y perfiles

La confección del mapa de la zona de estudio se realizó con el programa ARCGIS y los perfiles de sondajes con AUTOCAD. Los datos para la confección de los perfiles litológicos se obtuvieron de las descripciones de mapeos de sondajes realizados por Compañía Minera del Pacífico S.A apoyado en las descripciones macroscópicas y el estudio petrográfico. Se utilizó la información de 11 planillas de mapeo (Anexo C) para confeccionar 4 secciones litológicas con 3 a 4 sondajes por sección. Además, la información para estas secciones se complementó con datos recopilados de perfiles de leyes preexistentes.

1.5 MARCO TECTÓNICO

La evolución tectónica de Los Andes Centrales en el norte de Chile es caracterizada por la formación de un arco magmático inducido por subducción de placas que ha estado activo desde al menos 200 Ma (Mpodozis y Ramos, 1990; Charrier et al., 2007).

Debido a la migración al este de la actividad ígnea desde el Jurásico Superior - Cretácico Inferior, es posible distinguir cuatro arcos magmáticos (Scheuber y González, y referencias allí citadas, 1999) y es posible ubicar al depósito Alcaparra D en la zona del arco magmático del Jurásico - Cretácico Inferior ubicado en la Cordillera de la Costa.

En esta zona, el régimen tectónico durante el Jurásico Superior-Cretácico Inferior era de tipo extensional donde la placa Aluk, subducía a la Placa Sudamericana con un alto ángulo de convergencia sinistral oblicua. Esta configuración tectónica tiene como resultado la formación de la Zona de la Falla de Atacama y la formación de diversos depósitos minerales que conforman la franja metalogénica de la Cordillera de la Costa. (Scheuber et al., 1994).

El Prospecto Alcaparra D se encuentra en una zona de gran importancia metalogénica ya que se ubica en la Franja Ferrífera de la Cordillera de la Costa del norte de Chile. Esta franja de edad Cretácica Inferior tiene una extensión de más de 1000 kilómetros, desde el sur de Perú hasta la zona central de Chile (Figura 1). Los depósitos minerales de esta franja se encuentran fuertemente controlados por la Zona de Falla de Atacama.

Entre los 26° y 31°S se encuentran varios depósitos tipo magnetita-apatito tales como Los Colorados, El Algarrobo, El Romeral, además de depósitos IOCG (Candelaria, Mantoverde, Diego de Almagro) (Figura 1), y algunos pórfidos cupríferos (Andacollo, Inca de Oro). Estos depósitos están hospedados en rocas volcánicas de edad jurásica y cretácica, fundamentalmente, la Formación La Negra y Formación

Punta del Cobre, respectivamente, que se asocian espacialmente a batolitos dioríticos a granodioríticos del arco magmático del Cretácico Inferior (Sillitoe, 2003).



Figura 1: Distribución de los principales depósitos de hierro (IOA e IOCG) en la Franja Metalogénica mesozoica. Modificado de Sillitoe (2003).

1.6 UBICACIÓN Y VÍAS DE ACCESO

El Prospecto Alcaparra D se ubica en la Región de Atacama, Comuna de Huasco, en la Quebrada de Maitencillo, a 17 km al sur oeste de la ciudad de Vallenar y a 660 km al norte de Santiago (Figura 2). Los límites geográficos de la zona están comprendidos entre los $28^{\circ}38'46''$ - $28^{\circ}39'23''$ S y $70^{\circ}55'15''$ - $70^{\circ}54'42''$ W, con una altura promedio de 550 m.s.n.m.

Desde Vallenar se accede a la zona de estudio por la ruta 5 hacia el sur. A 4 kilómetros de distancia se debe tomar la ruta C-486 hacia el oeste. Luego de 16 km, se toma dirección norte por la ruta C-472. Después de 2 km se llega a Alcaparra. Otra alternativa, desde Vallenar, es tomar la carretera C-46 hacia la costa, luego tomar la ruta C-472 al sur. A 14 km del cruce se encuentra el prospecto Alcaparra D (Figura 3).

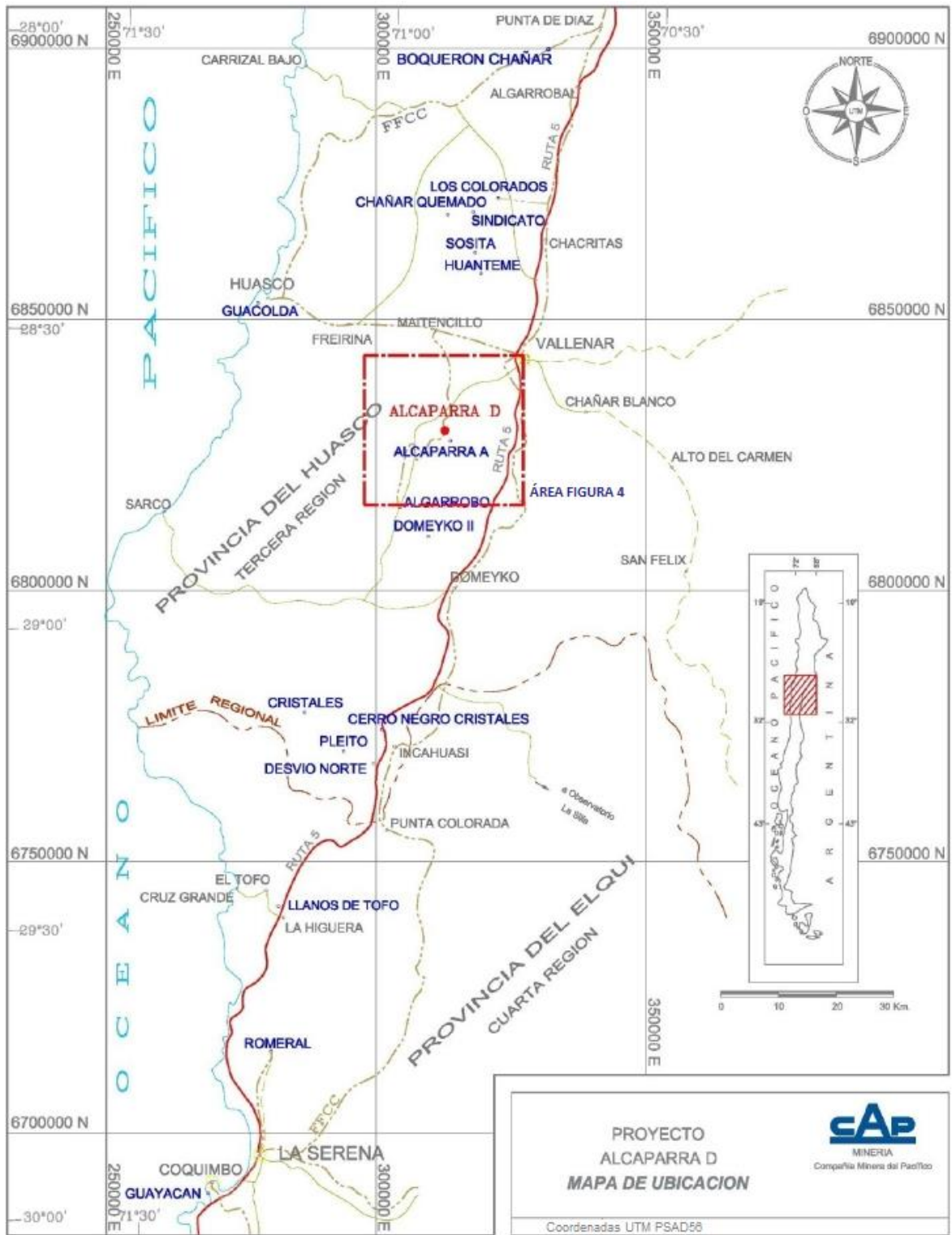


Figura 2: Ubicación y accesos al yacimiento Alcaparra D. Coordenadas UTM PSAD56



Figura 3: Ubicación Alcaparra D. Imagen satelital de la zona extraída desde Google earth.

2. MARCO GEOLÓGICO

2.1 GEOLOGÍA REGIONAL

Los yacimientos de hierro, tanto IOAs como IOCGs, se agrupan en una franja longitudinal, que se extiende por más de 600 km, entre los 26° y 32° Latitud S (Espinoza, 1990), y la mineralización se encuentra en lavas andesíticas de edad Cretácico Inferior afectadas por metamorfismo de contacto, de grado variable, producido por intrusivos granodioríticos (Franja Central) de edad Cretácico Superior a Terciaria. Esta franja metalífera está asociada, también, a rocas cataclásticas y a un sistema de fallas, de magnitudes regionales, que son la prolongación meridional de la Falla de Atacama.

Los yacimientos de hierro-apatito de la Franja Ferrífera constituyen cuerpos macizos de magnetita con cantidades variables de minerales de ganga (actinolita, clorita y apatito). Los cuerpos tienen formas de lentes o bolsones irregulares, pero muchos de ellos se aproximan a cuerpos vetiformes o mantiformes, siendo más importantes los primeros (Moscoso et al., 1982).

La zona de estudio (Figura 4) está constituida por rocas graníticas del Complejo Plutónico Retamilla y del Complejo Plutónico La Higuera (Cretácico Inferior) que intruye rocas volcánicas y sedimentarias de la Formación Punta del Cobre las cuales conforman un bloque estructural, orientado N30°E, delimitado hacia el este por la Zona de Cizalle de Algarrobo y al oeste por la Faja Plegada Los Colorados (Arévalo, 2009).

El prospecto Alcaparra D es parte del distrito El Algarrobo el cual también incluye al prospecto Ojos de Agua, Añañucas, Algarrobo Este y Domeyko. La mineralización de Alcaparra D y Ojos de Agua es hospedada en la Formación Punta del Cobre (Jurásico Superior- Valanginiano Inferior). Además, el área se encuentra parcialmente cubierta por la Unidad Gravas de Atacama (Cenozoico) y depósitos cuaternarios de origen coluvial y aluvial (Arévalo, 2009).

2.2.1 UNIDADES ESTRATIFICADAS

2.2.1.1 FORMACIÓN PUNTA DEL COBRE (Jurásico Superior – Valanginiano Inferior)

La Formación Punta del Cobre subyace concordantemente a la Formación Abundancia y sobreyace, de la misma forma, a la Formación La Negra (Arévalo, 2005). Las relaciones de contacto no afloran en la zona de estudio.

En cuanto a su litología, corresponde a una secuencia volcánica sedimentaria heterogénea en la que se distingue una sección basal, una intermedia y una superior. La sección basal está compuesta, principalmente, de lavas andesíticas porfídicas y afaníticas de piroxeno y anfíbola con intercalaciones de fangolitas calcáreas, con un espesor estimado de 200 metros. La sección media está formada por dacitas, andesitas, brechas dacíticas y riolíticas, tobas y tobas brechosas bien estratificadas. Tiene un espesor aproximado de 150 metros. La parte superior de la secuencia está compuesta por lavas andesíticas de piroxeno con intercalaciones de calcarenitas, calcilutitas y volcarenitas. En esta sección se emplazan domos y lavas domo dacíticas y tiene un espesor de 400 metros.

En cuanto a la fauna fósil encontrada en esta Formación, corresponde a ammonites que se encuentran en un rango de edad entre el Jurásico Superior y Valanginiano Inferior. Por otro lado, dataciones de U-Pb en circones de lavas andesíticas de la sección inferior arrojaron un valor de 131.0 ± 1.4 Ma lo cual entregaría una edad correspondiente al Hauteriviano Inferior (Arévalo, 2009).

2.2.1.2 GRAVAS DE ATACAMA

Se denomina así a una unidad de gravas polimícticas, mal a medianamente consolidadas, de origen aluvial, que incluye conglomerados de bolones, gravas, arenas y ripios, con intercalaciones limosas acumuladas sobre unidades pre Miocenas en una amplia extensión, en la Precordillera de Atacama, entre la Franja de Maricunga y la

Cordillera de la Costa. Esta unidad, en el interior, se dispone horizontalmente sellando las estructuras y unidades más antiguas y, hacia la costa, engrana con sedimentos marinos de la Formación Coquimbo (Moscoso et al., 1982).

Los depósitos consisten en gravas y ripios mal consolidados, con mala a moderada selección, cuya litología es, en general, heterogénea y frecuentemente diferente de la composición de las rocas de los sustratos. El espesor de estos sedimentos varía, en promedio, entre los 40 y 60 metros, con un espesor máximo de 100 m hacia el sur en el sector del Llano del Totoral (Moscoso et al., 1982).

Con respecto a su edad, las Gravas de Atacama se correlacionan con depósitos similares, reconocidos hacia el norte, en la Región de Atacama. Se realizaron dataciones radiométricas, de K-Ar en biotita, en flujos ignimbríticos intercalados en dichos depósitos obteniendo edades de 12.6 ± 0.5 Ma, 11.5 ± 0.5 Ma, 9.5 ± 0.5 Ma y 9.0 ± 0.3 Ma. Estas edades son asociadas al Mioceno Medio a Superior. Sin embargo, la edad mínima de las Gravas de Atacama se puede extender hasta el Plioceno (e incluso hasta el Pleistoceno) ya que, hacia la costa, engranan con sedimentos marinos de la Formación Coquimbo cuya edad va del Mioceno al Pleistoceno (Moscoso et al., 1982).

2.2.1.3 DEPÓSITOS NO CONSOLIDADOS

Esta unidad está representada por depósitos aluviales y coluviales, no consolidados a moderadamente consolidados, que consisten en gravas, arenas, ripios y limos con poca a nada estratificación y pobre selección. Algunos depósitos se encuentran aterrizados en las laderas del valle del río Huasco, otros ocupan laderas de baja pendiente (Quebrada de Maitencillo) y rellenan quebradas.

También se encuentran depósitos de avalanchas provenientes de la zona occidental, movilizadas gravitacionalmente, favorecidas por precipitaciones ocasionales y la acumulación de finos en largos periodos de sequía. Estos materiales se encuentran encausados en quebradas de fuerte pendiente de dirección E-W.

La edad de estos depósitos está comprendida entre el Mioceno y Holoceno. Por otro lado, existen depósitos aluviales actuales no consolidados debido a la erosión actual (Arévalo, 2009).

2.2.2 ROCAS INTRUSIVAS

2.2.2.1 COMPLEJO PLUTÓNICO RETAMILLA (127-126 Ma)

La mitad oeste del sector en estudio está constituida por rocas graníticas que se definen como Complejo Retamilla el cual intruye a la Formación Punta del Cobre. Está compuesto, de abajo hacia arriba, por granodioritas, dioritas y tonalitas de anfíbola,

piroxeno y biotita, con escasa alteración de máficos a clorita y epidota. La plagioclasa se encuentra levemente albitizada y, en parte, con alteración a sericita y arcillas (Arévalo et al., 2009).

La edad de esta unidad fue obtenida a través del método K-Ar en sericita (122 ± 3 Ma) y $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ en biotitas y hornblendas (130.9 ± 0.6 Ma) (Arévalo et al., 2009).

2.2.2.2 COMPLEJO PLUTÓNICO LA HIGUERA (124-122 Ma)

Se encuentra en el sector oriente de la zona de estudio intruye a la Formación Punta del Cobre. Está compuesto por granodioritas y tonalitas de anfíbola, biotita y piroxeno, de grano medio y textura equigranular, en su base. Mientras que en su parte superior está compuesto por dioritas y dioritas cuarcíferas de anfíbola y biotita de grano medio.

La edad fue obtenida a través de dataciones K-Ar y $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$, ambas en biotita, obteniendo edades de 123.7 ± 0.9 Ma y 133 ± 3 Ma (edad máxima), respectivamente (Arévalo et al., 2009).

2.2.3 ESTRUCTURAS

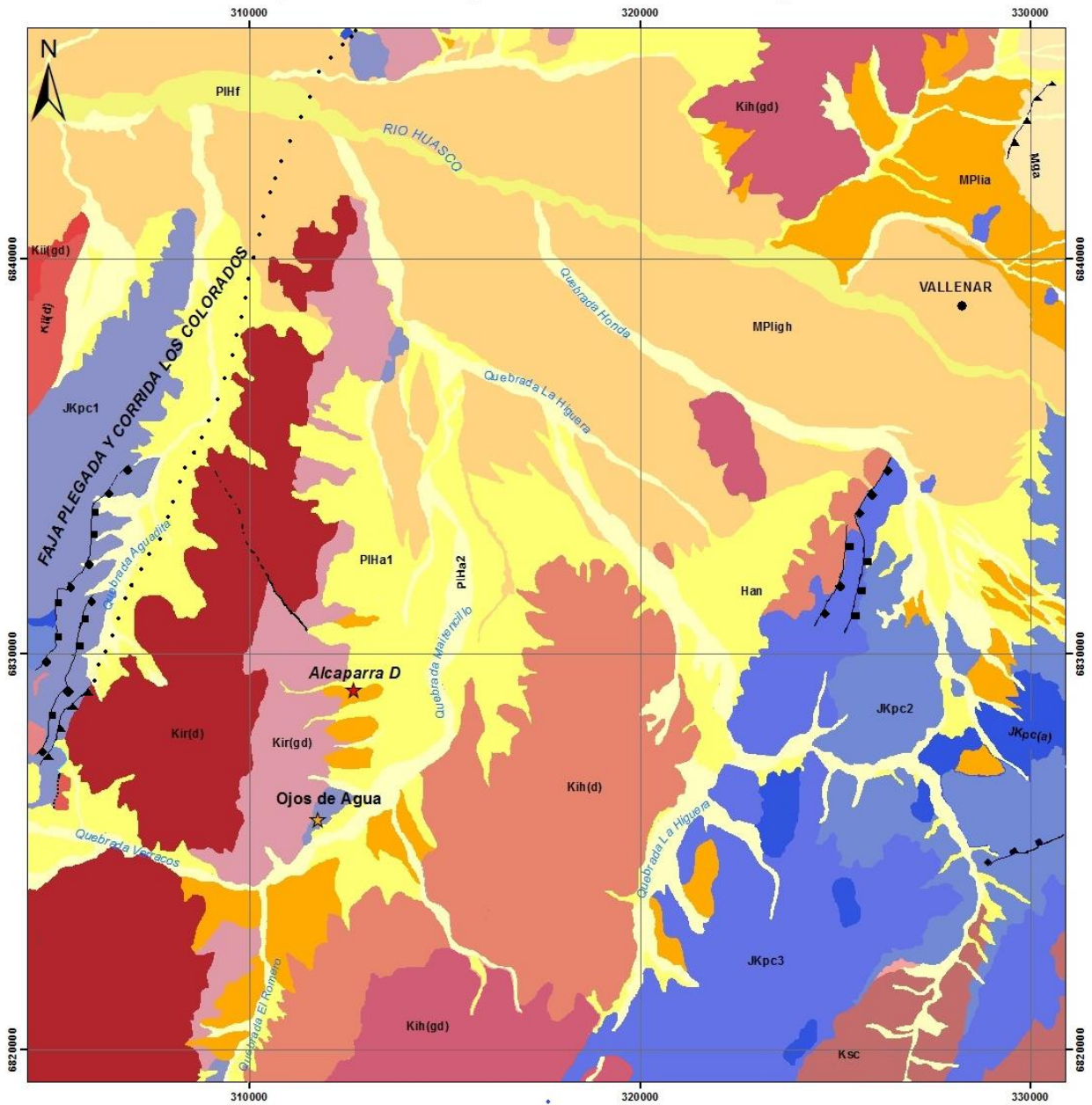
Las características de la zona permiten distinguir tres dominios estructurales distintos que corresponden a las tres divisiones morfogeológicas clásicas: Cordillera de la Costa, Depresión Central y Cordillera Principal. El basamento, en la Cordillera de la Costa, está constituido por rocas metamórficas y graníticas y en la Cordillera Principal, por rocas graníticas. La cobertura está formada por rocas volcánicas y sedimentarias dispuestas en un amplio pliegue sinclinal, cuyos flancos corresponden a la Cordillera de la Costa y Cordillera Principal (Moscoso et al., 1982).

En la Cordillera de la Costa las unidades litológicas presentan pliegues, fallas y discordancias. Uno de los rasgos más importantes, en este dominio, es un sistema de fallas de orientación NS-NNE, que se ubica en el borde oriental. Este sistema pertenece a la Zona de la Falla de Atacama, reconocido desde el sur de Iquique hasta El Romeral, al norte de La Serena, asociado a zonas de rocas cataclásticas y miloníticas. Importantes yacimientos de hierro se encuentran asociados a este sistema de fallas (El Tofo, actualmente agotado, El Algarrobo, Los Colorados) (Moscoso et al., 1982).






En esta zona se encuentra el segmento más austral Sistema de la Falla de Atacama (entre los 28° y los $29^\circ 15' \text{S}$) y se encuentran 3 estructuras principales, de rumbo NNE, las cuales de oeste a este corresponde a la Zona de Cizalle Infiernillo, la Faja Plegada y Corrida Los Colorados y la Zona de Cizalle de Algarrobo (Arévalo et al., 2003).



La Zona de Cizalle Infiernillo es un cinturón con zonas de cizalle sinplutónicas, y edades $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ que permiten datar la actividad de la falla en torno a los 130 Ma. La Faja Plegada y Corrida Los Colorados presenta plutones sintectónicos, correspondientes al Complejo Plutónico Retamilla, donde se observan pliegues de arrastre que indicarían una fase extensiva a partir de los 126 Ma (Arévalo et al., 2009). La zona de Cizalle de Algarrobo muestra deformación transpresiva de dirección regional N30°E situada en el margen occidental del Plutón La Higuera (Arévalo et al., 2003). Estas estructuras definen bloques los cuales presentan desplazamientos relativos verticales y horizontales, que explicarían la distribución espacial relativa entre los cuerpos mineralizados y sus diferencias (vetas y cuerpos masivos) (Fortín, 2013).

Mapa Geológico Zona Alcaparra D



LEYENDA

	Kih Complejo Plutónico La Higuera (d) Dioritas (gd) Granodioritas
	Kir Complejo Plutónico Retamilla (d) Dioritas (gd) Granodioritas
	Kii Complejo Plutónico Infernillo
	Ksc Complejo Plutónico Camarones
	JKpc Formación Punta del Cobre 1 Lavas andesíticas porfídicas y afáníticas 2 Dacitas, andesitas, brechas dacíticas 3 Lavas andesíticas de piroxeno y brechas estratificadas (a) Complejos de domos dacíticos

	PIHf Depósitos fluviales
	PIHa Depósitos aluviales
	Mplia Depósitos aluviales y coluviales antiguos
	Mpligh Gravas del Río Huasco
	Mga Gravas de Atacama

Estructuras

	Falla normal
	Falla cubierta
	Falla inversa
	Falla Observada, Inferida

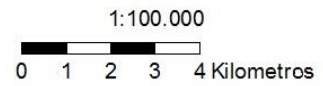


Figura 4: Mapa geológico regional con la zona de estudio y la ubicación del depósito Alcaparra D. Modificado de Arévalo (2009).

3. GEOLOGÍA DEL PROSPECTO

3.1 GENERALIDADES

Alcaparra D es un yacimiento que no se encuentra expuesto, por lo cual ha sido evaluado, principalmente, mediante métodos indirectos como gravimetría y magnetometría y más recientemente, de forma directa, utilizando sondajes. La mineralización de hierro de la anomalía magnética Alcaparra se emplaza en rocas volcánicas y sedimentarias metamórficas de la Formación Punta del Cobre (edad Jurásico Superior- Valanginiano Superior), bajo la cubierta aluvial en el flanco occidental de la Quebrada Maitencillo (Arévalo et al., 2009). Su parte inferior está formada por rocas clásticas metamórficas (grauwacas color marrón) y rocas clásticas finas afectadas con mayor intensidad por alteración clorita-arcilla. Los niveles superiores están constituidos por rocas volcánicas metamorfizadas (anfibolitización). La unidad está en contacto intrusivo y por falla con el Complejo Plutónico Retamilla, de edad Cretácica Inferior (127-126 Ma), y con el Complejo Plutónico La Higuera (124-122 Ma), ambos constituidos, principalmente, por rocas dioríticas.

3.2 UNIDADES LITOLÓGICAS

El estudio de los sondajes realizados ha permitido conocer las siguientes unidades litológicas en el prospecto:

3.2.1 UNIDAD VOLCÁNICA

Esta unidad corresponde a la Formación Punta del Cobre (afectada por fallas relacionadas a la Zona de Cizalle de Algarrobo) que consiste en una secuencia sedimentaria-volcánica heterogénea compuesta por lavas andesíticas en la base, areniscas y grauwacas en la parte media y andesitas en la parte superior, afectadas por metamorfismo de bajo grado y localmente por una alteración hidrotermal.

Generalmente, se observa como una roca de textura homogénea fuertemente alterada con un alto contenido de clorita y presencia variable de mineralización diseminada de hierro (hematita-martita-magnetita). y mineralización de sulfuros, con pirita y calcopirita, principalmente. Por otro lado es común observar, localmente, cuarzo y feldespato potásico hacia la parte más profunda del yacimiento (Peralta, 1992).

Esta unidad es la que alberga la mineralización y, en términos generales, presenta una zonación de martita y hematita desde la superficie hasta la cota 400 (Figura 5), y magnetita desde la cota 400 hasta el fin de los sondajes (Figura 6). La profundidad máxima de los sondajes promedia los 500 metros.



Figura 5: Óxidos de hierro y martitización. Muestra ALD-02, sondaje ALD1335, profundidad 81.15 metros (455 m.s.n.m).



Figura 6: Magnetita masiva, pirita, calcopirita, actinolita. Muestra ALD-21, sondaje ALD1335, profundidad 405.75 metros (130 m.s.n.m.).

3.2.2 UNIDAD INTRUSIVA

La zona de estudio presenta dos unidades intrusivas, Complejo Plutónico Retamilla, que se encuentra en la parte oeste de la zona de estudio, y Complejo Plutónico La Higuera, en la parte oriente de la zona de estudio. Ambos intruyen a la unidad volcánica (Formación Punta del Cobre) y, a su vez, están en contacto por falla con ella.

En el sector en estudio, el Complejo Plutónico Retamilla está compuesto por aplitas, dioritas, tonalitas, monzonitas, y granitos–granodioritas. La secuencia de emplazamiento es diorita, tonalita, monzonita, granito-granodiorita y aplita. Las aplitas forman cuerpos de dirección NNW de ancho variable desde 100m hasta 800m que delimitan cuerpos de dioritas de igual dirección (Fortín, 2013).

El Complejo Plutónico La Higuera está compuesto por granodioritas y tonalitas de anfíbola, biotita y piroxeno, de grano medio y textura equigranular, en su base. mientras que en su parte superior está compuesto por dioritas y dioritas cuarcíferas de anfíbola y biotita de grano medio.

La Figura 7 corresponde a una granodiorita holocristalina fanerítica de grano medio, hipidiomórfica e inequigranular. Los minerales principales son cuarzo (30%) y plagioclasas alteradas a sericita (10%). Los minerales de alteración son sericita (25%) alterando a plagioclasas, calcita (15%) en vetillas y clorita en trazas. Los minerales opacos son calcopirita (10%), magnetita (8%), pirita (2%).

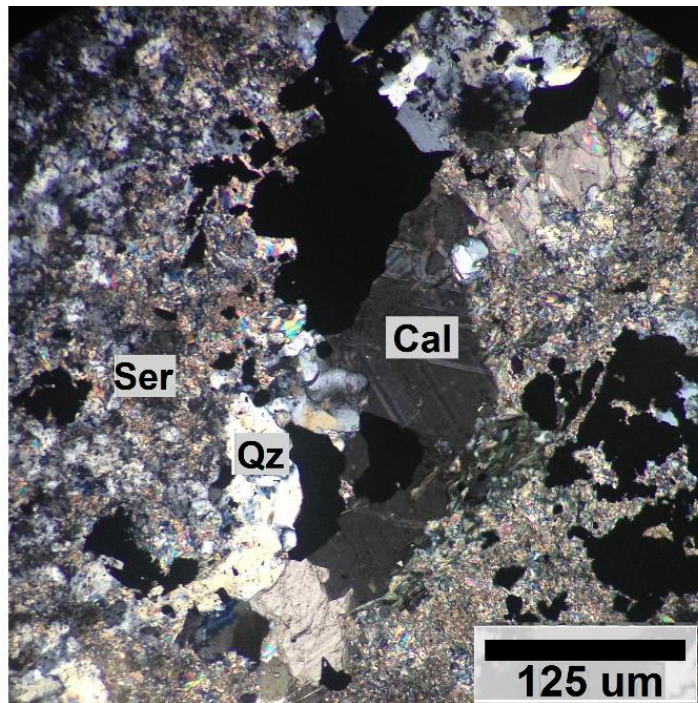


Figura 7: Fotomicrografía de granodiorita con cuarzo, sericita y calcita (Cal) en vetilla que corta la roca. Muestra código 549268, profundidad 342.1m (cota 246.46 m.s.n.m.). Minerales opacos corresponden a calcopirita y magnetita.

Las dioritas de estas unidades en general presentan, macroscópicamente, textura fanerítica compuesta por tres minerales predominantes: plagioclasas levemente albitizadas, ferromagnesianos de color oscuro y cuarzo. La alteración predominante es sericítica. Según un informe de interno de CAP (Fortín 2013) esta unidad presenta un magnetismo moderado.

Las aplitas forman cerca del 30% del Complejo Retamilla en el sector estudiado. Estas rocas presentan color blanco pardo, compuestas de minerales leucocráticos como plagioclasa, cuarzo y feldespato potásico, ausencia de minerales máficos, grano fino de aspecto sacaroideo característico de rocas apliticas. Estas rocas presentan grado de alteración variable (principalmente alteración sericítica). Esta litología contiene óxidos de hierro, que se distinguen como diseminaciones de color rojizo en la superficie de la roca (Fortín, 2013).

3.2.3 UNIDADES DE RELLENO CUATERNARIO

Esta unidad cubre todo el sector de Alcaparra. Tiene un espesor que varía entre los 40 y 60 metros.

Depósitos Aluviales (Pleistoceno – Holoceno)

Corresponde a sedimentos no consolidados a moderadamente consolidados, formados por ripios de bolones y bloques, gravas, arenas y limos que ocupan laderas de baja pendiente (Quebrada Maitencillo) y rellenan quebradas (Quebrada Maitencillo). Por sus relaciones morfológicas y de contacto, se dividen en depósitos aluviales inactivos y depósitos aluviales activos. Los inactivos ocupan el ancho completo de sus cauces, son moderadamente consolidados y están formados por clastos de tamaño grava y arena gruesa, heterocomposicionales y sub-angulosos en matriz limo-arenosa. Presentan fábrica interna desorganizada que caracteriza a los depósitos gravitacionales de tipo flujo de detrito y se inter-estratifican con sedimentos mejor estratificados. Los activos se restringen a causas someros y recientes, no están estratificados y cortan a los inactivos. Ambos tipos, activos e inactivos se producen por flujos aluviales asociados a episodios pluviales esporádicos, en general de gran intensidad (Fortín, 2013).

Depósitos fluviales (Pleistoceno – Holoceno)

Conformados por depósitos no consolidados a moderadamente consolidados, asociados directamente al curso superficial del río Huasco. Se ubican, principalmente, en la Quebrada de Maitencillo la cual atraviesa toda la zona (de NNE a SSW) con un ancho variable entre los 500 y 800 metros. Se compone por bloques, gravas, arenas y limo.

3.3 MINERALIZACIÓN DEL YACIMIENTO ALCAPARRA D

El mineral de hierro corresponde a magnetita, y en menor medida hematita, la cual se reconoce en una zona de oxidación con martita (reemplazo de magnetita por hematita) y localmente en brechas y vetillas de hematita especular. La potencia de la zona de alteración supérgena es variable entre los 80 y 150 m, ubicada bajo la unidad de relleno. A profundidades mayores hematita y martita desaparecen dando paso a la aparición de magnetita hasta profundidades de 350-400 metros.

La mineralización de hierro se observa, mayoritariamente, con textura brechosa, en algunos sectores masiva, y en menor proporción, se aprecian diseminadas y en vetillas. En profundidad se reconoce magnetita intercrecida con grandes cristales de actinolita.

La mineralización sulfurada está presente fundamentalmente por pirita, mientras que la mineralización de sulfuros de cobre está representada por calcopirita con menor bornita y escasa covelina. La calcopirita se encuentra como clastos de brecha hidrotermal, diseminada y en vetillas. La pirita se encuentra de forma subhedral a anhedral, principalmente, en cúmulos y, localmente, como clastos de brecha. Bornita y covelina se encuentran, generalmente, asociados a calcopirita.

3.4 ESTRUCTURAS

La estructura de mayor importancia regional, denominada Zona de Cizalle de Algarrobo (Arévalo et al., 2009) cruza el extremo SE del sector de estudio y tiene una dirección N15°-30°E. Esta falla pertenece al sistema de la Zona de la Falla de Atacama.

En el área de estudio (Figura 4), en la parte occidental, es posible observar fallas y fracturas debido a que hay una cubierta menor de depósitos aluviales. En esta zona se reconocen fracturas y zonas de cataclasis con dirección N15°-30°E/90° a sub-verticales y otro set de fallas de menor importancia de dirección E-W. Estas fracturas definen bloques estructurales cuyo desplazamiento y levantamiento relativo parecen influir en la distribución espacial de los cuerpos mineralizados del sector (Fortín, 2013).

Los bloques estructurales, definidos por las estructuras antes mencionadas, tendrían desplazamientos verticales relativos entre sí, especialmente en el bloque occidental de la Zona de Cizalle Algarrobo.

Se reconoce además un lineamiento regional de azimut 20°-40°E, al que se asocian las anomalías magnéticas Añañuca, Alcaparra A, Alcaparra D y Ojos de Agua (Fortín, 2013).

4. RESULTADOS

4.1 MODELO LITOLÓGICO

Para confeccionar los modelos litológicos se utilizó la información obtenida de las muestras de sondajes descritas macroscópicamente (Anexo A), descripciones de los cortes transparente-pulidos (Anexo B) y datos de descripciones de sondajes entregadas por CAP Minería (Anexo C).

Las revisiones de los mapeos de sondajes arrojaron que las litologías predominantes, de techo a base, consisten en una cobertura de gravas de 40 metros de espesor en promedio, seguida por andesitas mineralizadas y brechas de hematita/martita - actinolita ± sulfuros, brechas de magnetita - actinolita ± calcopirita ± pirita (Figura 8) y brechas de andesita. La zona de oxidación se extiende hasta los 120 - 150 metros de profundidad.



Figura 8: Unidad de andesita mineralizada con brecha magnetita-actinolita±sulfuros. Muestra ALD2-03, sondaje ALD 1215, profundidad 283 metros (262 m.s.n.m.)

La zona de hematita se encuentra dentro de los primeros 150 metros de profundidad y la zona de magnetita comienza desde los 150 metros hasta los 400-500 metros, aproximadamente (largo promedio de los sondajes estudiados).

El mapa en planta (Figura 9) corresponde a la ubicación de los perfiles en el área de estudio y las litologías descritas anteriormente se muestran en las Figuras 10, 11, 12, 13.

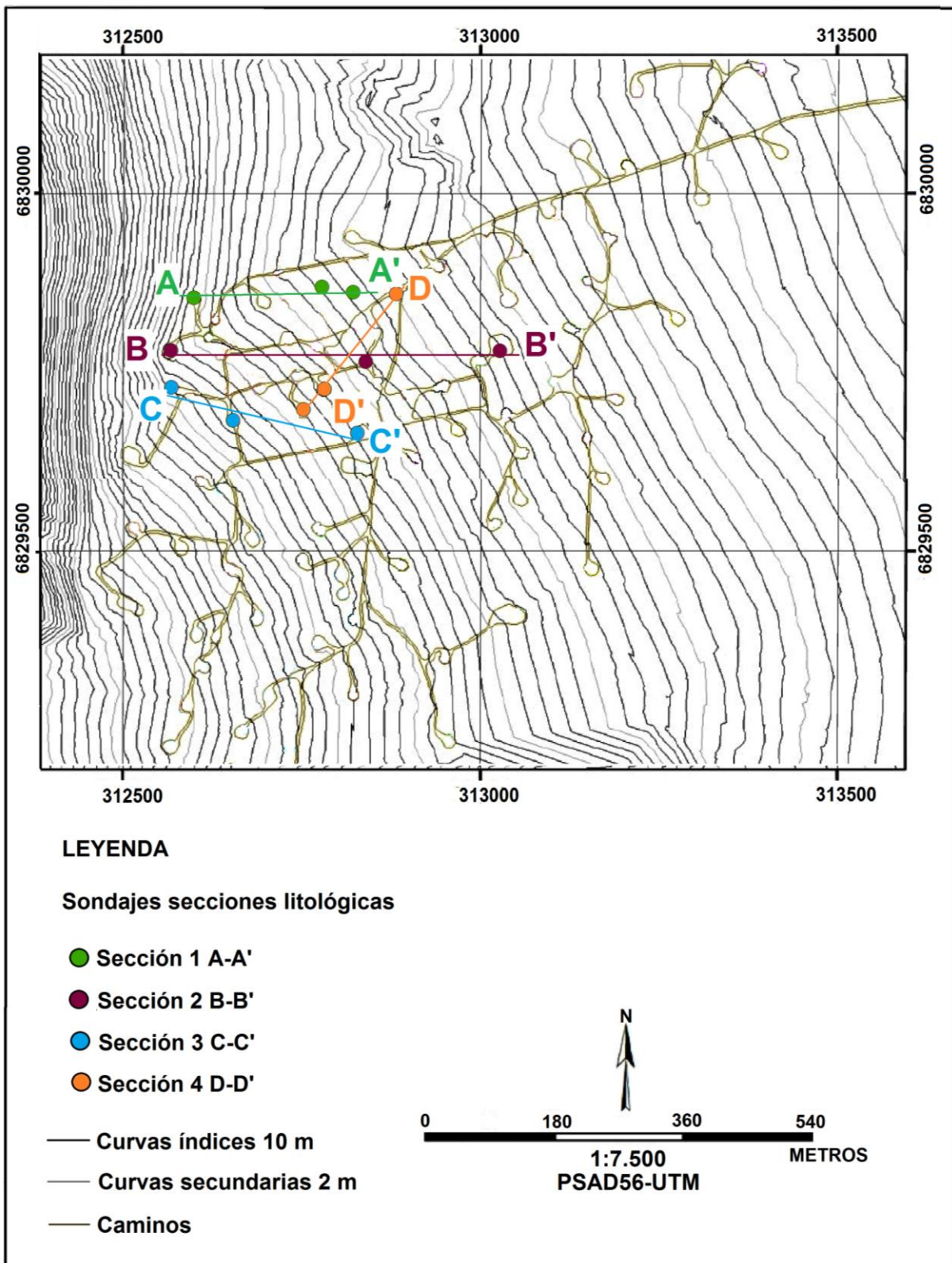


Figura 9: Mapa en planta ubicación secciones litológicas Alcaparra D.

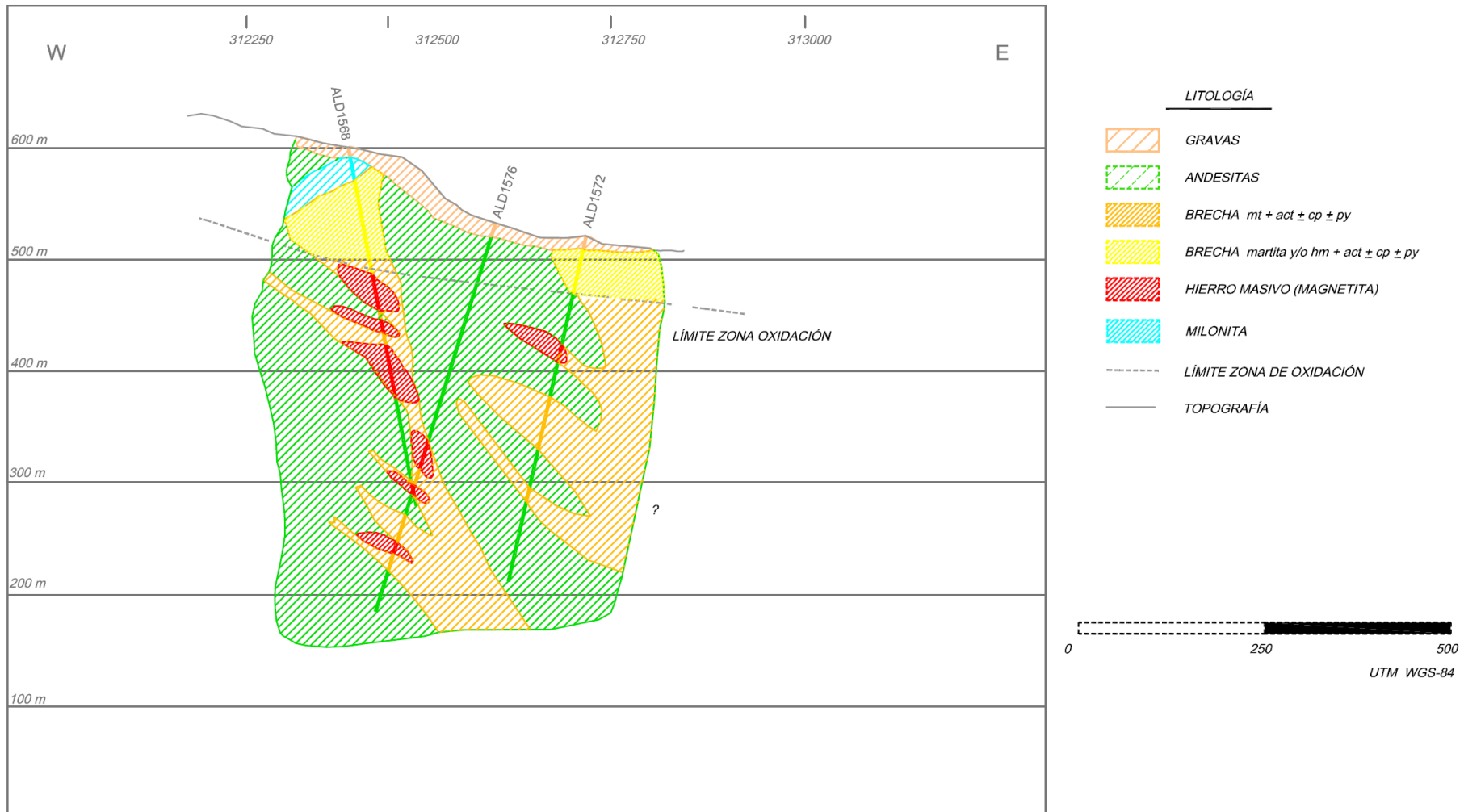


Figura 10: Sección este-oeste de sondajes, corresponde a la sección A-A'. Los colores representan las litologías presentes.

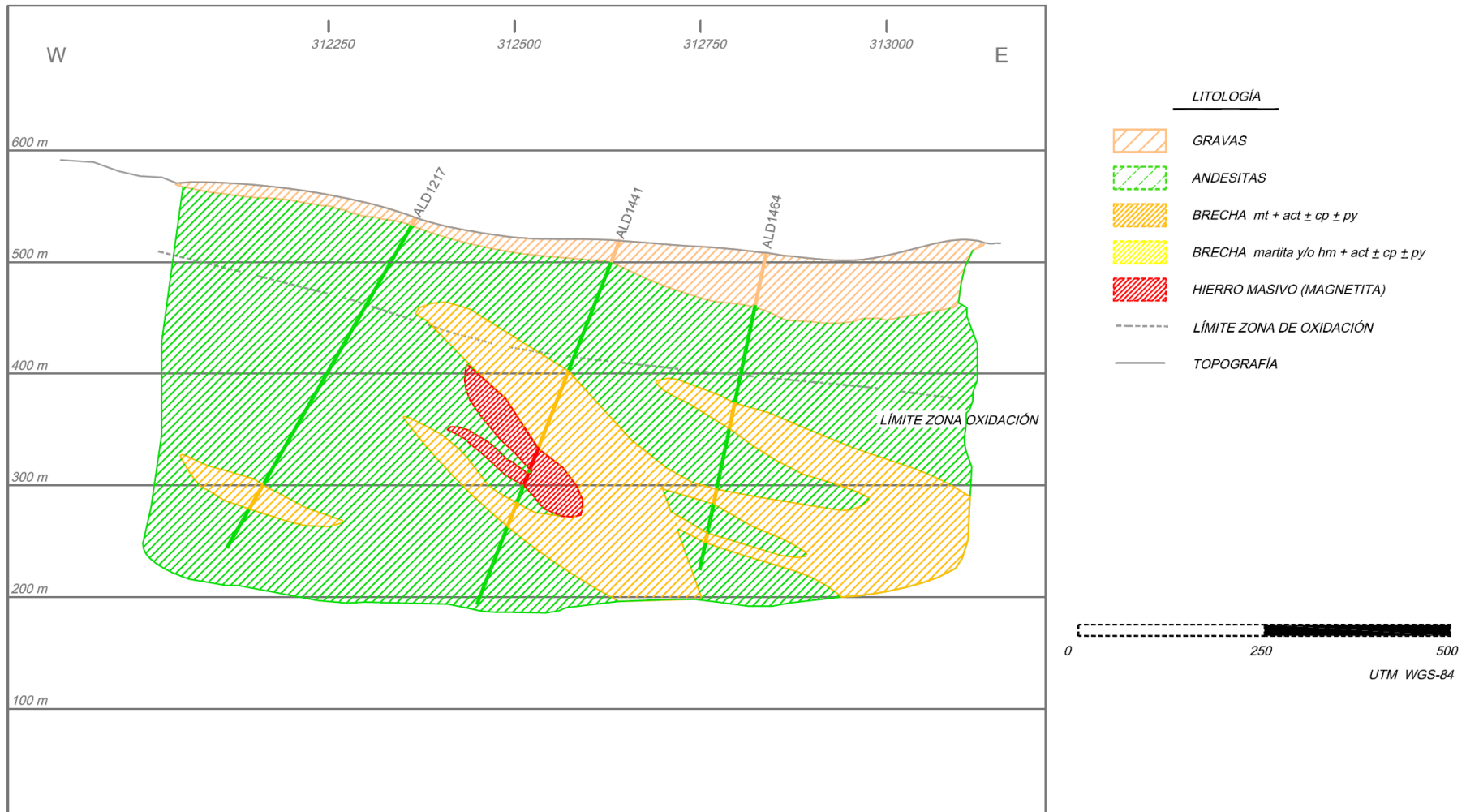


Figura 11: Sección este-oeste de sondajes, corresponde a la sección B-B'. Los colores representan las litologías presentes.

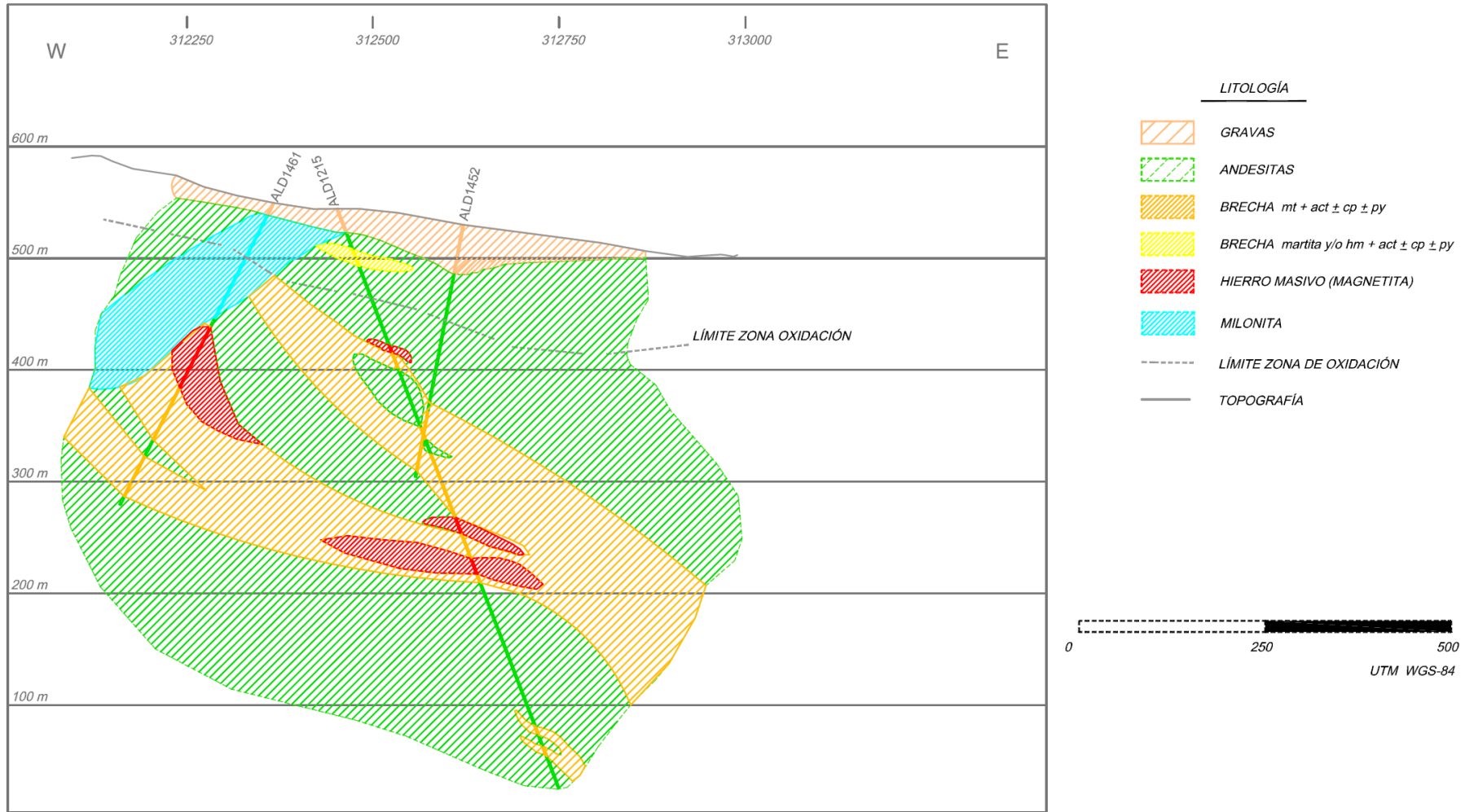


Figura 12: Sección este-oeste de sondajes, corresponde a la sección C-C". Los colores representan las litologías presentes.

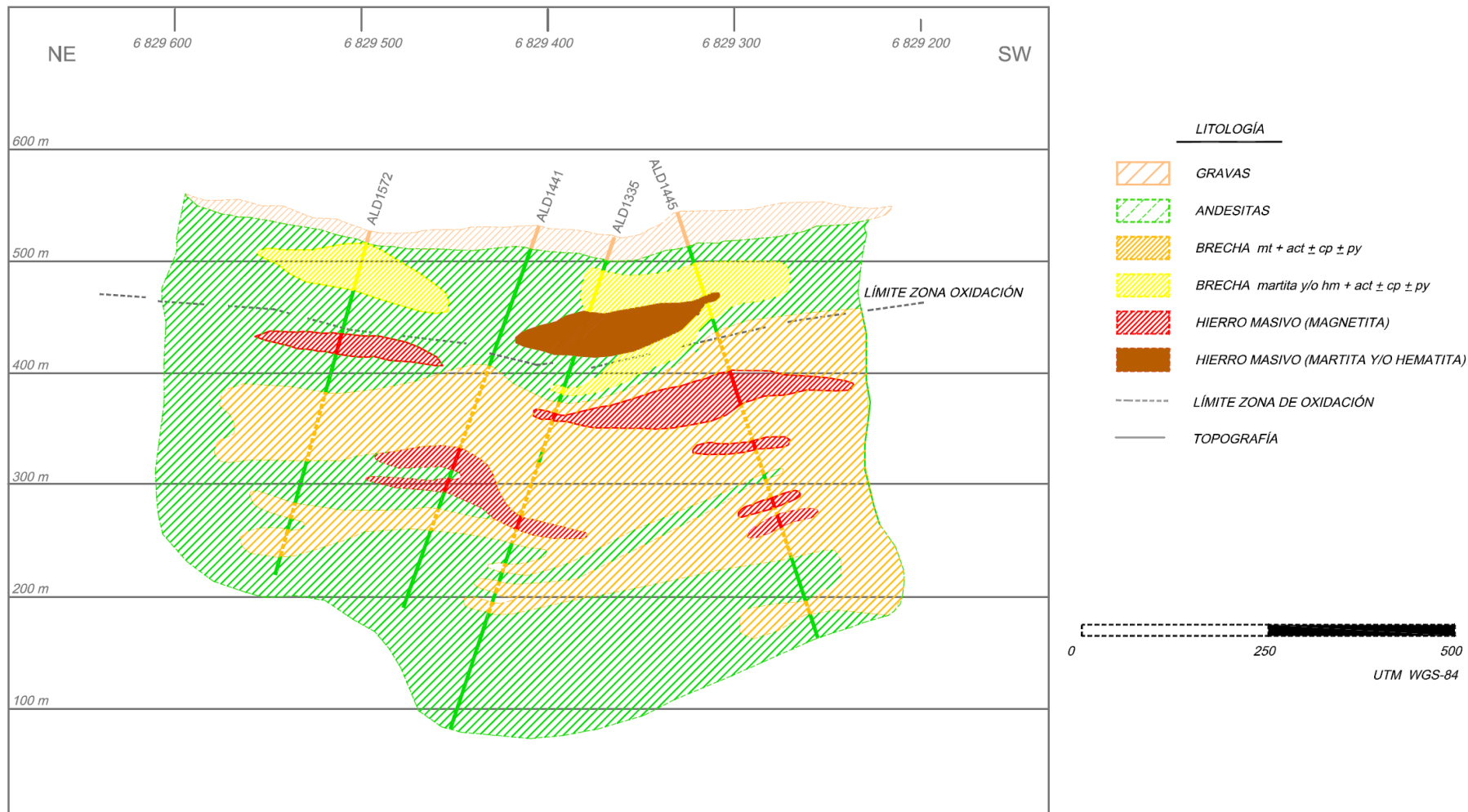


Figura 13: Sección Noreste-suroeste de sondajes, corresponde a la sección D-D'. Los colores representan las litologías presentes.

4.2 PETROGRAFÍA

A través de la descripción de 38 cortes transparente-pulidos, se determinó que las muestras, en su mayoría, están fuertemente alteradas siendo posible identificar cuatro eventos de alteración y mineralización sobreimpuestos.

La mineralización de hierro está representada, principalmente, por magnetita y hematita. La mineralización de cobre se encuentra como calcopirita con escasa bornita y menor covelina, siendo pirita la ganga metálica principal. Localmente, se identifican brechas hidrotermales con matriz de hematita especular y escasas brechas de turmalina probablemente como un evento tardimagmático.

Los eventos de alteración hidrotermal reconocidos en el depósito son: potásica, sericítica, carbonática, argílica (supérgena). La alteración potásica se reconoce por la presencia de feldespato potásico y biotita secundaria principalmente en profundidad, mientras que la alteración sericítica selectiva de feldespatos se distingue sobre todo en la parte media a superior del yacimiento. Además, se observa abundante clorita con cantidades menores de cuarzo, epidota y calcita. La calcita también se observa en vetillas con cuarzo y calcopirita.

Destaca la presencia de un primer evento con cristales de actinolita intercrecidos con magnetita que grada a una etapa de sulfuros con magnetita. Este evento es importante ya que es característico de depósitos tipo IOA.

Finalmente, la argilización se encuentra restringida a zonas de falla y como producto de alteración supérgena. Esta última también genera óxidos de hierro (hematita, goethita y jarosita) y martitización.

4.2.1 EVENTOS DE MINERALIZACIÓN

EVENTO I

El primer evento de mineralización corresponde a la etapa de magnetita y actinolita. Se observa el desarrollo de cristales de actinolita subhedrales a euhedrales, de hasta 4mm, los cuales están intercrecidos con magnetita (Figura 14). Esta magnetita es llamada magnetita I.

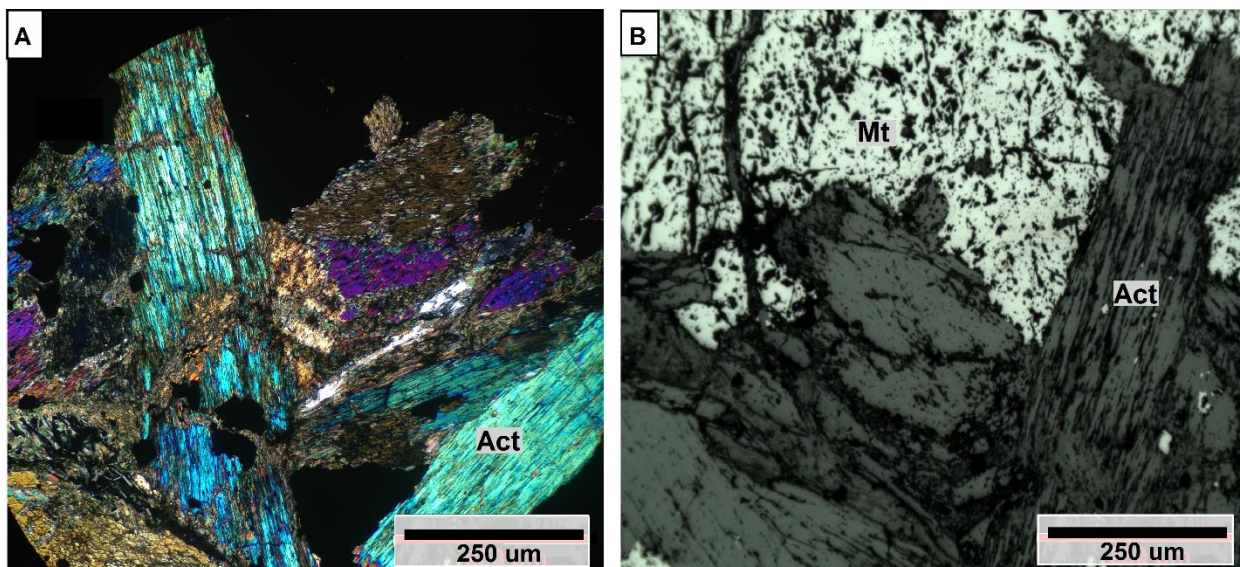


Figura 14: Fotomicrografía de asociación actinolita-magnetita. A, actinolita (act) a nicoles cruzados luz transmitida, B, magnetita (mt I) a nicoles paralelos luz reflejada. Corte 0549285, profundidad 234.8 m.

EVENTO II

El segundo evento de mineralización corresponde a la etapa de magnetita con sulfuros. Se observa el desarrollo de cristales de pirita de forma anhedral a euhedral, con hábitos cúbicos, entre 1 y 4 mm de largo por 2 mm de ancho en los cristales más grandes. Se presenta diseminada y en cúmulo. A su vez, se observa magnetita I subhedral a anhedral, diseminada. La magnetita se observa en contacto simple con pirita o rodeándola completamente (Figura 15).

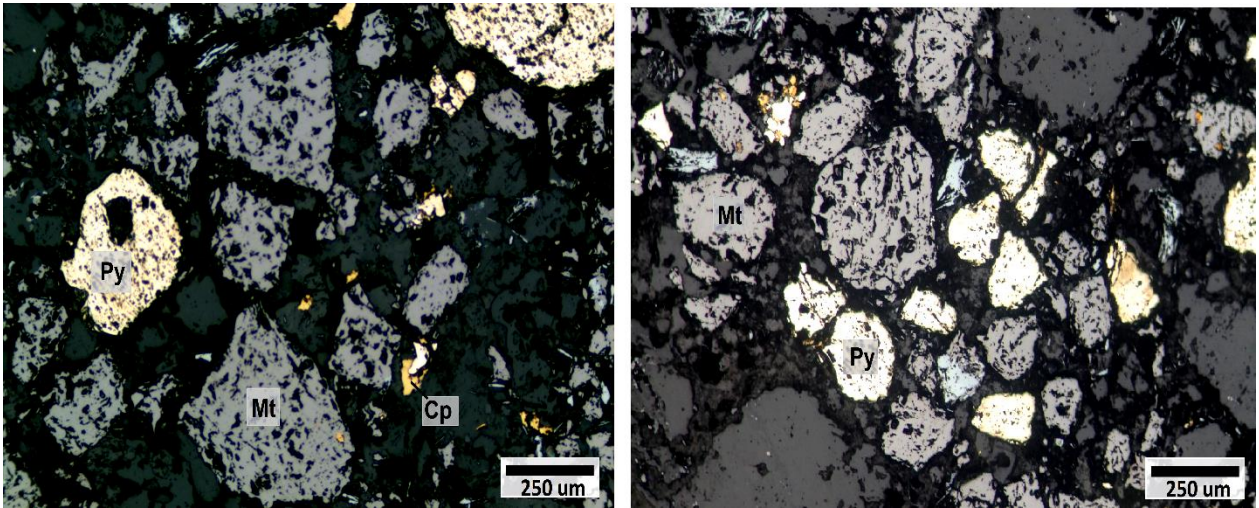


Figura 15: Fotomicrografía con cristales de pirita y magnetita I aislados con menor calcopirita. Corte 0549255, profundidad 259 metros. Nicoles paralelos, luz reflejada.

Esta etapa corresponde al evento principal de mineralización de sulfuros (Figura 16). La calcopirita, principal mineral de cobre, se observa de forma anhedral, en cúmulos, diseminada y en vetillas. En ocasiones rodeando a los cristales de pirita. Se presenta, ocasionalmente, con bornita (Figura 17). Por otro lado, a este evento se asocia feldespato potásico y biotita (Figura 18) evidenciando una alteración potásica.

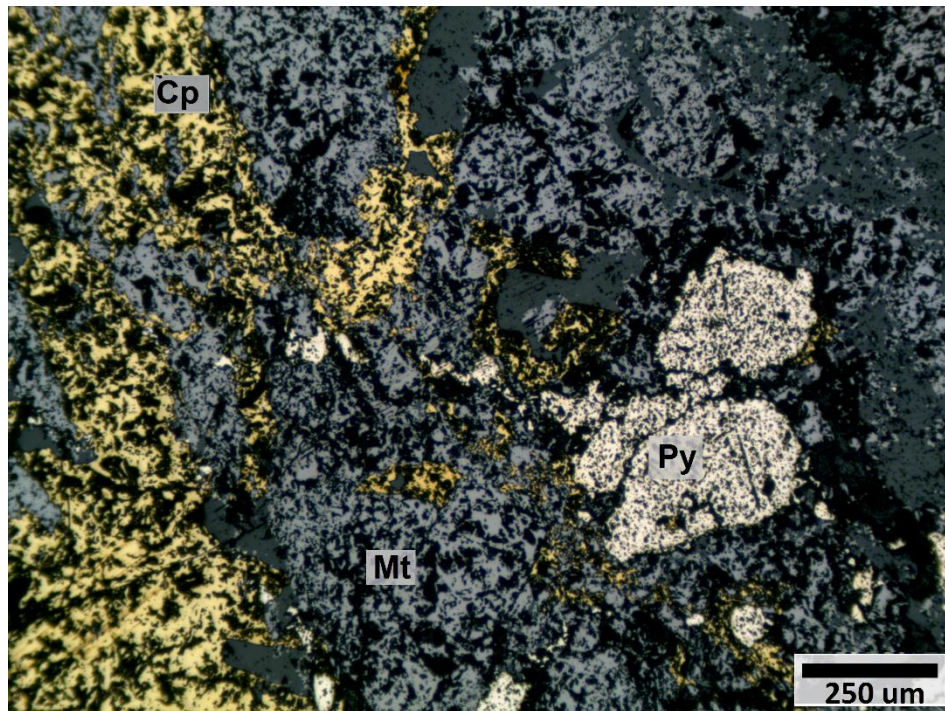


Figura 16: Fotomicrografía de magnetita con sulfuros, pirita y calcopirita. Corte 0549285, profundidad 234.8 metros. Nicoles paralelos, luz reflejada.

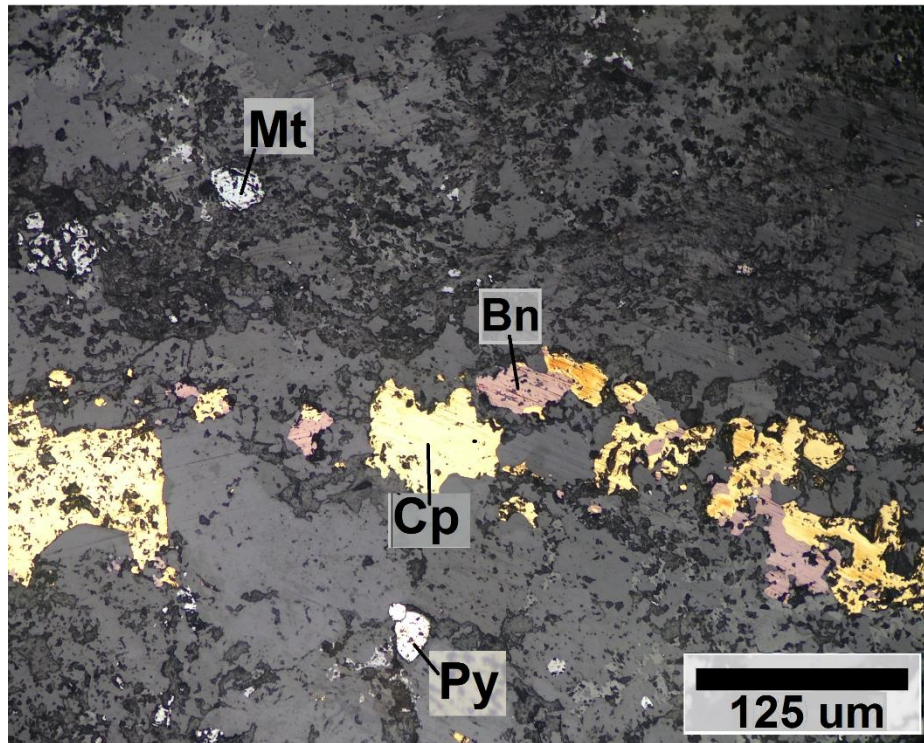


Figura 17: Fotomicrografía con calcopirita, bornita, pirita y magnetita. Corte 0549265, profundidad 258 m. Derecha, nicoles paralelos, luz reflejada.

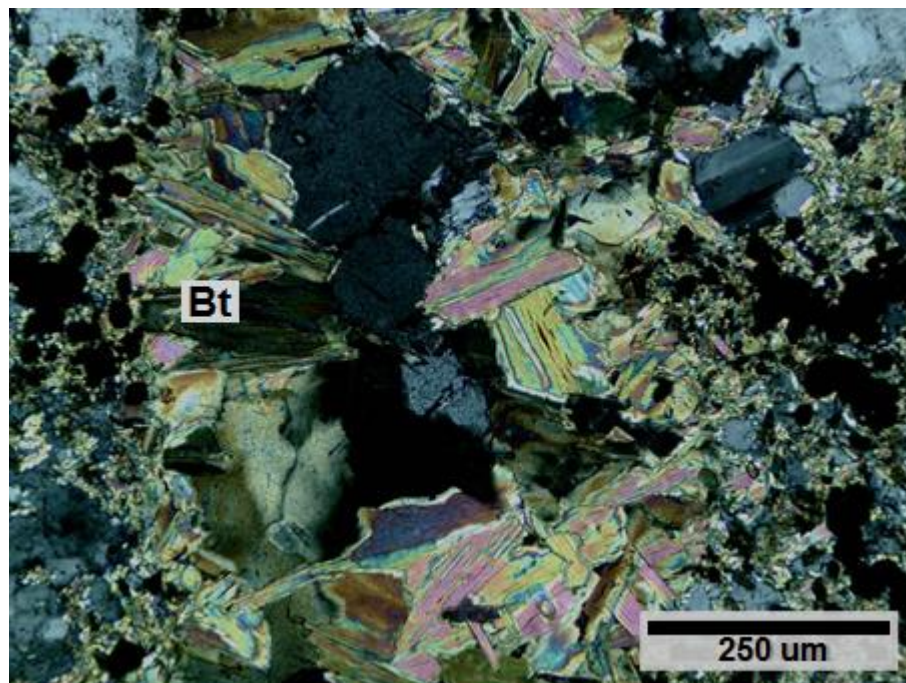


Figura 18: Fotomicrografía con biotita, feldespatos y plagioclasas de la roca original. Corte 0549283, profundidad 216 m. Nicoles cruzados, luz transmitida.

EVENTO III

El tercer evento de mineralización se caracteriza por un evento de brechización y fractura de las rocas de caja, lo que genera las brechas y stockwork hidrotermales de especularita (hematita I) con los sulfuros de cobre y pirita como clastos de la brecha o como relleno de fracturas (Figura 19).

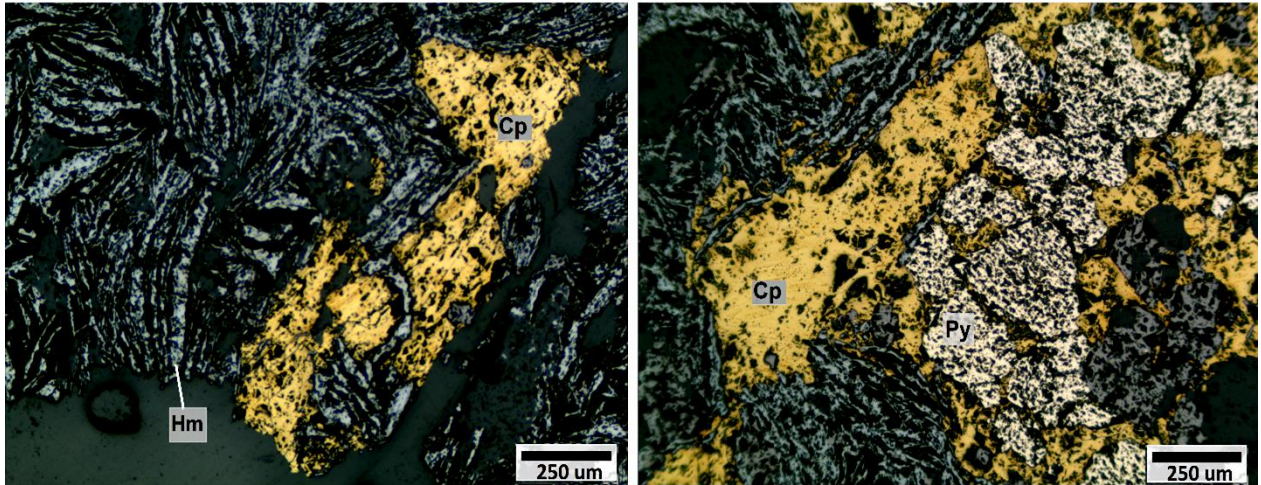


Figura 19: Fotomicrografía de brecha de especularita (Hm) con clastos de pirita (Py) y calcopirita (Cp). Muestra 0549269, sondaje ALD-1321, profundidad 193.7 metros. Nicoles paralelos, luz reflejada.

A profundidades cercanas a los 140 metros se reconoce, de forma local, reemplazo de hematita I (especular) por magnetita II formando mushketovita. Por otro lado, en este evento es posible observar alta presencia de cuarzo y sericita como reemplazo de plagioclasas, evidenciando una alteración cuarzo-sericita en la primera etapa del evento. Por otro lado, en una etapa más tardía del evento, se observa abundante cloritización (Figura 20).

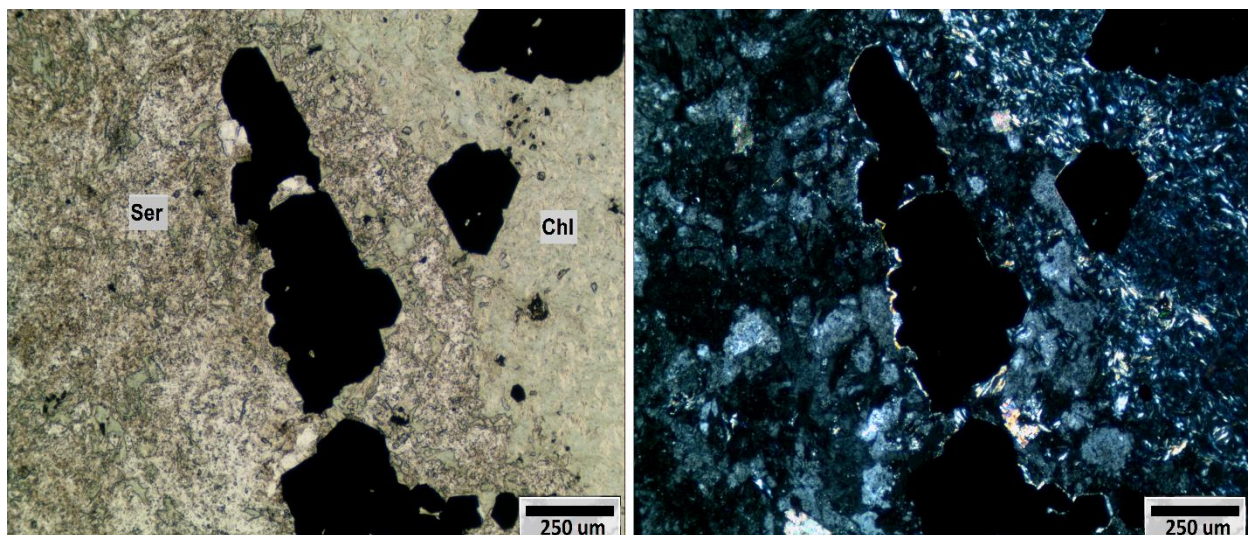


Figura 20: Fotomicrografía de cloritización. Mineral opaco corresponde a magnetita. Corte 0549277, profundidad 116.55 metros. Derecha, nicoles paralelos, izquierda, nicoles cruzados, luz transmitida.

Adicionalmente, se observa presencia de una alteración carbonatada, en la cual aparece principalmente calcita en cúmulos, de 2 a 3 mm de diámetro, y en vetillas. En vetillas la calcita se observa asociada a cuarzo y a sulfuros de cobre (calcopirita II y bornita II) (Figura 21). Estos sulfuros probablemente corresponden a sulfuros removilizados del evento principal de mineralización (Evento II). Localmente, se observa epidota asociado a calcita.

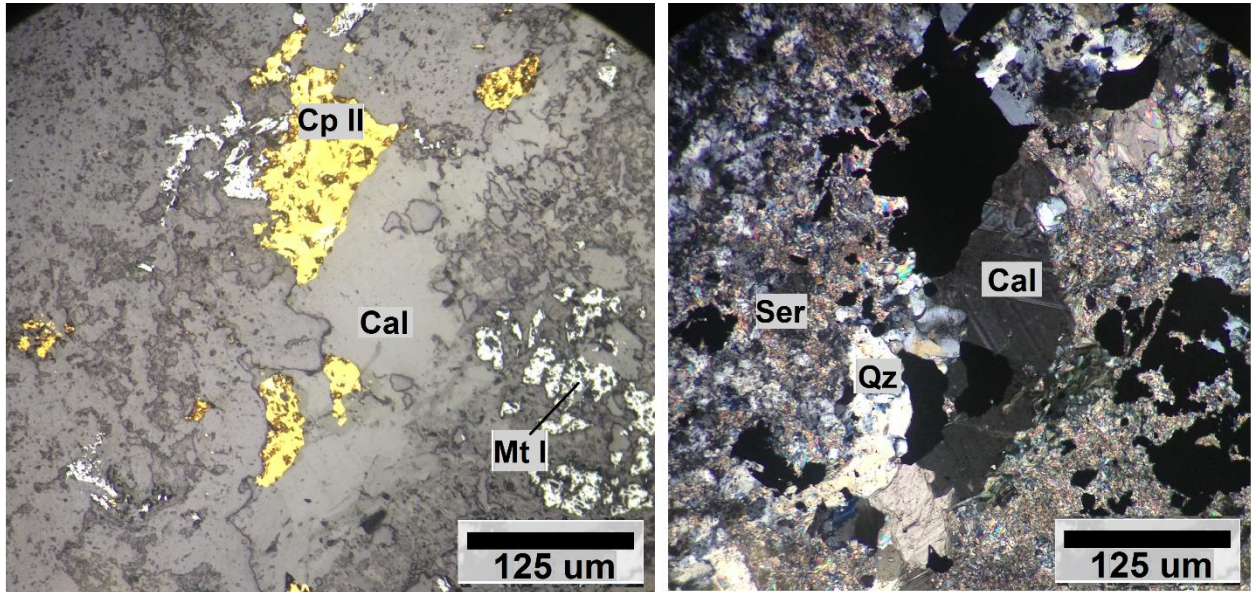


Figura 21: Fotomicrografía de vetilla de calcita con calcopirita II. Se observa magnetita II en la masa fundamental. Corte 0549268, profundidad 342.1 m. Derecha, nicoles paralelos, luz reflejada, izquierda, nicoles cruzados, luz transmitida.

En algunos cortes es posible encontrar magnetita diseminada junto a calcopirita en una matriz de turmalina (Figura 22) y turmalina en cúmulos. Esto podría indicar que la turmalina sería parte de un evento tardío, posterior a las etapas indicadas.

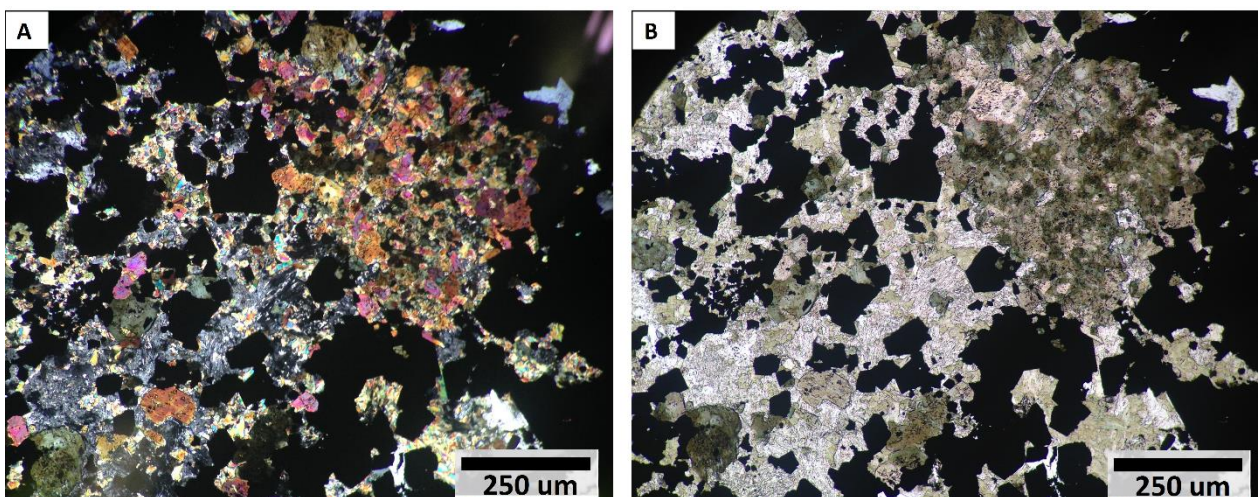


Figura 22: Fotomicrografía de turmalina con magnetita. Corte 0549276, sondaje ALD-1449, profundidad 216.15 m. En la imagen se observa turmalina, feldespato alterado y magnetita como mineral opaco. Derecha, nicoles paralelos, izquierda, nicoles cruzados, luz transmitida.

Evento IV

Por último, se reconoce un evento de carácter supérgeno y de extensión reducida. Se caracteriza por la presencia de óxidos de hierro (Figura 23) y martitización (Figura 24) y arcillas, además, existen cantidades menores de sulfuros de cobre como covelina y digenita. Como parte de este evento y en menor medida se observa la presencia de yeso.

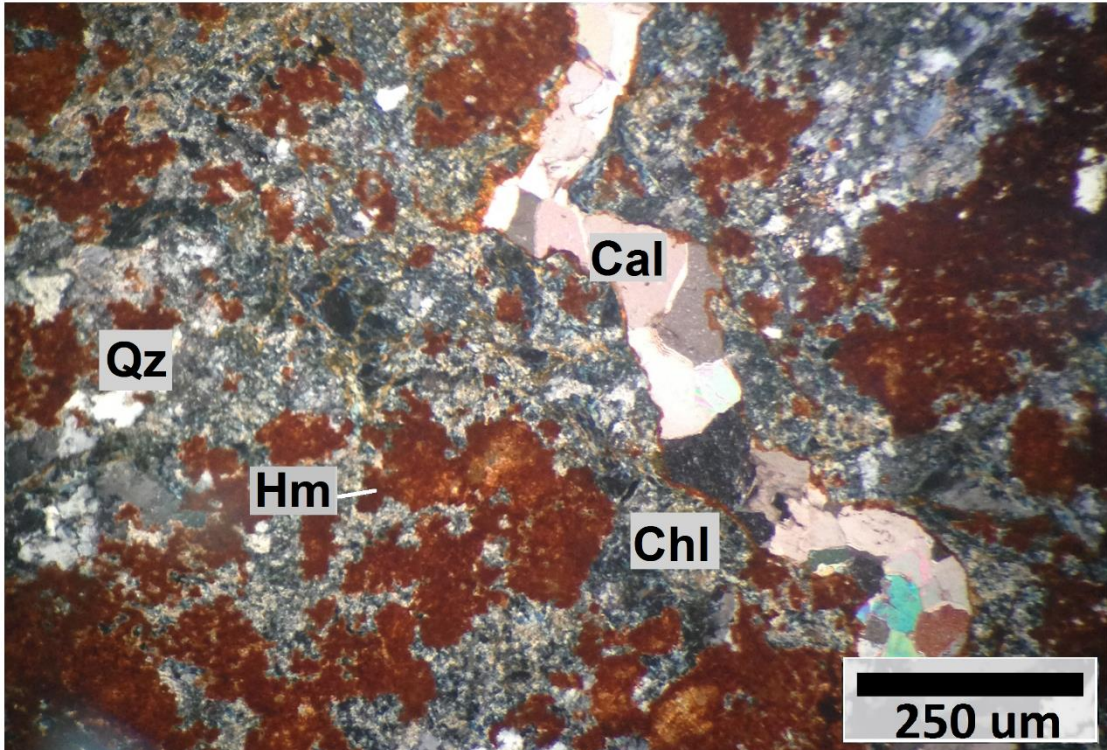


Figura 23: Fotomicrografía de alteración supérgena con hematita, clorita y vetilla de calcita. Corte 0549272, profundidad 105 m. Nícoles cruzados, luz transmitida.

A profundidades más someras que los eventos anteriores se produce el reemplazo de magnetita I por hematita II produciendo martitización (Figura 24).

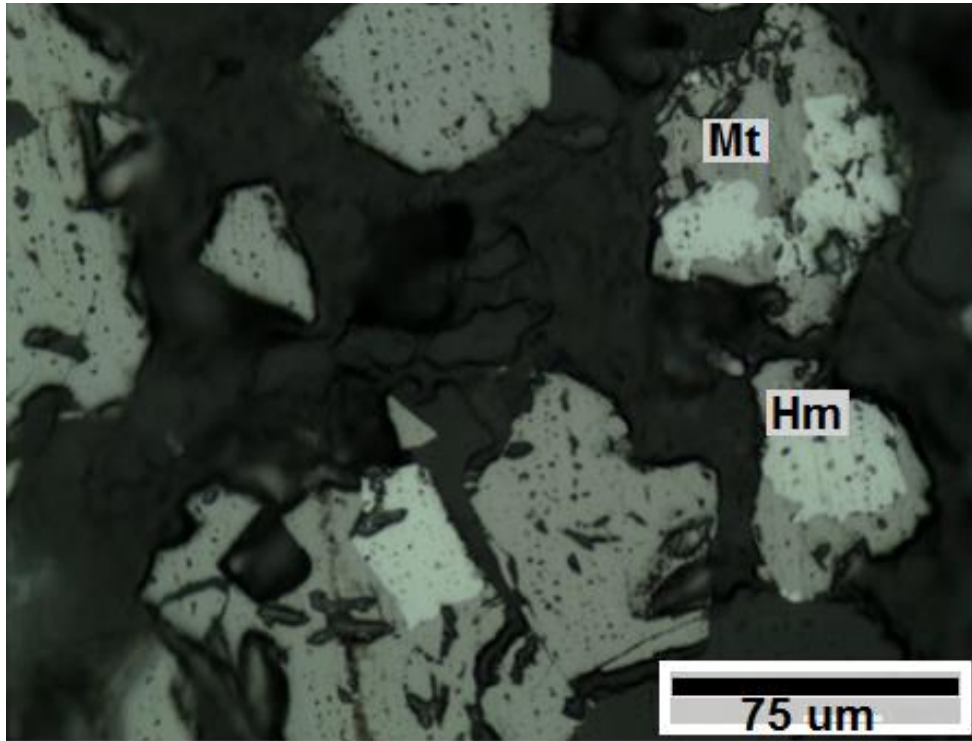


Figura 24: Fotomicrografía de proceso de martitización. Hematita II reemplazando a magnetita I. Corte 0549275, profundidad 50 metros.

4.3 SECUENCIA PARAGENÉTICA

La secuencia paragenética que define al depósito Alcaparra D se obtuvo de la revisión microscópica de 38 cortes transparentes-pulidos y se muestra en la tabla 1.

Tabla 1: Secuencia paragenética Alcaparra D

		Evento I	Evento II	Evento III IIIa IIIb	Evento IV
Minerales de mena	Pirita		-----		
	Calcopirita		-----	-----	
	Bornita		-----	-----	
	Covelina				-----
	Digenita				-----
	Hematita			----- Especularita	----- Martita
	Magnetita			----- Mushketovita	
Minerales de alteración	Feldespato K		-----		
	Biotita		-----		
	Turmalina				-----
	Clorita				-----
	Epidota			-----	
	Actinolita				
	Cuarzo		-----		
	Sericita			-----	
	Calcita			-----	
	Jarosita				-----
	Goethita				-----
	Yeso				-----

Temprano \longrightarrow Tardío

Cabe destacar que magnetita II representa el evento de mushketovitización de la hematita especular. Hematita I es la hematita especular y hematita II es la que reemplaza a magnetita I (martitización). Calcopirita II y bornita II son los minerales que se encuentran asociados a calcita en el evento III.

4.4 ISÓTOPOS DE AZUFRE

Los análisis de isótopos de azufre se realizaron en piritas de 8 muestras del prospecto Alcaparra D. Los resultados se resumen en la Tabla 2.

Tabla 2: Resultados de isótopos de azufre $\delta^{34}\text{S}$ (‰) de muestras del depósito Alcaparra D.

Muestra	Sondaje	Profundidad (m)	Zona Mineral	$\delta^{34}\text{S}$ (‰)
ALD-01	ALD-1335	67,6	Hematita	1,2
ALD-13	ALD-1335	314,25	Magnetita	0,5
ALD-21	ALD-1335	405,75	Magnetita	-0,7
ALD2-01	ALD-1215	138,4	Magnetita	-0,7
ALD2-03	ALD-1215	282,9	Magnetita	-4,0
ALD3-07	ALD-1217	103,9	Magnetita	1,3
ALD3-11	ALD-1217	143,25	Magnetita	2,2
ALD3-16	ALD-1217	247,6	Magnetita	-1,0

Los valores obtenidos varían entre -4.0‰ a 2.2 ‰ con una media de -0.9‰. Las muestras fueron tomadas desde 3 sondajes, ALD-1335, ALD-1215 y ALD-1217. En los dos primeros se aprecia una disminución del delta azufre con la profundidad, tomando un valor levemente negativo a profundidades de 400 y 280 metros, respectivamente. En el sondaje ALD-1217 los valores de delta azufre obtenido no siguen este patrón, sin embargo, el valor más negativo se obtiene a mayor profundidad.

El rango de valores obtenidos puede ser comparado con una fuente magmática que tiene rangos de delta azufre entre los -5‰ y 5‰, aproximadamente (Shanks et al., 1995; Figura 25).

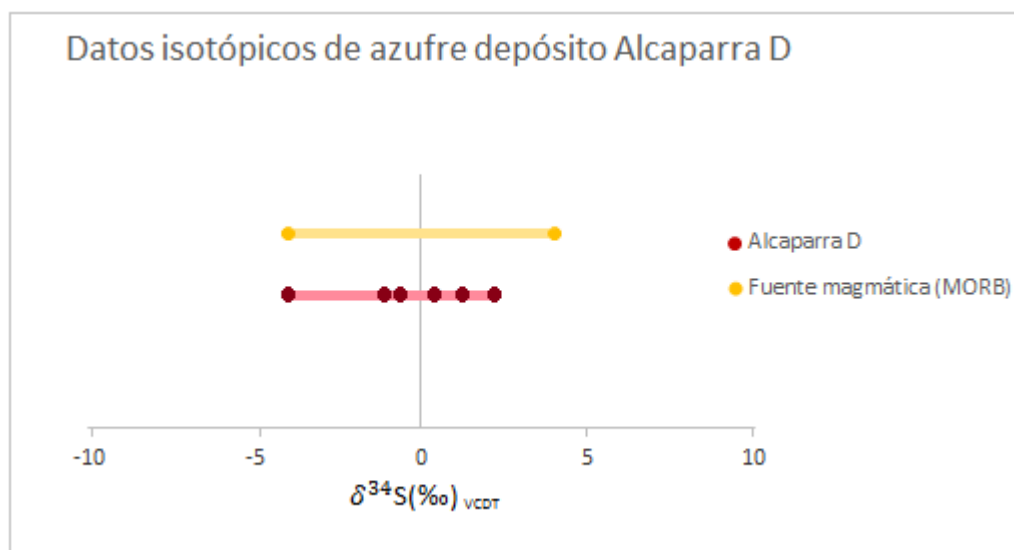


Figura 25: Datos isotópicos de azufre del depósito Alcaparra D y comparación con fuente magmática (Shanks et al., 1995)

4.5 MODELO DE MINERALIZACION

Los perfiles de leyes revisados muestran que los cuerpos de mena de hierro presentan una ley media entre 25% y 45% de hierro que localmente pueden alcanzar una ley media >45% (Figura 26).

De esta misma forma, el cuerpo de mena de Cu tiene una ley media entre 0.1% y 0.3% de Cu localmente alcanzando leyes entre 0.3% y 0.6% de Cu. (Figura 27).

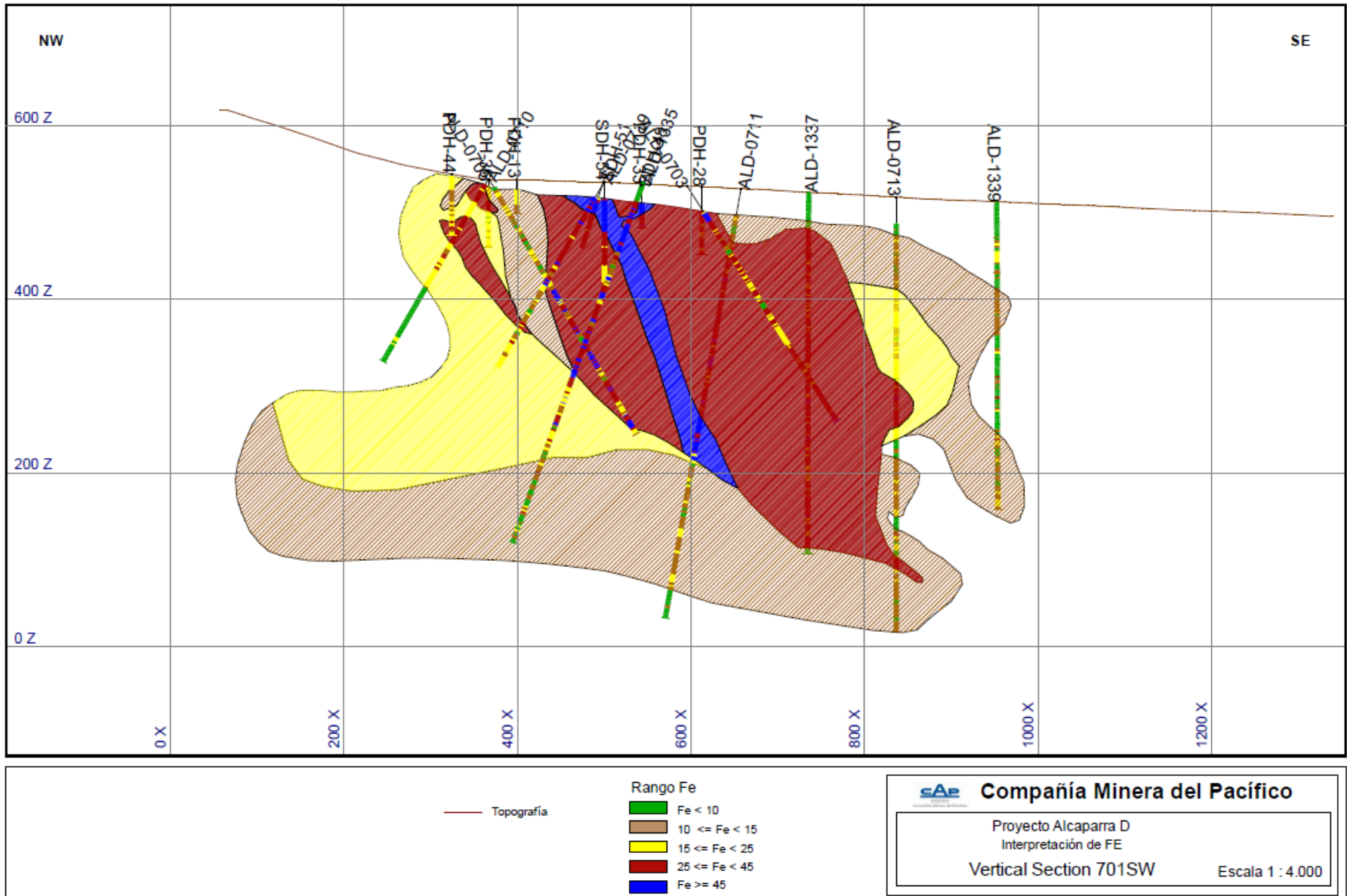


Figura 26: Sección representativa de leyes de Fe de Alcaparra D.

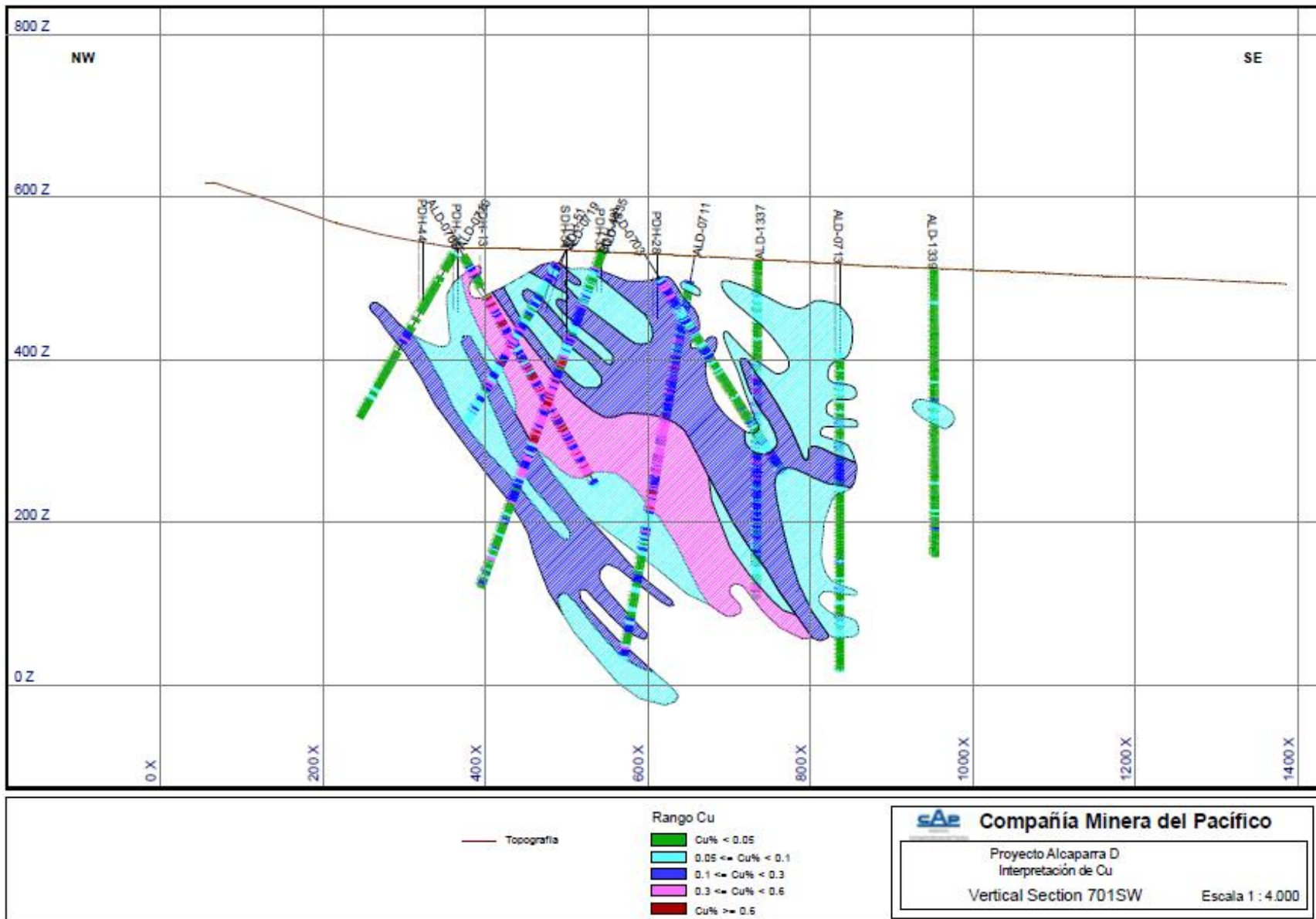


Figura 27: Sección representativa de leyes de Cu de Alcaparra D.

5. DISCUSIÓN

5.1 MINERALIZACIÓN Y ALTERACIÓN HIDROTHERMAL

A través de los estudios petrográficos y calcográficos realizados en el prospecto Alcaparra D, fue posible observar la ocurrencia de eventos de mineralización y alteración sobreimpuestos, donde se identificaron 3 eventos de mineralización y alteración de tipo magmático-hidrotermal y uno de tipo supérgeno.

El evento I se caracteriza por una asociación magnetita-actinolita la cual es una asociación característica de yacimientos tipo Kiruna o IOA y podría corresponder a la parte más profunda y magmática del sistema. La presencia de depósitos IOA ya ha sido reconocida en el distrito con los yacimientos El Algarrobo y Ojos de Agua. Este evento de posible carácter magmático gradaba hacia una zona mineral con magnetita, sulfuros y alteración potásica (evento II).

El evento II se caracteriza por la precipitación de sulfuros (pirita, calcopirita, bornita) con magnetita, asociados a una alteración potásica con biotita secundaria y feldespato potásico. Este evento se produce por enfriamiento de fluidos de alta temperatura (400-600°C), de origen magmático-hidrotermal. El pH del fluido corresponde a un pH neutro a alcalino debido a que el feldespato potásico necesita un ambiente más alcalino para su precipitación. En resumen, lo anterior indica que el fluido que generó este evento es de origen magmático-hidrotermal, exsuelto de un magma en enfriamiento, con un pH neutro-alcalino y un estado de oxidación moderado.

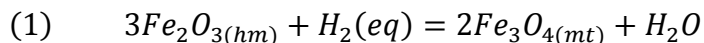
El evento III de mineralización corresponde a un evento hidrotermal restringido que produce brechas hidrotermales con matriz de hematita especular y clastos de calcopirita y pirita. El fluido que generó este evento es distinto al fluido que generó el evento anterior ya que se sobreimpone a la mineralización del evento II. Rocas mineralizadas con pirita y calcopirita son fragmentadas e incorporadas como clastos en brechas hidrotermales generadas por un fluido rico en hierro que precipita hematita especular como matriz de brecha. Esto se evidencia en las texturas, donde fracturas en los minerales del evento I y II están rellenas de hematita. La hematita especular indica un alto estado de oxidación de este fluido ya que necesita condiciones oxidantes para su generación.

A pesar de que las brechas de especularita-calcopirita se han reconocido en algunos depósitos IOCG andinos (Mantoverde, Diego de Almagro) (Barra et al., 2017) su mecanismo de formación es incierto. En Alcaparra D, la permeabilidad de las rocas encajantes (andesitas) en conjunto con las estructuras presentes en el área, como la Zona de Cizalle de Algarrobo, y las fallas asociadas a la Zona de Falla de Atacama, pueden haber tenido un rol en la canalización y ascenso de los volátiles asociados a una etapa tardimagmática y que generaron las brechas de especularita.

Las brechas de turmalina anteriormente descritas posiblemente también se relacionan a este evento tardimagmático. La presencia de turmalina, como matriz y alteración se repite en depósitos IOCG chilenos, como Candelaria y Mantoverde y su temperatura de precipitación se ha estimado entre los 400° y 600°C (Tornos et al., 2010).

Este tercer evento consta de 2 sub-eventos. Un primer sub-evento está evidenciado por sericita y cuarzo, donde el fluido es de pH ácido y generaría una hidrólisis en las rocas. La asociación sericita-cuarzo es consistente con enfriamiento de fluidos de alta temperatura, previamente calentados en equilibrio con rocas magmáticas o provenientes de un magma (De Haller y Fontboté, 2009). La segunda sub-etapa se caracterizaría por la formación de brechas de especularita y de turmalina además de cloritización, epidota y carbonatos.

En este depósito existe presencia de mushketovita, sustitución pseudomórfica de hematita por magnetita, podría ser causa de una caída en el estado redox del fluido y, según De Haller y Fontboté (2009), esta caída estaría controlada por la reacción 1:



De lo anterior se desprende que la mushketovita presente en Alcaparra D se relacionaría con un aumento en la interacción fluido-roca lo que genera la disociación de SO₂ disuelto en el fluido en HSO₄⁻² y H₂S, aumentando así el contenido de H₂ del sistema, proceso que incidiría en un aumento de temperatura, produciendo la caída del estado redox necesario para generar mushketovita (De Haller y Fontboté, 2009).

El último evento de mineralización corresponde a una alteración supérgena, donde la mineralización se caracteriza por la presencia de minerales oxidados como hematita roja, jarosita, goethita y arcillas. Estos minerales se encuentran en los niveles superiores del depósito por lo que es posible que fluidos meteóricos sólo ingresaran unas pocas decenas de metros de profundidad. Por otro lado, se observa la presencia de martita, lo cual indicaría la oxidación de magnetita por fluidos meteóricos oxidados en un ambiente supérgeno.

Las asociaciones mineralógicas observadas en Alcaparra D son similares a las identificadas en otros IOCG andinos, como Mantoverde (Rieger et al, 2010), Candelaria (Marschik y Fontboté, 2001) o Raúl Condestable (De Haller y Fontboté, 2009). Sin embargo, la secuencia paragenética de Alcaparra D, a diferencia de las anteriores, presenta un evento de brechas de hematita especular de carácter local y posterior a la precipitación de pirita y calcopirita. Por otro lado, en Alcaparra D se observa un primer evento con asociación magnetita-actinolita característica de depósitos tipo IOA.

La presencia de mushketovita, cuya ocurrencia en la secuencia paragenética es una característica común en varios depósitos IOCG como Mantoverde, Candelaria y Raúl Condestable (Rieger et al., 2010; Marschik y Fontboté, 2001; De Haller y Fontboté, 2009). La mineralización se produjo bajo condiciones oxidantes, reflejadas en la formación de hematita especular (Hm I), luego, la sustitución pseudomórfica de esta hematita especular por magnetita II (mushketovita) podría explicarse por un aumento de la temperatura del sistema y/o por la interacción con un fluido oxidado de baja temperatura (Marschik and Fontboté, 2001).

Es importante mencionar que no existe evidencia de alteración sódica típica de depósitos IOCG, lo cual puede ser posible debido a que la alteración potásica reconocida en este depósito haya sido muy pervasiva y los eventos de mineralización-alteración sobreimpuestos hayan obliterado cualquier indicio de alteración sódica.

5.2 ISÓTOPOS DE AZUFRE

Los estudios de isótopos de azufre de este trabajo fueron realizados exclusivamente en pirita. Los resultados obtenidos indican un rango acotado de valores de $\delta^{34}\text{S}$ y que el origen del azufre contenido en piritas es netamente magmático, lo que permite descartar un aporte de azufre reducido por actividad bacteriana.

En algunos sectores es posible observar que los valores de isótopos de azufre se hacen más negativos con la profundidad (sondajes ALD-1335 y ALD-1215), sin embargo, esto no es un patrón reproducible en el sondeo ALD-1217 (Figura 28).

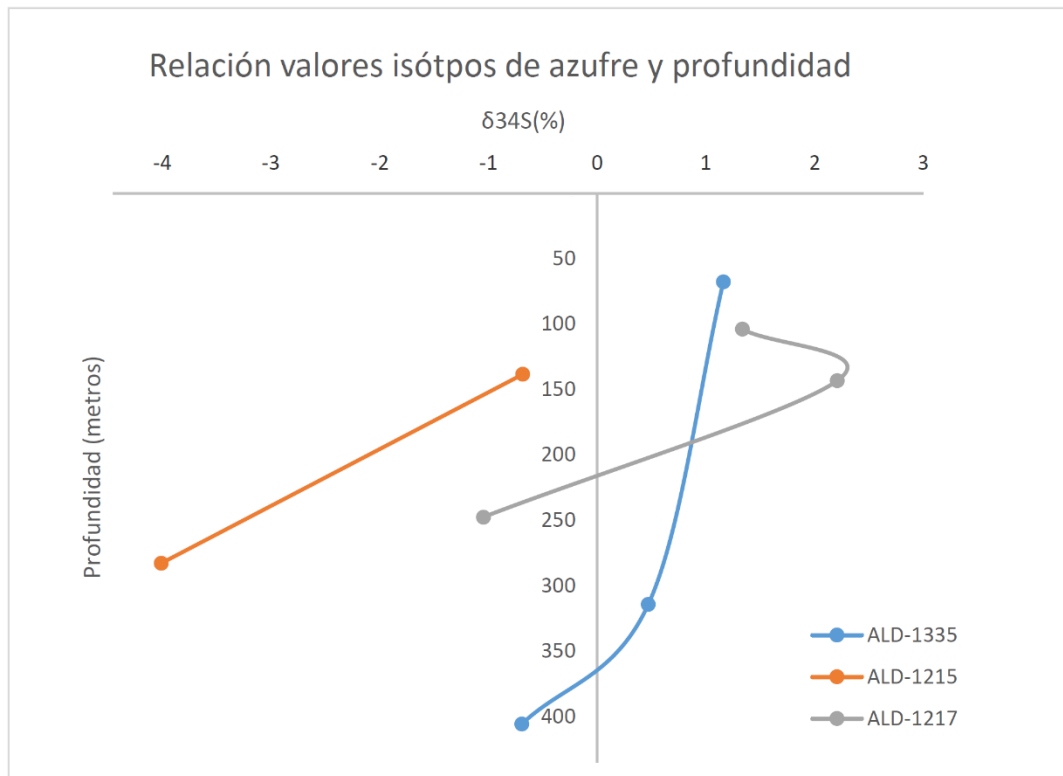


Figura 28: Gráfico valores isótopo de azufre versus profundidad.

Los sulfuros con signaturas negativas tienden a ser representativos de las zonas asociadas a magnetita, más profundas, centrales a los conductos de fluidos en sistemas IOCG, mientras que los valores más positivos ocurren en zonas dominadas por hematita, fuera de los conductos de fluidos y a niveles más someros (Rieger et al., 2010; Kovacic, 2014). En particular, en Alcaparra D, esto se cumpliría sólo para un dato con valor positivo en zona de hematita, el resto son valores de azufre en pirita en zona de magnetita presentando valores negativos y positivos.

En la Figura 29 se realiza una comparación con otros datos publicados de $\delta^{34}\text{S}$ de sulfuros correspondientes a depósitos IOCG andinos característicos de la Franja Ferrífera Chilena (Mantoverde, Candelaria, Casualidad). Para Mantoverde, caso típico de IOCG dominado por hematita especular, se observa un amplio rango de valores isotópicos estableciendo que los valores más negativos corresponden a la zona de magnetita más profunda y los valores positivos se relacionan a las brechas de especularita. La fuente de los fluidos mineralizadores se considera de procedencia magmática (Rieger et al., 2010). En el caso de Candelaria, los valores isotópicos son mayoritariamente positivos, lo cual coincide con la presencia de magnetita en las partes inferiores y el predominio de hematita en las partes superiores del depósito (Marschik et al., 2001). Por lo tanto, al comparar los resultados de Alcaparra D con estos valores, también es posible asociarlos a una fuente magmática.

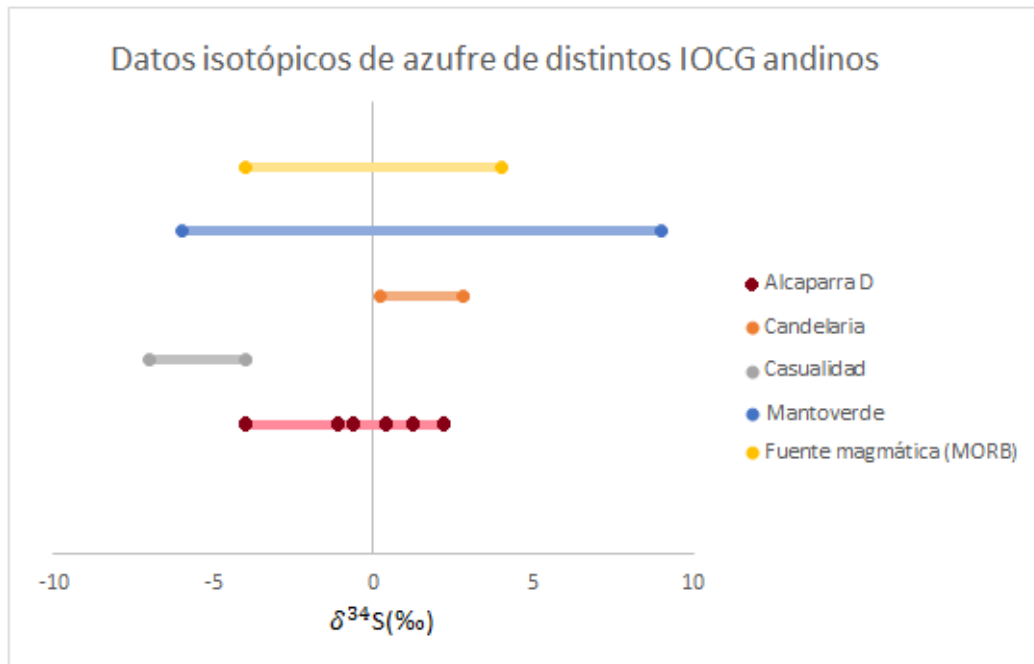


Figura 29: Datos isotópicos de azufre de distintos IOCG andinos. Fuente: Mantoverde (Rieger et al., 2010), Candelaria (Marschik, 2001), Casualidad (Kovacic, 2014).

5.3 MODELO GEOLÓGICO

El modelo litológico y de leyes de Fe y Cu muestra que la mineralización está emplazada en rocas andesíticas formando cuerpos de mineral de hierro masivo (de magnetita o hematita/martita) mantiformes. Así mismo, existe presencia importante de mineralización con textura brechosa con clastos de magnetita/martita/hematita con actinolita \pm calcopirita \pm pirita. Localmente, se aprecian brechas hidrotermales de especularita con clastos de calcopirita y pirita.

La revisión de los perfiles de leyes realizados por CAP Minería (Figura 26, 27) permite extrapolar una posible orientación NW- SE de los cuerpos de hierro. Esta dirección coincide con una falla inferida que atraviesa El Complejo Plutónico Retamilla de la misma orientación (Figura 4) (Arévalo, 2009). Esto sugiere que el control de la mineralización es una combinación entre factores estructurales y litológicos.

La relación existente entre los sondajes y el estudio de los cortes transparentes-pulidos arrojó que la alteración potásica observada se encuentra, en general, bajo los 200 metros de profundidad lo que indicaría circulación de fluidos de alta temperatura en esas profundidades. La alteración cuarzo-sericita se encuentra, en general, a una profundidad variable entre los 150 y 200 metros. Por su parte, la alteración supérgena, se encuentra en las partes más someras del depósito, entre 50 y 150 metros de profundidad. La alteración carbonatada de carácter restringido se manifiesta mayoritariamente en vetillas a distintos niveles de profundidad

La presencia de milonitas en zonas superficiales del yacimiento podría estar relacionada con un sistema de fallas cubiertas que corresponderían a la Zona de Cizalle de Algarrobo. Este sistema de fallas corresponde a un sistema de fallas transpresivo sinistral de orientación NNE, posiblemente desarrollado con posterioridad de emplazamiento a la mineralización.

5.4 RELACIÓN ENTRE DEPÓSITOS TIPO IOA Y TIPO IOCG

En Chile, los depósitos tipo IOA y tipo IOCG se encuentran en la Franja Ferrífera de la Cordillera de la Costa Chilena y están asociados a la Zona de la Falla de Atacama (Veloso et al., 2016). La ocurrencia común de este tipo de depósitos y su amplia distribución dentro de la región circum-pacífico implica que su génesis tiene relación con un margen continental y un proceso magmático-hidrotermal relacionado con la subducción (Scheuber et al., 1999).

Los depósitos tipo IOA se caracterizan por su asociación mineralógica magnetita-apatito. Según Treloar and Colley (1996), los depósitos IOA de Carmen y Fresia (ubicados en el norte de Chile entre los 26°10' y 26°20'S) se caracterizan por presentar una secuencia paragenética con una alteración propilítica, epidota y hematización. En una etapa posterior, aparecen cristales de apatito de dimensiones centimétricas con inclusiones de actinolita y magnetita.

En depósitos IOA de otras partes del mundo como Se-Chaun en Irán y Taocun en China, las secuencias paragenéticas son similares entre ellas y a los casos chilenos. Se-Chaun presenta un primer evento con alteración sódica representado por albita, seguido por un evento que precipita magnetita, apatito, actinolita y menor hematita. Finaliza con una alteración potásica y una alteración propilítica de menor temperatura (Bonyadi, 2011, Zeng et al., 2016).

Relacionando lo anterior con la mineralización presente en Alcaparra D, expuesta en la Tabla 1, esta difiere de las secuencias paragenéticas de depósitos tipo IOA expuestas previamente. No obstante, Alcaparra D presenta un primer evento con asociación magnetita-actinolita, lo que podría indicar una zona de transición entre un IOA y un IOCG. En un segundo evento de mineralización de Alcaparra D existe alteración potásica que podría haber obliterado a una posible alteración sódica de carácter primario. Por otro lado, en los estudios de Alcaparra D no se ha encontrado presencia de apatito, ya sea en las descripciones de sondajes realizados por CAP, como en las muestras estudiadas tanto macroscópicamente como microscópicamente.

Los antecedentes expuestos aquí son consistentes con lo propuesto por Knipping et al. 2015 a,b; Bilenker et al., 2016; Reich et al., 2016; Barra et al., 2017 , donde se plantea que los depósitos tipo IOA se formarían por magnetita de origen magmático que se concentra por flotación causada por fluidos hidrotermales exsueitos del magma parental. En este modelo el fluido hidrotermal forma burbujas que se adhieren a la superficie de microlitos de magnetita lo que produce el ascenso del par burbuja-magnetita dentro de la cámara magmática para su posterior precipitación a través de fracturas y debilidades corticales. Además, el fluido magmático-hidrotermal se puede enriquecer en Cl permitiendo la extracción de cantidades adicionales de Fe del magma y de otros metales como Cu y Au. Este fluido puede ascender por sobre el nivel de formación del IOA para finalmente precipitar Fe y sulfuros en zonas más someras dando origen a un IOCG (Figura 30).

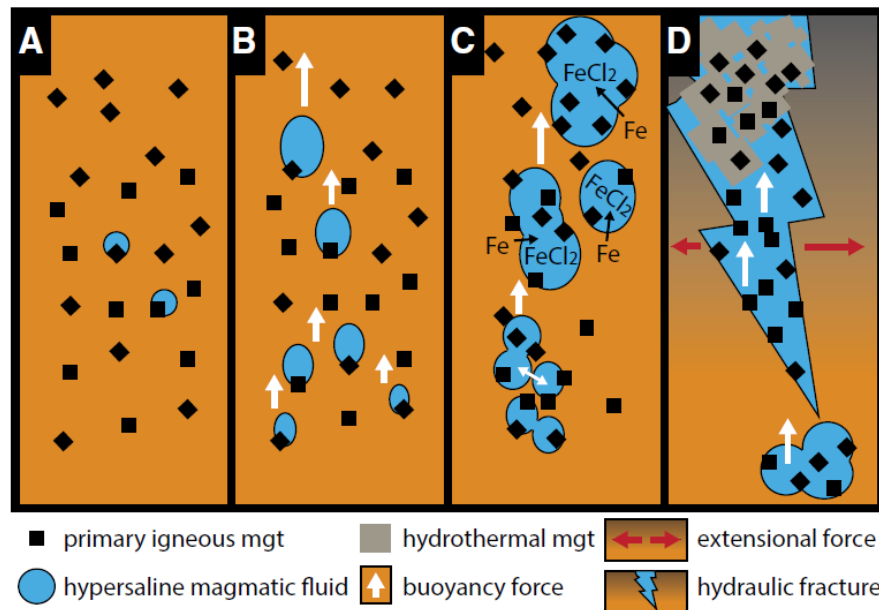
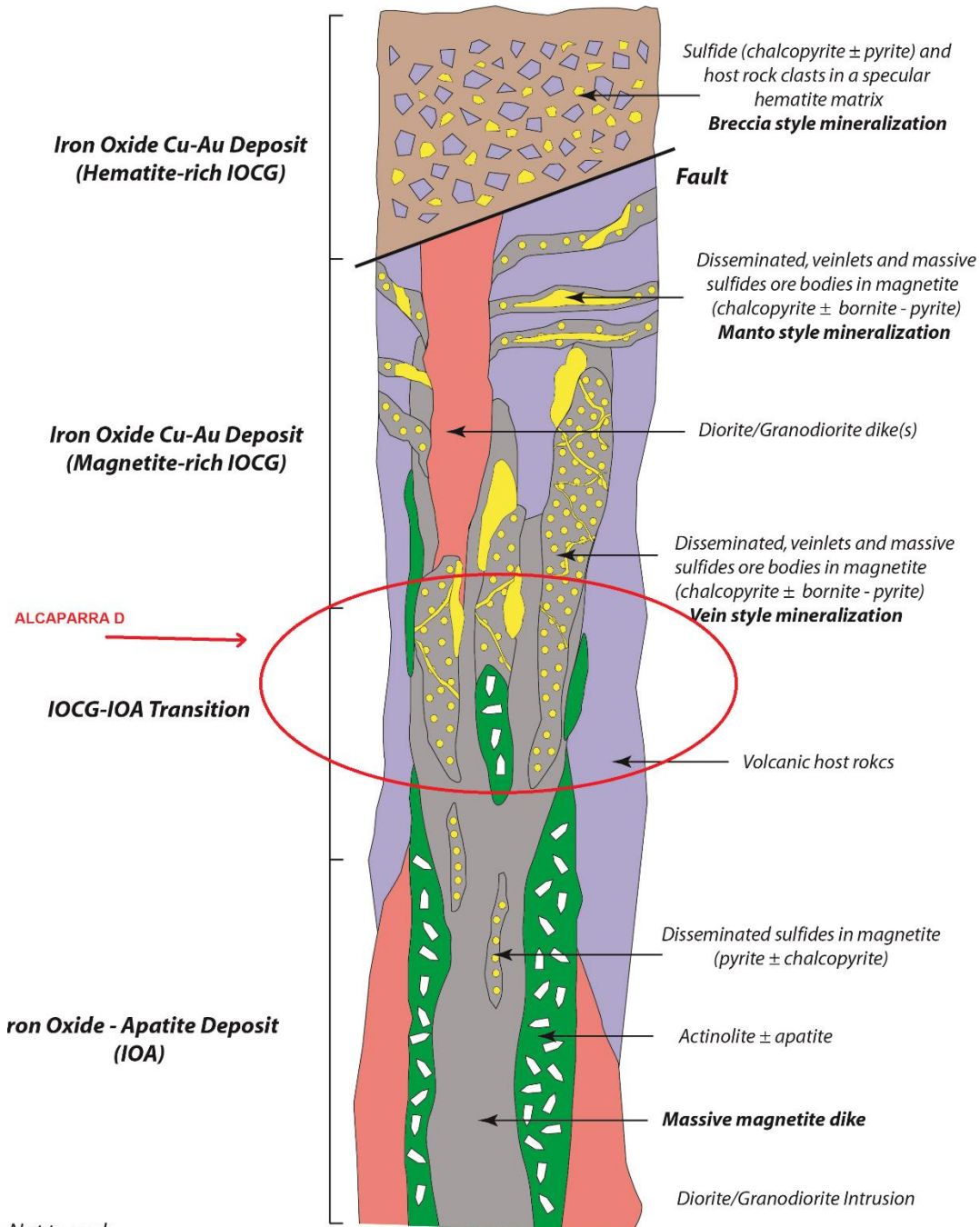


Figura 30: Modelo de formación de depósitos tipo IOA. A, microlitos de magnetita primaria a la cual se adhieren burbujas de fluido magmático en un magma parental. B, Flotación y ascenso del par burbuja- magnetita. C, enriquecimiento de Cl y extracción de Fe y otros metales durante el ascenso. D, Precipitación de magnetita hidrotermal (Knipping et al. 2015).

En el distrito El Algarrobo, al que pertenece Alcaparra D, hay presencia de depósitos tipo IOA, como El Algarrobo, Añañucas y Ojos de Agua. En particular, el depósito Ojos de Agua, se encuentra muy cerca de Alcaparra D (3.5 km al sur) y su mineralogía consiste en magnetita, hematita y apatito, además, posee cuerpos mineralizados de magnetita con cobre (Castillo, 2016).

Por lo anterior, Alcaparra D podría representar todo el espectro del clan IOCG andino a una escala reducida, con características de IOA transicional a IOCG rico en magnetita y finalmente brechas de especularita-calcopirita de poco desarrollo. En la Figura 31 se observa el modelo de zonación vertical de un depósito tipo IOA a un depósito tipo IOCG (Barra et al., 2017) en el cual se indica la posible zona de ubicación del depósito Alcaparra D. Este modelo propone un núcleo de magnetita en profundidad acompañado de actinolita y/o apatito el cual al ascender va gradando a una zona de transición con la aparición de sulfuros como calcopirita. Mas en superficie aparece la zona de IOCG rica en magnetita y en niveles más someros una zona de IOCG de brechas de especularita con sulfuros.



Not to scale

Figura 31: Modelo de zonación vertical de depósitos Tipo IOA a depósitos tipo IOCG (Barra et al., 2017).

Sin embargo, no es posible establecer una clara relación genética entre Alcaparra D y el depósito IOA Ojos de Agua, a pesar de su cercanía, ya que los cuerpos mineralizados de Alcaparra D tendrían una orientación NW-SE, lo cual es inconsistente con que Ojos de Agua sea la raíz de tipo IOA del depósito en estudio.

6. CONCLUSIÓN

Alcaparra D se ubica en la Franja Mesozoica Andina que va desde el sur de Perú hasta Chile central ubicada en la Cordillera de la Costa en la llamada Franja Ferrífera Chilena. De acuerdo con sus características mineralógicas y de alteración el prospecto representa una zona de transición entre un depósito tipo IOA de origen magmático y un IOCG de origen magmático hidrotermal con abundante magnetita masiva y hematita.

La mineralización principal, tanto de hierro como de cobre, se encuentra en rocas volcánicas de la Formación Punta del Cobre del Jurásico Superior-Cretácico Inferior. Esta unidad se encuentra intruida por el Complejo Plutónico Retamilla (127–126 Ma) y por el Complejo Plutónico La Higuera (124–122 Ma), los cuales tendrían relación con los fluidos mineralizadores de este depósito.

Todas las rocas han sido afectadas por eventos de alteración hidrotermal, y la secuencia paragenética indica que la mineralización y la alteración de Alcaparra D fue generada por 4 eventos distintos: evento I: magnetita-actinolita, evento II magnetita-sulfuros-alteración potásica, evento III: brechas de hematita especular con calcopirita y pirita. Presenta alteración sericítica, cloritización, mushketovización y vetillas de calcita±cuarzo±sulfuros. Finalmente, un evento IV supérgeno con óxidos de hierro-yeso. Por otro lado, no se observa alteración sódica (albita) característica de estos depósitos ya que los eventos de alteración posteriores son de carácter pervasivo y se sobre imponen a esta alteración.

La mena de cobre principal es calcopirita y se encuentra en andesitas, brechas de hematita especular y brechas con magnetita-actinolita±calcopirita ±pirita. La secuencia, asociación mineralógica y zonación de alteraciones es similar a lo observado en otros depósitos IOCG de la Franja Ferrífera Chilena.

De los cuerpos mineralizados, la unidad que presenta un mayor contenido de Fe, es la unidad que tiene una ley media >45% pero estos cuerpos son de tamaño reducido. De esta misma forma, los cuerpos mineralizados de Cu y que predominan contienen una ley media entre 0.1% y 0.3% de Cu seguido en abundancia por cuerpos que presentan leyes entre 0.3% y 0.6% de Cu.

Los valores de isótopos de azufre sugieren que el azufre en piritas de Alcaparra D está dominado por azufre de origen magmático al igual que en otros depósitos IOCG chilenos. Los valores negativos de isótopos de azufre están asociados a zonas dominadas por magnetita, mientras que los valores positivos se asocian a zonas dominadas por hematita.

Finalmente, se puede concluir que Alcaparra D representaría una zona de transición entre un IOA de origen magmático y un IOCG de origen magmático-hidrotermal y no se puede asegurar que exista una relación genética en la formación de Ojos de agua y Alcaparra D.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Arévalo, C.; Grocott, J.; Welkner, D. 2003. The Atacama Fault System in the Huasco Province, southern Atacama Desert, Chile. *Décimo Congreso Geológico Chileno*.
- Arévalo, C.; Mourgues, F.A.; Chávez, R. 2009. Geología del Área Vallenar-Domeyko, Región de Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile No. 120.
- Álvarez, O. 1965. Informe geológico del área Alcaparra-Vallenar. Instituto de Investigaciones Geológicas.
- Barra, F., Reich, M., Selby, D., Rojas, P., Simon, A., Salazar, E., Palma, G. 2017. Unraveling the origin of the Andean IOCG clan: A Re-Os isotope approach. *Ore Geology Reviews*, 81, 62-78.
- Barton, M. D. 2014. Iron Oxide(-Cu-Au-REE-P-Ag-U-Co) Systems. *Treatise in Geochemistry*, 13, 515-541.
- Bilenker, L.D., Simon, A.C., Reich, M., Lundstrom, C., Gajos, N., Bindeman, I., Barra, F., Munizaga, R., 2016. Fe–O stable isotope pairs elucidate a high-temperature origin of Chilean iron oxide-apatite deposits. *Geochim Cosmochim Acta* 177, 94-104.
- Bonyadi, Z.; Davidson, G.; Mehrabi, B.; Meffre, S.; Ghazban, F. 2011. Significance of apatite RWW depletion and monazite inclusions in the brecciated Se-Chahun iron oxide-apatite deposit, Bafq district, Iran: Insights from paragénesis and geochemistry. *Chemical Geology*, 281, 253-269.
- Castillo, S. 2016. Geología del depósito de mineral de hierro Ojos de Agua, mineralización, alteración, impurezas y evaluación volumétrica del recurso. Memoria de Título. Universidad de Chile, Santiago
- Charrier, R.; Pinto L.; Pía Rodríguez, M. 2007. Tectonostratigraphic evolution of the Andean Orogen in Chile. En Moreno, T. y Gibbons, W. (eds.) *The Geology of Chile*. The Geological Society, 21-114.

- De Haller, A.; Fontboté, L. 2009. The Raúl-Condestable Iron Oxide Copper- Gold Deposit, Central Coast of Perú: Ore and related hidrothermal alteration, sulfur isotopes and thermodynamic constraints. *Economic Geology*, 104, 365-384.
- Espinoza, S. 1990. The Atacama-Coquimbo Ferriferous Belt, Northern Chile. In: Fontboté L., Amstutz G.C., Cardozo M., Cedillo E., Frutos J. (eds) *Stratabound Ore Deposits in the Andes*. Special Publication No. 8 of the Society for Geology Applied to Mineral Deposits, vol 8.
- Fortín, H., 2013. *Geología Sector Alcaparra-Ojos de Agua*. Reporte interno CAP Minería.
- Hitzman, M. 2000. Iron Oxide-Cu-Au deposits: what, where, when, and why. *PGC Publishing*, 1, 9-25.
- Knipping, J.; Bilenker, L.; Simon, A.; Reich, M.; Barra, F.; Deditius, A.; Craig, L.; Bindeman. I.; Munizaga. R. 2015. Giant Kiruna-type deposits form by efficient flotation of magmatic magnetite suspensions., 43, 591-594.
- Kovacic, P. 2014. *Geología y metalogénesis del Yacimiento IOCG Casualidad, Distrito Sierra Overa, Segunda Región de Antofagasta, Chile*. Memoria de Magíster en Geología Económica. Departamento de Ciencias Geológicas, Universidad Católica del Norte, Antofagasta, Chile.
- Marschik, R.; Fontboté. L. 2001. The Candelaria-Punta del Cobre Iron Oxide Cu-Au(-Zn-Ag) Deposits, Chile. *Economic Geology*, 96, 1799-1826.
- Moscoso, R.; Nasi, C.; Salinas, P. 1982. *Geología de la Hoja de la Hoja de Vallenar y parte norte de La Serena. Regiones de Atacama y Coquimbo*. Servicio Nacional de Geología y Minería. Carta Geológica de Chile No. 55, 100.
- Mpodozis, C., and Ramos, V., 1990, *The Andes of Chile and Argentina: Circum-Pacific Council for Energy and Mineral Resources Earth Science Series*, 11, 59–90.
- Peralta, C. 1992. *Informe Geológico Alcaparra D*. Reporte interno CAP Minería.

- Reich, M.; Simon, A.C.; Deditius, A.; Barra, F.; Chryssoulis, S.; Lagas, G.; Tardani, D.; Knipping, J.L.; Bilenker, L.; Sánchez-Alfaro, P.; Roberts, M.P.; Munizaga, R.; 2016. Trace element signature of pyrite from the Los Colorados iron oxide-apatite (IOA) deposit, Chile: A missing link between Andean IOA and IOCG systems? *Econ Geol* 111, 743-761
- Rieger, A., Marschik, R., Diaz, M., Hölzl, S., Chiaradia, M., Akker, B., Spangenberg, J. 2010. The hypogene iron oxide copper-gold mineralization in the Mantoverde District, northern Chile. *Economic Geology*, 105, 1271-1299.
- Scheuber, E.; Bogdanic T.; Jensen A.; Reutter KJ. 1994. Tectonic Development of the North Chilean Andes in Relation to Plate Convergence and Magmatism Since the Jurassic. *Tectonics of the Southern Central Andes*, 121-139.
- Scheuber, E.; González, G. 1999. Tectonics of the Jurassic-Early Cretaceous magmatic arc of the north Chilean Coastal Cordillera (22°-26°S): A story of crustal deformation along a convergent plate boundary. *Tectonics* 18 (5), 895-910.
- Shanks, W.; Bohlke, J. 1995. Stable isotopes in mid-ocean ridge hydrothermal systems: Interactions between fluids, minerals and organisms. *Geophysical Monograph*, 91.
- Sillitoe, R. 2003. Iron oxide-copper-gold deposits: an Andean View. *Mineralium Deposita*, 30, 787-812.
- Tornos, F.; Velasco, F.; Barra, F.; Morata, D. 2010. The Tropezón Cu-Mo-(Au) deposit, Northern Chile: the missing link between IOCG and porphyry copper systems? *Mineralium Deposita*, 45, 313-321.
- Treloar, P.; Colley, H. 1996. Variations in F and Cl contents in apatites from magnetite-apatite ores in northern Chile, and their ore-genetic implications. *Mineralogical Magazine*, 60, 285-301.
- Veloso, E.; Cembrano, J.; Arancibia, G.; Heuser, G.; Neira, S.; Siña, A.; Garrido, I.; Vermeesch, P.; Selby, D. 2016. Tectono-metallogenetic evolution of the Fe-Cu deposit of Dominga, northern Chile. *Mineralium Deposita*, 52(4), 595-620.
- Zeng, L.; Zhao, X.; Li, X.; Hu, H.; McFarlane, C. 2016. In situ elemental and isotopic analysis of fluorapatite from the Taocun magnetite-apatite deposit, Eastern China: Constraints on fluid metasomatism. *American Mineralogist*, 101, 2468 – 2483.

ANEXOS

ANEXO A. DESCRIPCIONES MACROSCÓPICAS DE SONDAJES

Tabla 3: Descripción muestra ALD-01

Muestra: ALD - 01			
Sondaje	ALD - 1335	Profundidad	67,6 m
Tipo de Roca	Volcánica		
Textura	Afanítica		
Mineralogía			
Hematita (20%), Martita (30%), Magnetita (20%), Jarosita (28%), Pirita (2%)			
Observaciones			
Hierro macizo como matriz, roca muy alterada.			
Nombre roca	Alteración supérgena, zona oxidada		




Tabla 4: Descripción muestra ALD-02

Muestra: ALD - 02			
Sondaje	ALD - 1335	Profundidad	81,1 m
Tipo de Roca	Volcánica		
Textura	Afanítica		
Mineralogía			
Hematita (20%), Martita (30%), Magnetita (20%), Jarosita (28%), Pirita (2%)			
Observaciones			
Hierro macizo como matriz, roca muy alterada.			
Nombre roca	Alteración supérgena, zona oxidada		



Tabla 5: Descripción muestra ALD-03

Muestra: ALD - 03			
Sondaje	ALD - 1335	Profundidad	103,2 m
Tipo de Roca	Volcánica		
Textura	Afanítica		
Mineralogía			
Hematita (20%), Limonitas (30%), actinolita (5%), Arcillas (5%), Clorita (3%), Calcita (2%)			
Observaciones			
Calcita y arcillas en vetillas, matriz obliterada.			
Alteración	Propilítica		




Tabla 6: Descripción muestra ALD-04

Muestra: ALD - 04			
Sondaje	ALD - 1335	Profundidad	115,5 m
Tipo de Roca	Volcánica		
Textura	Afanítica		
Mineralogía			
Magnetita (40%), Hematita (15%), Martita (10%), Jarosita (10%), Calcita (5%), Actinolita (5%)			
Observaciones			
Magnetita masiva			
Alteración	Propilítica		



Tabla 7: Descripción muestra ALD-05

Muestra: ALD - 05			
Sondaje	ALD - 1335	Profundidad	135,25 m
Tipo de Roca	Volcánica		
Textura	Afanítica		
Mineralogía			
Magnetita (30%), Pirita (10%), Actinolita (10%), Arcillas (10%), Limonitas (5%)			
Observaciones			
Magnetita masiva. Zona de fractura			
Nombre roca	Hierro macizo		



Tabla 8: Descripción muestra ALD-06

Muestra: ALD - 06			
Sondaje	ALD - 1335	Profundidad	158,25 m
Tipo de Roca	Volcánica		
Textura	Afanítica		
Mineralogía			
Magnetita (40%), Actinolita (15%), Pirita (10%), Apatito (2%)			
Observaciones			
Magnetita masiva			
Nombre roca	Hierro macizo		



Tabla 9: Descripción muestra ALD-07

Muestra: ALD - 07			
Sondaje	ALD - 1335	Profundidad	179,35 m
Tipo de Roca	Volcánica		
Textura	Afanítica		
Mineralogía			
Magnetita (40%), Pirita (10%), Actinolita (10%), Actinolita (10%), Calcopirita (5%)			
Observaciones			
Magnetita masiva, no presenta alteración.			



Tabla 10: Descripción muestra ALD-08

Muestra: ALD - 08			
Sondaje	ALD - 1335	Profundidad	204,55 m
Tipo de Roca	Volcánica		
Textura	Afanítica		
Mineralogía			
Magnetita (25%), Calcopirita (10%), Pirita (10%), Actinolita (10%)			
Observaciones			
Muestra es parte de una zona de falla			
Nombre roca	Brecha magnetita actinolita		



Tabla 11: Descripción muestra ALD-09

Muestra: ALD - 09			
Sondaje	ALD - 1335	Profundidad	220 m
Tipo de Roca	Volcánica		
Textura	Afanítica		
Mineralogía			
Magnetita (30%), Actinolita (20%), Pirita (15%), Calcopirita (10%), Arcillas (5%), Carbonatos (5%)			
Observaciones			
Magnetita masiva. Muestra en zona de falla.			
Nombre roca	Brecha magnetita actinolita		



Tabla 12: Descripción muestra ALD-10

Muestra: ALD -10			
Sondaje	ALD - 1335	Profundidad	243,1 m
Tipo de Roca	Volcánica		
Textura	Afanítica		
Mineralogía			
Magnetita (30%), Pirita (25%), Calcopirita (20%), Actinolita (20%)			
Observaciones			
Roca se encuentra en zona de falla			
Nombre roca	Brecha magnetita actinolita		



Tabla 13: Descripción muestra ALD-11

Muestra: ALD - 11			
Sondaje	ALD - 1335	Profundidad	263,55 m
Tipo de Roca	Volcánica		
Textura	Afanítica		
Mineralogía			
Magnetita (40%), Actinolita (20%), Pirita (20%), Calcopirita (10%), Calcita (10%)			
Observaciones			
Zona de fractura			
Nombre roca	Brecha magnetita actinolita		



Tabla 14: Descripción muestra ALD-12

Muestra: ALD - 12			
Sondaje	ALD - 1335	Profundidad	314,25 m
Tipo de Roca	Volcánica		
Textura	Afanítica		
Mineralogía			
Magnetita (30%), Actinolita (25%), Pirita (10%), Calcopirita (10%), Calcita (10%),			
Observaciones			
Roca en zona de falla.			
Nombre roca	Brecha magnetita actinolita		



Tabla 15: Descripción muestra ALD-13

Muestra: ALD - 13			
Sondaje	ALD - 1335	Profundidad	314,25 m
Tipo de Roca	Volcánica		
Textura	Afanítica		
Mineralogía			
Magnetita (30%), Pirita (20%), Calcita (10%), Actinolita (20%)			
Observaciones			
Magnetita masiva			
Nombre roca	Brecha magnetita actinolita		



Tabla 16: Descripción muestra ALD-14

Muestra: ALD - 14			
Sondaje	ALD - 1335	Profundidad	336,45 m
Tipo de Roca	Volcánica		
Textura	Afanítica		
Mineralogía			
Magnetita (15%), Feld-k (20%), Actinolita (20%), Pirita (10%), Calcopirita (10%), Calcita (5%), Clorita (5%)			
Observaciones			
Vetillas de calcita. Zona de fractura.			
Alteración	Alteración propiítica		
Nombre roca	Milonita		



Tabla 17: Descripción muestra ALD-15

Muestra: ALD - 15			
Sondaje	ALD - 1335	Profundidad	338,4 m
Tipo de Roca	Volcánica		
Textura	Afanítica		
Mineralogía			
Magnetita (15%), Feld-K (15%), Calcopirita (10%), Pirita (10%), Calcita (10%), Actinolita (5%), Albita (5%)			
Observaciones			
Vetilla de pirita. Zona de fractura			
Alteración	Alteración Calco-sódica		
Nombre roca	Milonita		



Tabla 18: Descripción muestra ALD-17

Muestra: ALD - 17			
Sondaje	ALD - 1335	Profundidad	362,4 m
Tipo de Roca	Volcánica		
Textura	Afanítica		
Mineralogía			
Feld-K (20%), Magnetita (20%), Actinolita (20%), Pirita (10%), Calcita (10%), Epidota (5%)			
Observaciones			
Muestra de zona brechizada			



Tabla 19: Descripción muestra ALD-18

Muestra: ALD - 18			
Sondaje	ALD - 1335	Profundidad	380,3 m
Tipo de Roca	Volcánica		
Textura	Afanítica		
Mineralogía			
Feld-K (20%), Magnetita (15%), Pirita (10%), Calcita (10%), Calcopirita (3%), Actinolita (3%)			
Observaciones			
Vetillas de Feld-K, Calcita, pirita			
Alteración	Alteración potásica		



Tabla 20: Descripción muestra ALD-19

Muestra: ALD - 19			
Sondaje	ALD - 1335	Profundidad	386,4 m
Tipo de Roca	Volcánica		
Textura	Afanítica		
Mineralogía			
Magnetita (15%), Feld-K (15%), Calcita (10%), Pirita (10%), Actinolita (10%)			
Observaciones			
Roca en zona de cataclasitas			
Alteración	Alteración potásica		



Tabla 21: Descripción muestra ALD-20

Muestra: ALD - 20			
Sondaje	ALD - 1335	Profundidad	400,2 m
Tipo de Roca	Volcánica		
Textura	Afanítica		
Mineralogía			
Magnetita (20%), Actinolita (20%), Pirita (10%), Calcopirita (10%), Calcita (5%), Cuarzo (5%)			




Tabla 22: Descripción muestra ALD-21

Muestra: ALD - 21			
Sondaje	ALD - 1335	Profundidad	405,75
Tipo de Roca	Volcánica		
Textura	Afanítica		
Mineralogía			
Magnetita (25%), Calcopirita (20%), Actinolita (20%), Pirita (10%), Calcita (5%), Plagioclasas (Ab) (3%)			
Observaciones			
Sulfuros de hasta 1 cm.			
Alteración	Alteración calco-sódica		




Tabla 23: Descripción muestra ALD-22

Muestra: ALD - 22			
Sondaje	ALD - 1335	Profundidad	421,45 m
Tipo de Roca	Volcánica		
Textura	Afanítica		
Mineralogía			
Magnetita (20%), Pirita (15%), Feld-K (10%), Actinolita (10%), Calcita (5%)			
Observaciones			
Muestra en zona de cataclasitas			



Tabla 24: Descripción muestra ALD-23

Muestra: ALD - 23			
Sondaje	ALD - 1335	Profundidad	435,55 m
Tipo de Roca	Volcánica		
Textura	Afanítica		
Mineralogía			
Magnetita (20%), Actinolita (15%), Pirita (5%), Calcita (5%), Actinolita(5%), Arcillas (5%)			
Observaciones			
Vetillas con actinolita. Arcilla en vetillas. Muestra en zona de cataclasitas			



Tabla 25: Descripción muestra ALD2-01

Muestra: ALD2 - 01			
Sondaje	ALD - 1215	Profundidad	138,4 m
Tipo de Roca	Volcánica		
Textura	Afanítica		
Mineralogía			
Magnetita (40%), Pirita (10%), Calcita (5%),			
Observaciones			
Magnetita masiva			
Nombre roca	Hierro macizo		



Tabla 26: Descripción muestra ALD2-02

Muestra: ALD2 - 02			
Sondaje	ALD - 1215	Profundidad	237,1 m
Tipo de Roca	Volcánica		
Textura	Afanítica		
Mineralogía			
Magnetita (35%), Actinolita (20%), Pirita (15%)			
Observaciones			
Roca en zona brechizada			
Nombre roca	Brecha magnetita actinolita		



Tabla 27: Descripción muestra ALD2-03

Muestra: ALD2 - 03			
Sondaje	ALD - 1215	Profundidad	282,9 m
Tipo de Roca	Volcánica		
Textura	Afanítica		
Mineralogía			
Magnetita (40%), Actinolita (20%), Pirita(15%), Calcopirita (15%),			
Observaciones			
Roca en zona brechizada			
Nombre roca	Brecha magnetita actinolita		



Tabla 28: Descripción muestra ALD2-04

Muestra: ALD2 - 04			
Sondaje	ALD - 1215	Profundidad	332,75 m
Tipo de Roca	Volcánica		
Textura	Afanítica		
Mineralogía			
Magnetita (40%), Actinolita (30%), Pirita (20%), Calcopirita (15%), Calcita			
Observaciones			
Brecha magnetita-actinolita con pirita y clastos de andesita			
Nombre roca	Brecha Magnetita Actinolita		



Tabla 29: Descripción muestra ALD3-05

Muestra: ALD3-05			
Sondaje	ALD - 1217	Profundidad	31,25 m
Tipo de Roca	Volcánica		
Textura	Afanítica		
Mineralogía			
Martita (30%), Hematita (20%), Arcillas (15%), Limonita (10%), Actinolita (10%)			
Observaciones			
Roca alterada con abundantes óxidos de hierro			
Alteración	Alteración supérgena		
Nombre roca	Andesita		



Tabla 30: Descripción muestra ALD3-06

Muestra: ALD3-06			
Sondaje	ALD - 1217	Profundidad	87 m
Tipo de Roca	Volcánica		
Textura	Afanítica		
Mineralogía			
Magnetita (15%), Arcillas (15%), Pirita (15%), Actinolita (15%), Clorita			
Observaciones			
Pirita diseminada. Relictos de cristales de plagioclasas			
Nombre roca	Andesita		



Tabla 31: Descripción muestra ALD3-07

Muestra: ALD3-07			
Sondaje	ALD - 1217	Profundidad	103,9 m
Tipo de Roca	Volcánica		
Textura	Afanítica		
Mineralogía			
Magnetita (15%), Pirita (15%), Actinolita (10%), Plagioclasas (10%)			
Observaciones			
Pirita de hasta 3 cm			
Nombre roca	Andesita		



Tabla 32: Descripción muestra ALD3-08

Muestra: ALD3-08			
Sondaje	ALD - 1217	Profundidad	119,4 m
Tipo de Roca	Volcánica		
Textura	Fanerítica		
Mineralogía			
Magnetita (25%), Pirita (20%), Actinolita (15%), Cuarzo (5%), Plagioclasa (5%)			
Observaciones			
Pirita hasta 1,5 cm. Roca en zona de deformación dútil a frágil			



Tabla 33: Descripción muestra ALD3-09

Muestra: ALD3 - 09			
Sondaje	ALD - 1217	Profundidad	123,1 m
Tipo de Roca	Volcánica		
Textura	Afanítica a fanerítica		
Mineralogía			
Actinolita (15%), Feld-K (10%), Magnetita (10%), Carbonatos, Cuarzo (10%)			
Observaciones			
Poca magnetita en matriz			
Nombre roca	Andesita		




Tabla 34: Descripción muestra ALD3-10

Muestra: ALD3 - 10			
Sondaje	ALD - 1217	Profundidad	137,2 m
Tipo de Roca	Volcánica		
Textura	Afanítica		
Mineralogía			
Magnetita (10%), Pirita (10%), Actinolita (10%), Cuarzo (5%), Calcita (5%)			
Observaciones			
Cuazo en vetillas, calcita en vetillas			
Nombre roca	Andesita		



Tabla 35: Descripción muestra ALD3-11

Muestra: ALD3 - 11			
Sondaje	ALD - 1217	Profundidad	143,25 m
Tipo de Roca	Volcánica		
Textura	Afanítica		
Mineralogía			
Magnetita (15%), Actinolita (20%), Feld-K (10%), Calcopirita (10%), Pirita (15%), Calcita (5%)			
Observaciones			
Feldespato y carbonatos en vetillas			
Nombre roca	Andesítica		




Tabla 36: Descripción muestra ALD3-12

Muestra: ALD3 -12			
Sondaje	ALD - 1217	Profundidad	175,85 m
Tipo de Roca	Volcánica		
Textura	Afanítica		
Mineralogía			
Magnetita (20%), Calcopirita (20%), Pirita (20%), Calcopirita (20%), Feld-K (15%), Actinolita (5%)			
Nombre roca	Andesita		




Tabla 37: Descripción muestra ALD3-13

Muestra: ALD3-13			
Sondaje	ALD - 1217	Profundidad	200,9 m
Tipo de Roca	Volcánica		
Textura	Afanítica		
Mineralogía			
Magnetita (15%), Pirita (10%), Feld-K (5%), Qz (3%)			
Observaciones			
Carbonato en vetillas			
Nombre roca	Andesita		



Tabla 38: Descripción muestra ALD3-14

Muestra: ALD3-14			
Sondaje	ALD - 1217	Profundidad	224,5 m
Tipo de Roca	Volcánica		
Textura	Fanerítica		
Mineralogía			
Feld-K (25%), Magnetita (15%), Pirita (15%), Actinolita (10%), Calcita (5%), Albita (5%)			
Observaciones			
Calcita en vetillas			
Alteración	Alteración propilítica		
Nombre roca	Andesita		



Tabla 39: Descripción muestra ALD3-15

Muestra: ALD3-15			
Sondaje	ALD - 1217	Profundidad	241,3 m
Tipo de Roca	Volcánica		
Textura	Afanítica		
Mineralogía			
Feld-K (30%), Magnetita (15%), Pirita (5%), Actinolita (5%), Plagioclasas (5%), Carbonatos (3%)			
Observaciones			
Magnetita diseminada, carbonato en vetillas			
Alteración	Alteración potásica		
Nombre roca	Andesita		




Tabla 40: Descripción muestra ALD3-16

Muestra: ALD3-16			
Sondaje	ALD - 1217	Profundidad	247,6 m
Tipo de Roca	Volcánica		
Textura	Afanítica		
Mineralogía			
Feld-K (30%), Magnetita (15%), Pirita (15%), Actinolita (10%)			
Observaciones			
Pirita masiva de hasta 3 cm			
Alteración	Alteración Potásica		
Nombre roca	Andesita		



Tabla 41: Descripción muestra ALD3-17

Muestra: ALD3-17			
Sondaje	ALD - 1217	Profundidad	267,65 m
Tipo de Roca	Volcánica		
Textura	Afanítica		
Mineralogía			
Magnetita (20%), Pirita (20%), Actinolita (10%), Feld-K (5%), Cuarzo (3%),			
Observaciones			
Pirita masiva de hasta 2 cm			
Nombre roca	Brecha actinolita- Magnetita		



Tabla 42: Descripción muestra ALD3-18

Muestra: ALD3-18			
Sondaje	ALD - 1217	Profundidad	287,7 m
Tipo de Roca	Volcánica		
Textura	Afanítica		
Mineralogía			
Magnetita (30%), Pirita (25%), Actinolita (10%), Calcita (3%)			
Observaciones			
Calcita en vetillas			
Nombre roca	Andesita		




Tabla 43: Descripción muestra ALD3-19

Muestra: ALD3-19			
Sondaje	ALD - 1217	Profundidad	291,2 m
Tipo de Roca	Volcánica		
Textura	Afanítica		
Mineralogía			
Magnetita (25%), Pirita (20%), Actinolita (15%)			
Observaciones			
Actinolita de grano fino			
Nombre roca	Brecha actinolita- Magnetita		



Tabla 44: Descripción muestra ALD3-20

Muestra: ALD3-20			
Sondaje	ALD - 1217	Profundidad	325,85 m
Tipo de Roca	Volcánica		
Textura	Afanítica		
Mineralogía			
Magnetita (15%), Actinolita (15%), Piritita (10%)			
Observaciones			
Vetillas de cuarzo			
Nombre roca	Andesita		



ANEXO B. MUESTRAS CORTES TRANSPARENTES PULIDOS

a. Resumen información cortes transparentes-pulidos

Tabla 45: Listado muestras estudiadas en cortes transparentes-pulidos

Nº Muestra	Sondaje	Profundidad (m)	Coordenada E	Coordenada N	Cota (m)	Litología
549251	ALD0727	331,5	312.994,90	6.829.944,10	214,3	Andesita porfírica
549252	ALD0727	57,5	313.121,60	6.829.890,30	452,6	Andesita?
549253	ALD0833	259,2	312.712,10	6.829.715,90	308,4	Magnetita-Actinolita masiva
549254	ALD0833	410,15	312.642,60	6.829.745,40	177,7	intrusivo granítico?
549255	ALD0841	259,1	313.254,30	6.830.233,80	271,2	Andesita porfírica
549255 B	ALD0841	259	313.254,30	6.830.233,80	271,2	?
549256	ALD0844	33,6	313.120,60	6.830.073,90	469,2	?
549257	ALD1204	73,9	312.620,30	6.829.489,80	489,5	Brecha volcánica ?
549258	ALD1204	144,5	312.594,90	6.829.500,60	426,8	Andesita porfírica?
549259	ALD1204	280,55	312.545,90	6.829.522,80	301,2	Magnetita-Actinolita masiva
549260	ALD0720	64,85	312.811,00	6.829.774,60	469,8	Andesita porfírica
549261	ALD0708	188,55	312.569,90	6.829.731,00	358,9	Magnetita-Actinolita masiva
549262	ALD1208	324,5	312.939,40	6.829.834,90	205,5	Diorita?
549263	ALD1210	368,65	312.824,30	6.829.303,80	178,5	Andesita porfírica
549264	ALD1211	43,3	312.805,80	6.829.062,70	512,5	Diorita ?
549265	ALD1213	258,9	312.983,90	6.829.334,40	277,3	Andesita porfírica
549266	ALD1214	207,2	312.516,90	6.829.895,40	357,9	Andesita porfírica
549267	ALD1216	94,15	312.473,00	6.829.551,60	485,4	Andesita porfírica
549268	ALD1218	342,1	312.635,90	6.829.009,90	246,6	Diorita?
549269	ALD1321	193,7	312.706,80	6.829.993,40	371,1	Brecha hematita especular
549270	ALD1321	322,25	312.634,90	6.830.029,00	270	Andesita porfírica
549271	ALD1325	94,75	312.740,40	6.828.980,10	468,6	Basalto de piroxeno
549272	ALD1326	105,7	313.168,10	6.829.719,70	404,7	?
549273	ALD1334	334,6	312.996,80	6.829.440,30	198,8	?
549274	ALD1336	329,9	312.455,30	6.829.573,40	265,6	?
549275	ALD1444M	50,4	312.832,30	6.829.666,10	485	Andesita porfírica
549276	ALD1449M	216,15	312.600,00	6.829.716,30	332,7	Andesita?
549277	ALD1446	116,55	312.938,60	6.829.238,10	422,5	Andesita?
549278	ALD1460M	37,85	312.608,10	6.829.392,10	531,4	Magnetita masiva
549279	ALD1457M	215,8	312.991,90	6.829.701,90	317,3	Andesita?
549280	ALD1457M	271,1	312.982,40	6.829.681,20	265	Diorita?
549281	ALD1457M	383,95	312.964,40	6.829.642,10	163,8	Andesita
549282	ALD1462M	308	313.121,00	6.829.830,90	222,2	Diorita?
549283	ALD1461M	216,55	312.569,90	6.829.732,40	332	?
549284	ALD1463M	227,35	312.760,00	6.829.697,40	317,8	Magnetita - Actinolita
549285	ALD1463M	234,8	312.758,20	6.829.698,30	311,4	Magnetita - Actinolita
549286	ALD1463M	286,65	312.744,40	6.829.705,60	262,4	Magnetita - Actinolita
549287	ALD1464M	94	313.040,90	6.829.810,60	426,3	?

b. Descripción de cortes transparentes-pulidos

Tabla 46: Tabla descripciones cortes transparentes-pulidos

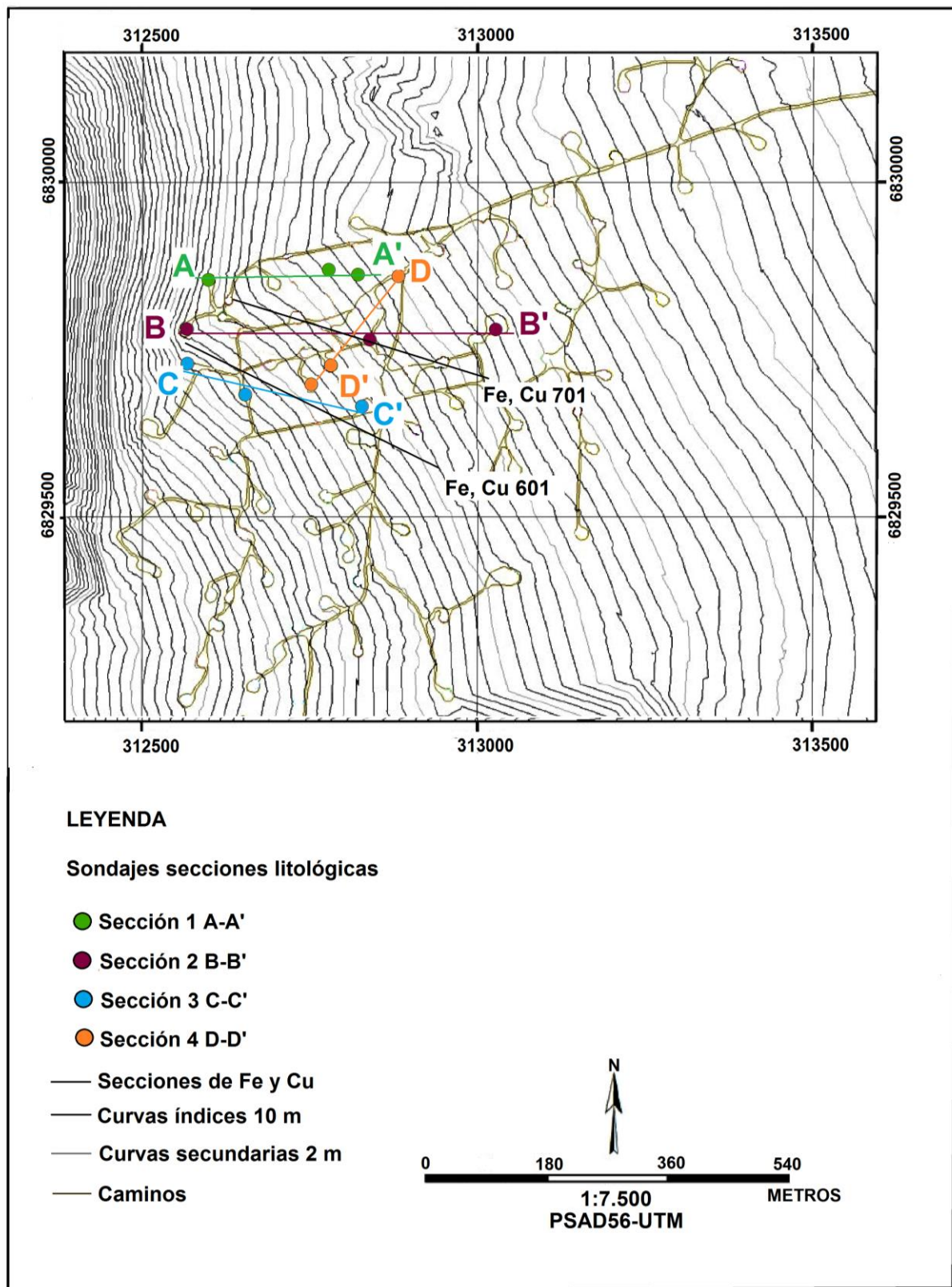
N° Muestra	Mineralogía		Textura	Litología
	Mineralización	Mineralogía primaria y de alteración		
549251	Cpy (25%), Mt (20%), Py(10%)	Chl (15%), Qz (10%), Pg (15%), Ser(5%)	Porfírica	Andesita porfírica
549252	Hm esp (25%), Mt (10%), Py (5%)	Bt (20%), Qz(20%), Pg (10%), Ox Fe (10%)	Obliterada	Andesita?
549253	Mt(25%), Cpy(5%), Py(5%)	Act (30%), Qz (15%), Pg (10%), Chl (5%)	Masiva	Magnetita-Actinolita masiva
549254	Mt (15%), Py (10%), Hm(5%)	Qz(40%), Feld K (10%), Cal(10%), Chl (5%), Turm (5%)	Obliterada	Intrusivo granítico?
549255	Mt (10%), Hm(10%), Py (10%), Cpy (5%)	Qz (30%), Chl (15%), Pg (10%), Cal(5%)	Porfírica	Andesita porfírica
549255 B	Mt (15%), Py (15%), Cpy(5%)	Qz (25%), Chl (25%), Cal(10%), Ox Fe (5%)	Obliterada	?
549256	Hm (30%), Mt (5%)	Qz (20%), Chl(20%), Ox Fe (10%)	Obliterada	?
549257	Mt (30%), Hm (10%), Py(10%)	Chl (30%), Ox Fe (10%), Qz (10%), Ep (1%)	Brechosa	Brecha volcánica ?
549258	Mt (20%), Hm (10%)	Chl (30%), Qz(25%), Pg (5%), Ox Fe (5%)	Porfírica	Andesita porfírica?
549259	Mt (65%), Py(15%), Hm (5%),	Anh (5%), Ox Fe (5%), Qz (5%)	Masiva	Magnetita-Actinolita masiva
549260	Mt (30%), Hm (5%),	Qz (20%), Bt(15%) Pg (10%), Ser(10%), Ox Fe(7%), Turm (1%), Ep(1%), cal (1%)	Porfírica	Andesita porfírica
549261	Mt (32%), Cpy (5%), Py (3%)	Act (25%), Qz (15%), Chl (15%), Bt(5%)	Masiva	Magnetita-Actinolita masiva
549262	Mt (20%), Py (5%)	Chl (20%), Bt (15%), Qz (15%), Act (15%), Turm (10%)	Obliterada	Diorita?
549263	Mt (10%), Hm (5%)	Qz (30%), Chl (20%), Pg(15%), Ser(10%), Cal (5%), Ep (5%)	Porfírica	Andesita porfírica
549264	Hm (17%), Mt (5%), Cpy (3%)	Qz (30%), Chl (20%), Pg(15%), Ox Fe (5%), Ep (5%)	Obliterada	Diorita ?
549265	Mt (5%), Cpy (5%), Bn (3%), Py (2%)	Qz (25%), Chl (25%), Cal(15%), pg (10%), Ser (10%)	Porfírica	Andesita porfírica
549266	Mt (15%), Py (3%), Hm (2%)	Chl (25%), Qz(20%), Feld K (15%), Ep (10%), Ox Fe (5%), Turm(5%)	Porfírica	Andesita porfírica
549267	Hm (15%), (Mt 5%), Py (5%)	Act (20%), Chl (15%), Pg (10%), Ser (10%), Qz(10%), Gyp (5%)	Porfírica	Andesita porfírica
549268	Hm (10%), Mt (5%), Cpy (5%)	Qz (30%), Chl (20%), Cal (20%), Ser (5%), Turm (5%)	Obliterada	Diorita?
549269	Hm esp (25%), Cpy (17%), Py(14%), Mt 3%, Dg (1%)	Qz (20%), Act (15%), Feld K (5%)	Brechosa	Brecha hematita especular
549270	Py (20%), Mt (10%)	Qz(25%), Bt (20%), Chl (15%), Ep (5%), Pg (5%), Turm (1%)	Porfírica	Andesita porfírica

Tabla 47: Continuación tabla descripciones cortes transparentes-pulidos

549271	Mt (25%)	Chl (25%), Ser (15%), Feld K (15%), Cal(15%), Px (4%), Ep (1%)	Porfírica	Basalto de piroxeno
549272	Hm (20%)	Chl (30%), Qz(25%), Cal(15%), Ep(5%), Gt (5%)	Obliterada	?
549273	Mt (20%), Py (15%) , Hm esp (5%)	Qz (25%), Chl (25%), Cal(10%)	Obliterada	?
549274	Mt (15%), Py (1%)	Qz (40%), Act (25%), Chl (17%), cal (1%), Ep (1%)	Obliterada	?
549275	Mt (30%), Hm (15%),	Pg (20%), Ser(15%), Qz (10%), Ox Fe (5%)	Porfírica	Andesita porfírica
549276	Mt (30%), Cpy (5%), Py (1%), Dg (1%)	Feld (20%), Bt(15%), Qz (15%), Turm (10%), Ep (5%)	Obliterada	Andesita?
549277	Hm (10%), Py (7%), Mt (4%)	Cal (30%), Ser (20%), Chl (20%), Qz (8%), Ep (1%)	Obliterada	Andesita?
549278	Mt (50%), Hm (5%)	Bt (20%), Qz (20%), Ox Fe (5%),	Masiva	Magnetita masiva
549279	Mt (30%), Cpy (10%)	Pg (20%), Ser(15%), Chl(10%), Qz (10%), Ep (5%)	Obliterada	Andesita?
549280	Mt (25%), Py (8%), Cpy (1%), Cv (1%)	Chl (30%), Act (19%), Gyp (10%), Ep (1%)	Obliterada	Diorita?
549281	Mt (30%), Py (5%), Cpy (5%)	Pg (20%), Chl (20%), Feld K(8%), Qz (5%), Ox Fe (5%), Cal (1%), Ep(1%)	Porfírica	Andesita
549282	Mt (25%), Hm (5%)	Qz (20%), Chl (15%), Act (10%),Ox Fe (10%), Ser (5%), Cal (5%)	Obliterada	Diorita?
549283	Mt (20%), Cpy (5%)	Qz (40%), Bt (35%)	Obliterada	?
549284	Mt (50%), Cp (30%)	Act (5%), Chl (5%), Qz (5%), Ser (5%)	Masiva	Magnetita - Actinolita
549285	Mt (40%), Cpy (10%)	Bt (25%), Qz (15%), Act (10%)	Masiva	Magnetita - Actinolita
549286	Mt (20%), Py (5%), Cpy (5%)	Act (40%), Qz (20%), Chl (5%)	Masiva	Magnetita - Actinolita
549287	Hm (45%)	Jr (15%), Gt (15%), Gyp (5%), Qz(5%),	Obliterada	?

ANEXO C. SONDAJES UTILIZADOS PARA SECCIONES LITOLÓGICAS

a. Mapa en planta ubicación sondajes utilizados para secciones



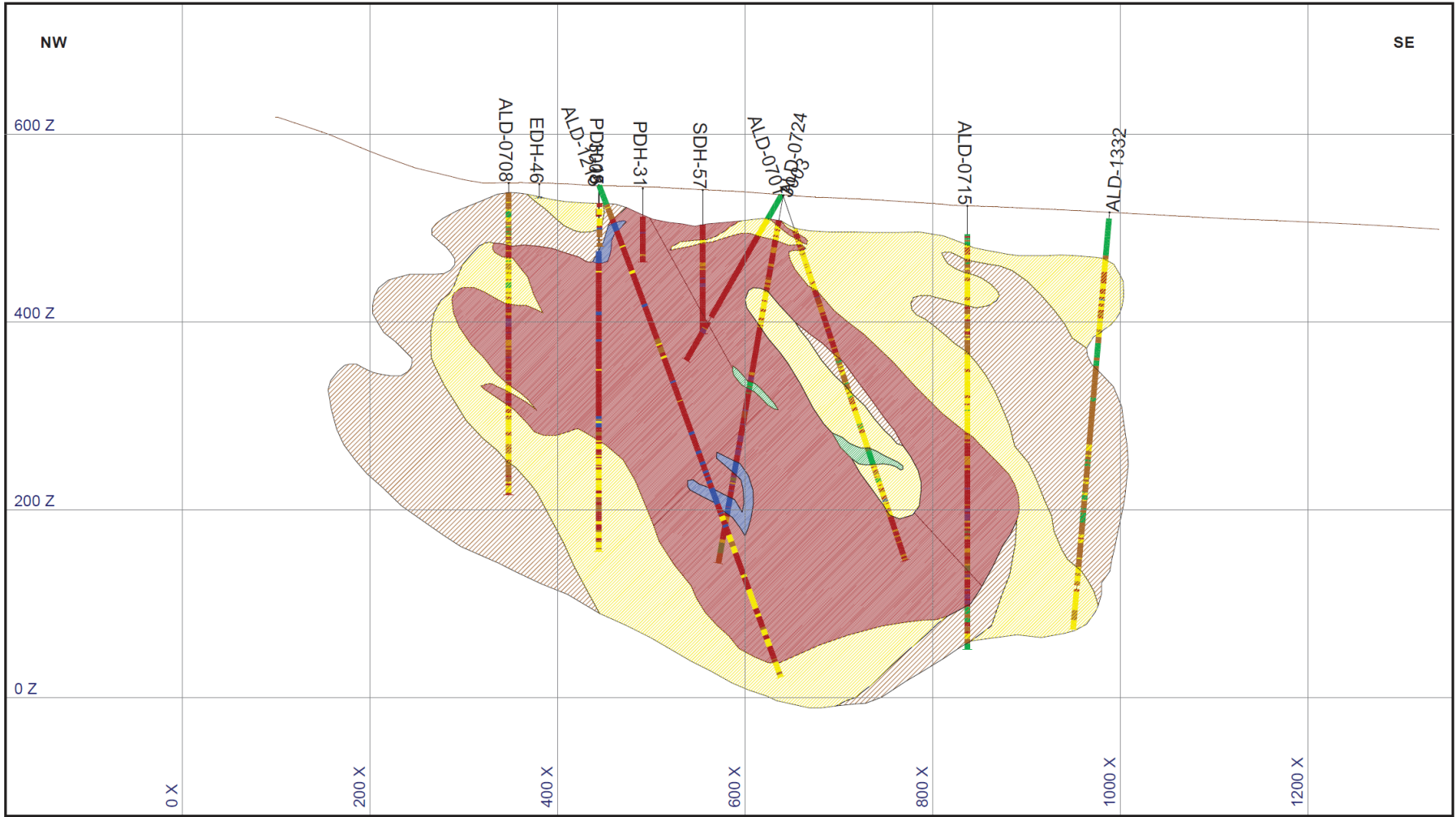
b. Sondajes utilizados para secciones litológicas

Tabla 48: Sondajes utilizados para secciones litológicas del anexo C.a

Sondaje	Coord N	Coord E	Cota (m)	Azimuth	Dip	Largo sondaje (m)
ALD-1215	6829319,67	312453,19	545,3	115	-70	558,65
ALD-1217	6829417,06	312366,61	543,5	295	-60	337,10
ALD-1335	6829363,00	312581,17	533,0	289	-70	440,70
ALD-1441	6829401,50	312638,65	526,8	265	-70	350,55
ALD-1445	6829334,83	312551,44	537,9	90	-70	398,25
ALD-1452	6829302,18	312627,02	533,9	275	-80	235,65
ALD-1461	6829365,85	312366,95	547,9	280	-65	300,00
ALD-1464	6829416,55	312826,39	514,3	270	-78	276,95
ALD-1568	6829490,53	312398,11	541,6	113	-80	323,75
ALD-1572	6829861,00	312883,18	519,9	293	-75	310,30
ALD-1576	6829505,99	312577,39	525,3	293	-75	350,65

ANEXO D. PERFILES DE LEYES DE HIERRO

Los siguientes perfiles de leyes de hierro fueron confeccionados por la Compañía Minera del Pacífico. Fueron utilizados para comparar algunos sondajes utilizados en el modelo litológico debido a su ubicación (Anexo C,a).



— Topografía

Rango Fe

- Fe < 10
- 10 ≤ Fe < 15
- 15 ≤ Fe < 25
- 25 ≤ Fe < 45
- Fe ≥ 45

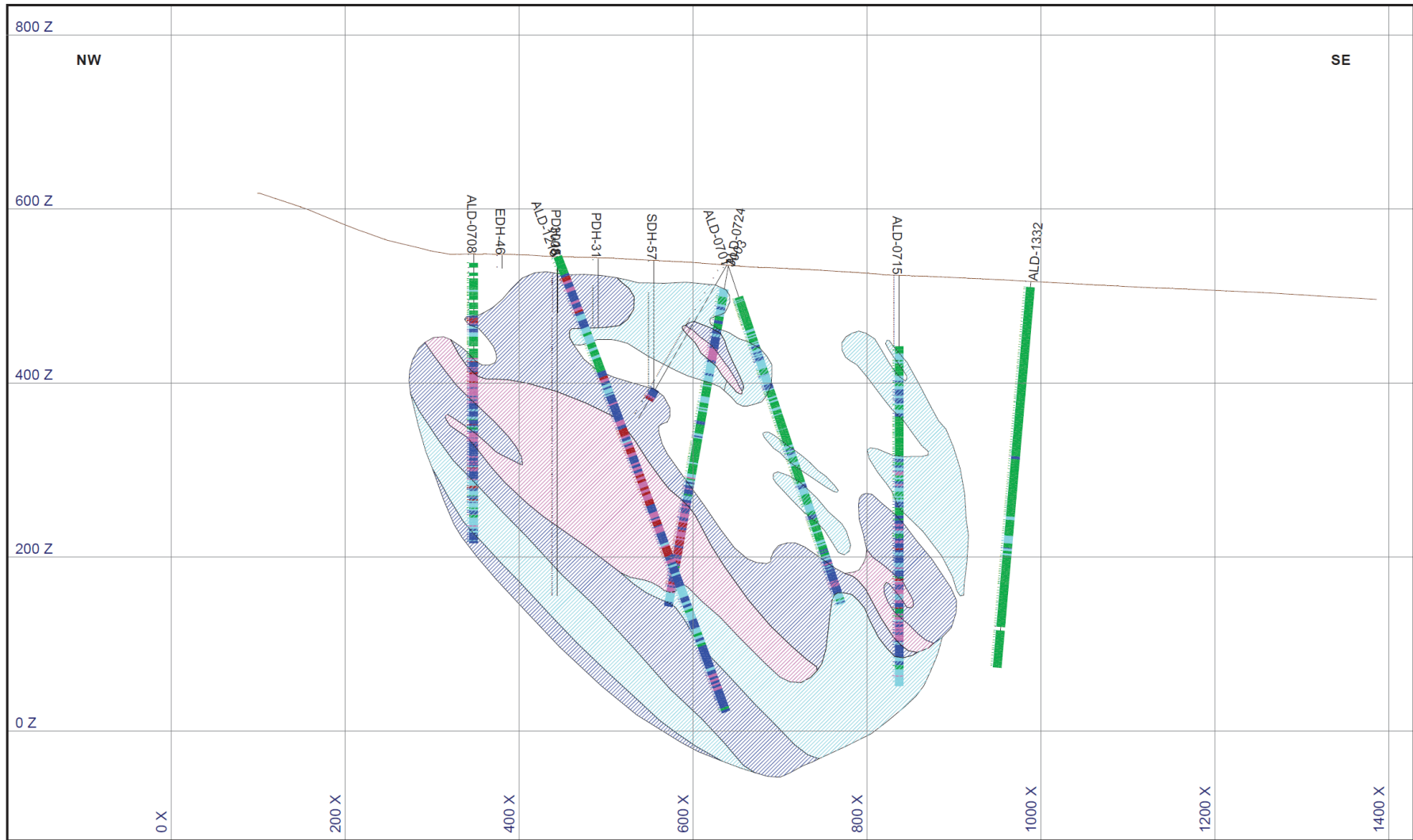


Compañía Minera del Pacífico

Proyecto Alcaparra D
Interpretación de FE

Vertical Section 601SW

Escala 1 : 4.000



— Topografía

Rango Cu

- Cu% < 0.05
- 0.05 <= Cu% < 0.1
- 0.1 <= Cu% < 0.3
- 0.3 <= Cu% < 0.6
- Cu% >= 0.6



Compañía Minera del Pacífico

Proyecto Alcaparra D
Interpretación de Cu

Vertical Section 601SW

Escala 1 : 4.000

