

CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE MINA SOPLONA 1/10, DISTRITO MINERO LAS PINTADAS, TIERRA AMARILLA, REGIÓN DE ATACAMA

Memoria entregada a Universidad Mayor en cumplimiento de los requisitos para
optar al Título de Geólogo

MATÍAS IVÁN FREDES VIVANCO

Profesor Guía:

MATÍAS AEDO

Profesor co-guía:

ÍTALO PAYACÁN

Miembro de la comisión evaluadora de examen:

VICTOR ALFARO

Santiago de Chile

JUNIO, 2022

RESUMEN.

La propiedad Mina Soplona 1/10 pertenencia de Compañía Explotadora de Minas San Andrés Ltda. (CEM San Andrés), se ubica en la III región de Atacama al oeste de Tierra Amarilla y forma parte de un grupo de yacimientos de cobre y hierro que se encuentran dentro del distrito minero Las Pintadas en la Franja Ferrífera Chilena de edad Jurásico Tardío - Cretácico Inferior. Este depósito se puede definir como un sistema de vetas agrupadas en dos direcciones principales, noroeste (Veta Soplona) y noreste (Veta Silvina y Veta Este), asociadas a un arreglo estructural de escala distrital, las cuales han servido de conducto para el transporte de fluidos que forman zonas de stockwork, vetas y mantos.

Los laboreos del yacimiento se centran en la explotación de sulfuros de cobre, específicamente calcopirita y eventualmente se extraen zonas con oxidados de cobre.

A través de un mapeo de superficie se generó un mapa geológico de escala local 1:2500 y con análisis de cortes transparentes se definieron principalmente granatitas, rocas corneas de cuarzo y skarn de magnetita y escapolita. Encontrando, además, niveles ricos en magnetita intercalados con la secuencia estratigráfica y toda la zona se encuentra intruido por diques. El protolito de estas rocas corresponden a estratos sedimentarios de grano fino y calizas que pertenecen a las Formaciones Abundancia y Nantoco de edad Cretácico temprano y que se encuentran en contacto por intrusión con el Plutón Los Lirios (110 Ma), correspondiente a una de las unidades del Batolito Copiapó (118 Ma), responsable de la transformación metamórfica de la zona. Hasta la fecha se sigue en busca de formación Punta del cobre, debido a que se espera un horizonte mineralizado similar al que existe en Candelaria, no obstante, se espera podría alcanzarse a no más de 200m de profundidad de los niveles subterráneos actuales de Mina Soplona.

ABSTRACT.

The property Mina Soplona 1/10 belonging of Compañía Explotadora de Minas San Andrés Ltda. (CEM San Andrés), it's located in the third region of Atacama at the west of Tierra Amarilla and is a part of a group of deposit of copper and iron found inside of the mining district Las Pintadas en la Franja Ferrífera Chilena of late Jursaic-early Cretaceous. This deposit can be defined as a system of grouped veins in two principal directions, northwest (Veta Soplona) and northeast (Veta Silvina and Veta Este), associated to a structural arrangement of district scale, which have served as a conduit for the transport of fluids that forms stockwork zones, veins and mantles.

The labor of the deposit gets centered in the exploitations of copper sulfides, specifically chalcopyrite and eventually gets extracted copper oxide zones.

Through a mapping of the surface it generated a geological map in a local scale 1:2500 and with analysis of transparent cuts defined mostly granatites, quartz hornfels and magnetite and scapolite skarns. Finding as well, magnetite-rich levels intercalated with the stratigraphic sequence and all the zone is intruded by dikes. The protolith of this rocks correspond to sedimentary beds of fine grain and limestones that belongs to formation Abundancia and Nantoco form the early Cretaceous age and it is found in contact by intrusion with the Plutón Los Lirios (110 My), corresponding to one of the units of Batolito Copiapó (118 My), responsible of the metamorphic transformation of the zone. Up to date it is still looking of the formation Punta del Cobre, because it is expected a similar mineralized horizon with the one in Candelaria, However, it is expected to reach no further than 200m depth of the actual underground levels of Mina Soplona.

AGRADECIMIENTOS.

En primer lugar, quiero agradecer a la empresa Minera San Andrés por la gran oportunidad de desarrollar este tema de investigación y especialmente al gerente Mauricio Meyer, que siempre me recibió de la mejor forma.

También agradezco a don Arturo, al Mati y al profe Ítalo que me acompañaron y ayudaron durante el proceso, por su tiempo, consejos, buena onda y buena disposición, guiándome para hacer la investigación de la mejor forma y a don Víctor que llegó para salvarme, como miembro de la comisión para poder titularme.

A los cabros de campo, Diegollo, el Pipe, Sanhuezalbo y la Agatha, que llegamos juntos a esta instancia, agradecer los buenos momentos y los carretes que pasamos.

Sobre todo, agradecer a mi familia que fueron un pilar fundamental en este proceso, a mi madre, hermano y abuela que siempre estuvieron cuando los necesite y me dieron la fuerza para seguir adelante, a mi padre que a pesar de la distancia siempre estuvo para apoyarme y a mi polola, que estuvo conmigo y soportó mis cambios de humor y estrés durante todo el proceso.

Gracias a la vida y a todas las personas que estuvieron presentes durante toda o la mayor parte de la realización y desarrollo de este trabajo. A aquellos que con respeto y decencia realizaron aportes a esta.

Finalmente, gracias a todas las personas, familiares y amigos que no fueron nombrados, y que sin embargo me apoyaron y creyeron en la realización de esta investigación.

ÍNDICE DE CONTENIDOS.

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Planteamiento del problema.....	1
1.2 Área de estudio y vías de acceso.....	3
1.3 Hipótesis.....	4
1.4 Objetivos.....	5
1.4.1 Objetivos Generales.....	5
1.4.2 Objetivos Específicos.....	5
1.5 Metodología.....	5
1.5.1 Objetivo Específico 1.....	5
1.5.2 Objetivo Específico 2.....	5
1.5.3 Objetivo Específico 3.....	6
1.5.4 Objetivo Específico 4.....	6
CAPÍTULO 2: MARCO GEOLÓGICO REGIONAL.....	7
2.1 Introducción.....	7
2.2 Marco Tectónico Regional.....	9
2.3 Geomorfología.....	9
2.4 Geología Distrital.....	12
2.4.1 Formación Punta del Cobre.....	12
2.4.2 Grupo Chañarcillo.....	12
2.4.3 Grupo Bandurrias.....	12
2.4.4 Formación Cerrillos.....	13
2.4.5 Gravas de Atacama.....	13
2.4.6 Depósitos Aluviales.....	13
2.4.7 Batolito Copiapó.....	13

CAPÍTULO 3: GEOLOGÍA DEL AREA DE ESTUDIO.....	15
CAPÍTULO 4: RESULTADOS.....	18
4.1 Mapa Geológico y Litologías.....	20
4.1.1 Unidad Granatita.	20
4.1.2 Unidad Hornfels.	25
4.1.3 Unidad Skarn de Magnetita.	30
4.1.4 Unidad Skarn de Escapolita.	33
4.1.5 Unidad IGSH.	36
4.1.6 Rocas Intrusivas.	37
4.2 Mineralización.	38
4.2.1 Veta Este.	39
4.2.2 Veta Silvina.....	39
4.2.3 Veta Soplona.....	39
4.3 Datos Direccionales.	40
4.3.1 Diques.	40
4.3.2 Vetas.	41
4.3.3 Fallas.....	43
4.4 Perfil Geológico.	44
CAPITULO 5: DISCUSIONES.....	45
5.1 Mapa Geológico.....	45
5.2 Geología Estructural.....	47
CAPITULO 6: CONCLUSIONES.	50
Bibliografía.....	53

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1. Vetas de Mina Soplona. Recuperado de Mina Soplona Distrito Minero Las Pintadas (Lazcano 2018).	2
Figura 2 Ubicación y vías de acceso de Mina Soplona.	4
Figura 3 Mapa Geológico del Distrito Las Pintadas, con la descripción de sus respectivas unidades. Recuperado de Carta Los Loros (Arévalo, 2005).	8
Figura 4 Evolución tectonoestratigráfica de la cuenca Chañarcillo. (modificado de Martínez et al. 2019).	10
Figura 5 Columna estratigráfica Cretácico Inferior región de Copiapó. Recuperado de Mina Soplona Distrito Minero Las Pintadas (Lazcano, 2018).	14
Figura 6 Geología Local Simplificada, Recuperado de Mina Soplona Distrito Minero Las Pintadas (Lazcano, 2018).	15
Figura 7 Tabla con valores máximos, mínimos y medios para los cuatro elementos más importantes asociados al tipo de muestra. Recuperado de Mina Soplona Distrito Minero Las Pintadas (Lazcano, 2018).	16
Figura 8 Campaña de sondajes en Mina Soplona. Recuperado de Mina Soplona Distrito Minero Las Pintadas (Lazcano, 2018).	17
Figura 9 Puntos GPS de los datos obtenidos en terreno.	18
Figura 10 Mapa geológico Mina Soplona.	19
Figura 11 Afloramiento de Unidad Granatita con capas y lentes de Hornfels.	21
Figura 12: Granatita (M1GT) a muestra de mano.	22
Figura 13: Granatita (M2GN) a muestra de mano.	22
Figura 14: Muestra M1GT, A) y B), se observa la zonación de granate y el relleno con cuarzo (Qz) y clorita entre granates (Gt). C) y D), relleno de minerales opacos (Opc) en los intersticios de los granates.	23
Figura 15: Muestra M2GM, en A) y B) se observan porfiroblastos de granate (Gt), un mayor porcentaje de cristales de cuarzo (Qz) en la matriz y cristales de epidota (Ep). C) y D) Se observa la zonación de un granate grano grueso, en una matriz compuesta de cristales de granate (Gt) menos isótopos y cuarzo.	24
Figura 16: Afloramiento Unidad Hornfels, en la imagen se aprecia una pared de aproximadamente 2m de altura, junto con un acercamiento de cómo se ve la roca.	25

Figura 17: Hornfels M3RC a muestra de mano, es posible observar los cristales de pirolusita típicos de esta roca, además de las vetillas que se encuentran en casi la totalidad de los afloramientos.	26
Figura 18 : Hornfels M4RN a muestra de mano.	27
Figura 19: Muestra M3RC, se observa la matriz microcristalina con la presencia de vetillas. A) y B) se observan vetillas de cuarzo (Qz). C) y D) Vetillas de clorita (Chl). E) y F) Cruce de vetillas de clorita + minerales opacos (Opc) + cuarzo, con vetillas de magnetita (Mgt) y vetillas de cuarzo.	28
Figura 20: Muestra M4RN, A) y B) muestran las vetillas de epidota (Ep) + clorita (Chl) + minerales opacos (Opc) típicas de esta subunidad. C) y D) muestran los cristales de plagioclasa subhedral a anhedral con baja integridad, en una matriz de clorita + epidota. E) y F) se observa que los cristales de plagioclasa están muy alterados, con reemplazo de clorita + epidota.	29
Figura 21: Unidad Skarn Magnetita, en el rectángulo rojo se observa la oxidación típica que presenta.....	30
Figura 22: Muestra M5SM, se observan cristales de escapolita dentro de una matriz de magnetita, los tonos amarillentos corresponden a óxidos de Fe hidratados, que se encuentran en parches y vetas dentro de las muestras.	31
Figura 23: Muestra M5SM, en A) y B) es posible ver la matriz de minerales opacos y la alteración en los cristales de escapolita producida por los óxidos de hierro hidratados. C) y D) Se observa una de las vetillas que tiene óxidos de hierro hidratados.....	32
Figura 24: Afloramiento de Skarn de Escapolita debajo de Granatitas, en Unidad IGSH.	33
Figura 25: Muestra M6SS	34
Figura 26: Muestra M6SS, A) y B) muestra los cristales de grano medio a grano grueso de escapolita (Escp), granate (Gt) y Cuarzo (Qz). C) y D), se puede observar parte de una vetilla con epidota (Ep) y clorita (Chl) dentro de la roca.	35
Figura 27: En ambas imágenes se observan afloramientos de la unidad IGSH, en la imagen de la izquierda se observa una secuencia de Hornfels (Hfl), Granatitas (Gt.), Skarn Escapolita (SS.) y Granatitas. La imagen de la derecha muestra una capa de Hornfels entre capas Granatitas.....	36
Figura 28: Principales vetas de Mina Soplona.	38
Figura 29: Diagrama de rosetas para los diques de la propiedad, se muestra el rango de datos en el que se encuentra la moda y la línea de tendencia asociada a la media de los datos.....	40

Figura 30: Cruce propuesto de las vetas principales, se observan dentro de los polígonos negros al norte de la propiedad.	41
Figura 31: Diagrama de rosetas para las vetas de la propiedad, se muestra el rango de datos en el que se encuentra la moda y la línea de tendencia asociada a la media de los datos. Es posible determinar al menos dos familias de datos.	42
Figura 32: Diagrama de rosetas para las fallas de la propiedad, donde “F” representa a una familia de datos, el círculo más externo corresponde a una cantidad de 5 planos ploteados.	43
Figura 33 Mapa geológico de la mina, con el perfil esquemático enfocando la zona del anticlinal.....	44
Figura 34 Perfil esquemático de Mina Soplona	¡Error! Marcador no definido.
Figura 35: Tipos de estructuras de Riedel, según el criterio del tipo de fractura (T: tensión, R, R' y P: presión). Extraído de Niemeyer (1999) y modificado para falla sinistral.	47
Figura 36 Pared Veta Este, se observa un movimiento sinistral, evidenciado por fracturastipo lúnula.	50

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.

1.1 Planteamiento del problema.

Mina Soplona 1/10 propiedad de Compañía Explotadora de Minas San Andrés Ltda. (CEM San Andrés), forma parte del distrito minero Las Pintadas, el cual incluye un grupo de yacimientos de cobre y de hierro actualmente en explotación. Estos son definidos por Sernageomin como pequeña a mediana minería, por realizar una extracción de entre 0 y 250.000 Ton/mes de mineral (Sonami, 2014).

En cuanto a la propiedad, la principal explotación se realiza en dos vetas llamadas Veta Este y Silvina (Figura 1). La primera tiene un rumbo $N50^{\circ}W$ con una extensión conocida de 300 metros y una potencia de entre 2-5 metros, donde estudios anteriores determinaron que las leyes varían entre 1.36-7.61% CuT. Por otro lado, la Veta Silvina presenta un rumbo aproximado $N25^{\circ}W$ y en esta se realiza el 60% de la explotación total de Mina Soplona. Finalmente, existe una tercera fuente mineralizada, conocida como Veta Soplona, la cual fue trabajada en el pasado de manera artesanal y se desconoce la profundidad que alcanzó la explotación. Sin embargo, en el desmonte se encontraron fragmentos de veta que contienen pequeñas cantidades de pirita-calcopirita, acompañadas por magnetita, crisocola y malaquita, por lo que se puede inferir que se llegó a la zona de sulfuros primarios.

En la veta Este y Veta Silvina, la explotación se centra exclusivamente en calcopirita, alcanzando las 6.500 ton/mes con leyes aproximadas de 0.8% Cu. Este producto se envía a la planta Elisa de Bodos para su procesamiento, también perteneciente a CEM San Andrés.

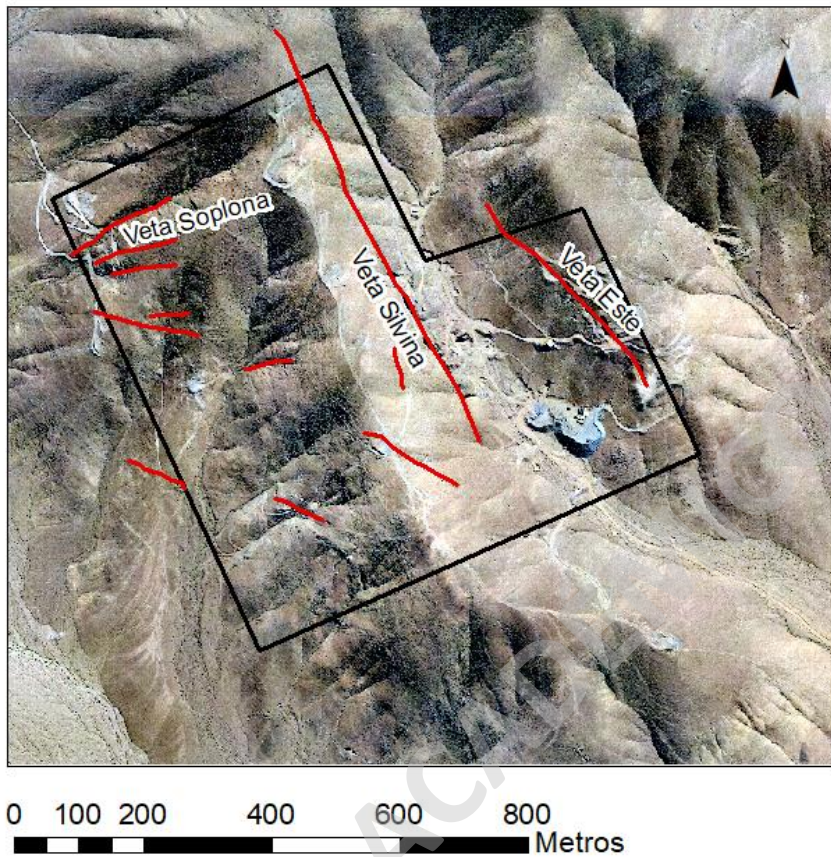


Figura 1. Vetas de Mina Soplona. Recuperado de Mina Soplona Distrito Minero Las Pintadas (Lazcano 2018).

La geología de la región de Atacama en la carta Los Loros, que incluye al distrito minero Las Pintadas, fue descrita por Arévalo (2005). Sin embargo, las unidades descritas en dicho estudio no coinciden con los datos de sondajes realizados en la propiedad. Esto puede deberse a que los trabajos de escala regional, no contemplan un estudio exhaustivo de la litología existente. Además, la presencia de un cuerpo intrusivo que se encuentra a tan solo 2 km al oeste, genera una variación mineralógica en el sector, asociada a una aureola metamórfica originada por el intrusivo y que presenta un radio de influencia de aproximadamente 2.5 a 3.5 km (Tilling, 1962).

Dentro de la propiedad se encuentran rocas expuestas que corresponden a granatitas, rocas corneas de piroxeno-escapolita y rocas corneas de cuarzo (Lazcano, 2018). Se encuentran además niveles ricos en magnetita intercalados con la secuencia estratigráfica. El protolito de estas rocas corresponden a estratos sedimentarios de grano fino y calizas que pertenecen a las Formaciones Abundancia y Nantoco de edad Cretácico

temprano y que se encuentran en contacto por intrusión con el Plutón Los Lirios (110 Ma), parte del Batolito Copiapó (118 Ma), lo que habría generado la transformación metamórfica.

Con el fin de corregir la diferencia de información geológica y en busca de una mejor definición de las características espaciales del depósito, ha habido diversos trabajos de exploración entre los años 1989-1990 y 2005-2007, dentro de los cuales destacan estudios basados en la geoquímica de elementos traza realizadas en 329 muestras, geofísica con el método de polarización inducida y 20 perforaciones de sondajes. No obstante, los trabajos de levantamiento geológico quedaron inconclusos, por lo que la empresa no cuenta con un mapa geológico detallado para el depósito, ni con una base de datos única.

Adicionalmente, refinar y unificar la información geológica del depósito es importante para mapear los niveles subterráneos de la mina y encontrar nuevos puntos de explotación, ya que es necesario aumentar la extracción del mineral dentro del depósito, debido a que la planta Elisa de Bordos posee una capacidad de procesamiento mayor que el tonelaje que se aporta de la mina Soplona y otras propiedades mineras.

Bajo el contexto anterior, se propone generar un mapa geológico de escala 1:2500 y sistematizar toda la información con el fin de ayudar a exploraciones futuras.

1.2 Área de estudio y vías de acceso.

La mina Soplona, propiedad de CEM San Andrés, se encuentra ubicada en la región de Atacama, Provincia de Copiapó, comuna de Tierra Amarilla. Cercano a la propiedad se encuentran las ciudades de Copiapó (30 km al norte) y Tierra Amarilla (16 km al noreste). Otro punto importante es el Distrito Minero Candelaria a 5 km al noreste en línea recta.

La propiedad fue inscrita el año 1949 (código antiguo de 1932) como concesión de explotación, rol 03203-0089-4. El titular actual es Compañía Explotadora de Minas San Andrés Ltda. Mina Soplona 1/10, posee una superficie aproximada de 50 hectáreas, generando un polígono en forma de "L", que se encuentra orientado hacia el noroeste, donde su eje mayor alcanza casi los 800m de longitud (figura 1).

La entrada a Mina Soplona presenta un acceso por la ruta principal C-35, la cual está conectada con las ciudades aledañas y localidades a lo largo del valle. A la altura del caserío de Nantoco (km 24) se toma un desvío, también asfaltado, hacia el suroeste (ruta C-411) por 5.5 km. En este punto se toma otro desvío, en este caso recubierto con bischofita, por 2 km (ruta C-529), finalmente un nuevo desvío en dirección norte por un

camino de tierra en buen estado conduce a las instalaciones de la mina tras un recorrido de 1.5 km (Lazcano, 2018).

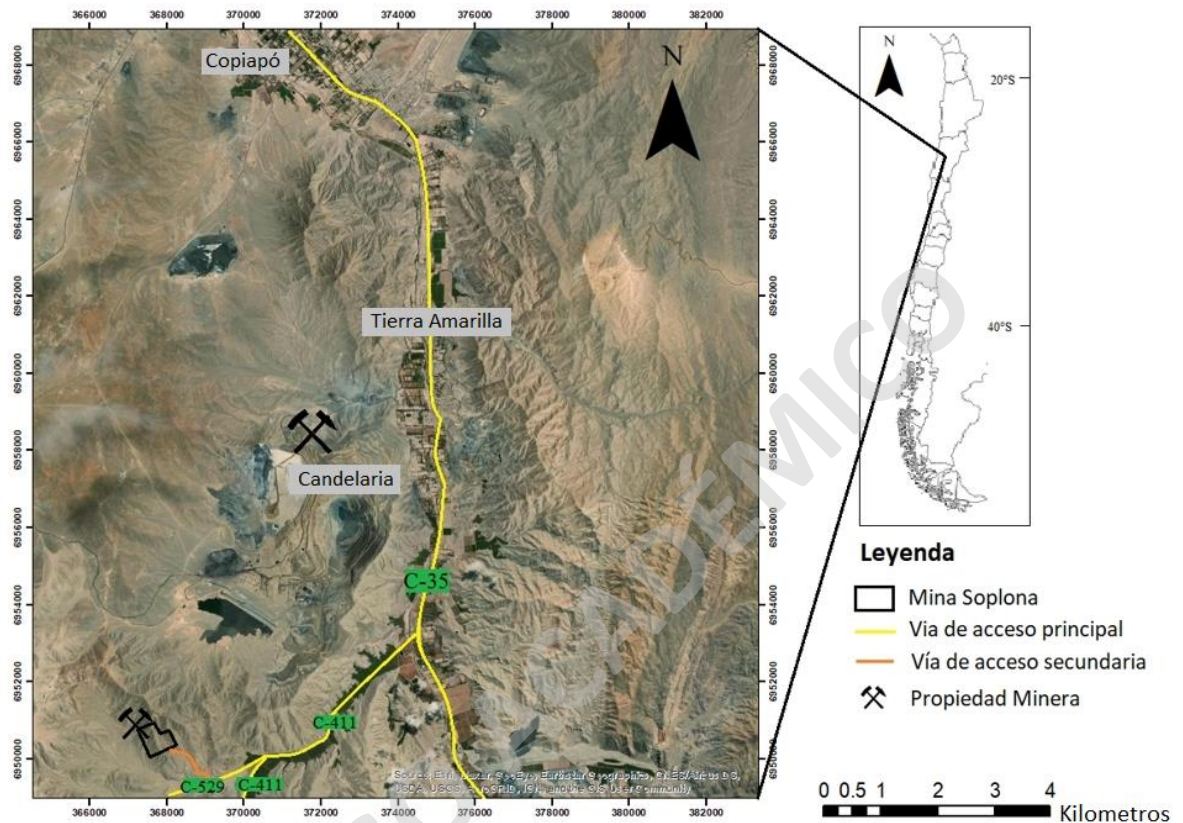


Figura 2 Ubicación y vías de acceso de Mina Soplona.

1.3 Hipótesis.

Si bien anteriormente se ha inferido que el depósito está hospedado por la Formación Nantoco y Formación Punta del cobre (Arévalo, 2005), aquí se plantea que la mineralización estaría hospedada exclusivamente en rocas del Grupo Chañarcillo, conformado principalmente por rocas calcáreas. La mineralización habría estado controlada por las estructuras locales y regionales.

1.4 Objetivos.

1.4.1 Objetivos Generales.

Redefinir las unidades existentes en un mapa geológico a escala 1:2500 de la Mina Soplona e integrar y complementar la información de estudios anteriores, con el fin de tener una base de datos completa para la empresa.

1.4.2 Objetivos Específicos.

1. Definir las unidades litoestratigráficas en superficies.
2. Determinar la distribución espacial y orientación de las principales estructuras geológicas.
3. Identificar el comportamiento de la mineralización y alteraciones dentro de la propiedad minera.
4. Sistematizar toda la información en una base de datos única.

1.5 Metodología.

1.5.1 Objetivo Específico 1.

- Recopilación bibliográfica sobre los depósitos tipo IOCG y tipo Manto que existen en Chile y sobre la geología del distrito.
- Pre mapeo utilizando imágenes de alta resolución junto con el Software ArcGis.
- Confección de polígonos que delimitarán las principales rocas expuestas y separar el área de estudio en 24 subdivisiones de 170m x 240m, para ordenar el trabajo en terreno.
- Recopilación de muestras de mano para descripciones petrográficas.
- Descripciones petrográficas de las muestras obtenidas en terreno.
- Mapeo de la propiedad.

1.5.2 Objetivo Específico 2.

- Medición de las estructuras que se encuentran en la zona de estudio.
- Tratamiento estadístico de todas las estructuras mapeadas en terreno con el programa Dips.

- Confección de diagramas de rosas, para representar gráficamente la distribución y orientación de las estructuras.

1.5.3 Objetivo Específico 3.

- Estudio bibliográfico de propiedades mineras y principales alteraciones del distrito.
- Recopilación de información que tiene la empresa, respecto a la mineralización que se encuentra en Mina Soplona.
- Descripción de mineralización y alteraciones en terreno.

1.5.4 Objetivo Específico 4.

- Recopilación de toda la información que tiene la empresa sobre campañas de exploraciones realizadas en el pasado y la obtenida en terreno.
- Comparación de estudios anteriores, con los datos obtenidos en terreno.
- Generar una base de datos que integre toda la información.
- Utilización del Software QGis para la creación de mapa escala 1:2500, integrando visual y cuantitativamente la base de datos que incluye, estudios de sondajes, geoquímica, geofísica y estratigrafía del área de estudio, a través de "layers" que incluyan tablas de atributos con la información.

CAPÍTULO 2: MARCO GEOLÓGICO REGIONAL.

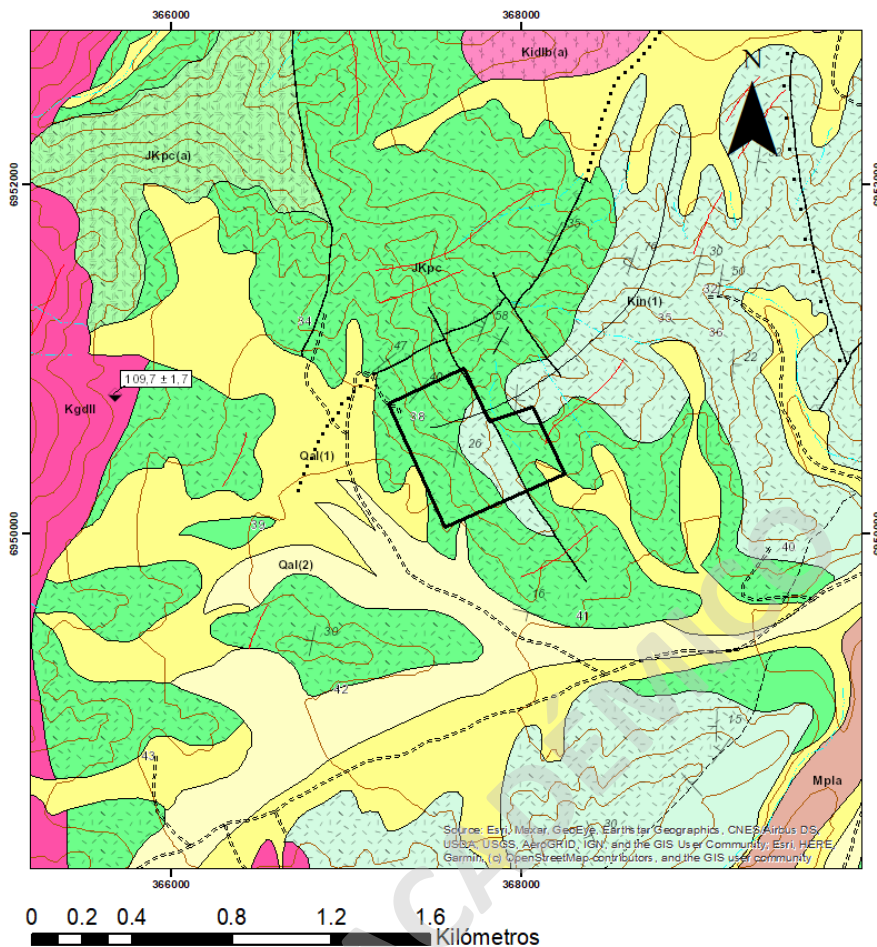
2.1 Introducción.

La franja metalogenética del Cretácico temprano, se extiende entre los 22° y 34° Sur a lo largo de la cordillera de la costa, dentro de los depósitos que se encuentran los IOCG como Candelaria y Mantoverde, Estratoligados como El Soldado y de estilo híbrido como Andacollo, donde presenta características de pórfido cuprífero con transición epitermal. Además, existen otros depósitos asociados a esta franja como El Algarrobo, que es del tipo Fe-Apatito (Cochilco, 2016).

Los depósitos tipo IOCG Andinos se ubican desde la zona centro-sur de Perú hasta Chile central, estos se formaron durante el Jurásico Tardío a Cretácico Temprano (163-100 Ma) y se asocian por lo general a rocas de arco volcánico que son precursoras a cuencas extensionales de trasarco (Maksaev et al., 2006). Sin embargo, los depósitos de mayor envergadura como Candelaria y Manto Verde están asociados a una edad más joven correspondiente al Cretácico Inferior, acotado aproximadamente entre los 130-100 Ma, durante un ambiente compresivo-extensivo (Jane, 2016).

Específicamente cerca del área de estudio, se encuentra minera Candelaria perteneciente al distrito minero Punta del Cobre, a tan solo 5km de distancia, que corresponde a un depósito tipo IOCG, de edad aproximada 115 Ma, datado con U-Pb en diques (del Real, 2018), donde comparte algunas características similares con Mina Soplona, como estratigrafía y la forma en la que se hospeda la mineralización.

El distrito minero Las Pintadas (figura 3) se caracteriza por rocas volcánicas de la Formación Punta del Cobre, que subyace a rocas sedimentarias del Grupo Chañarcillo, ambas formaciones se encuentran intruidas por el batolito Copiapó desde el oeste. Al oeste de los estratos del Grupo Chañarcillo se interdigitan lateralmente en todos los niveles con capas volcánicas y sedimentarias a la Formación Bandurrias (Segerstrom, 1960). En el este existe una discordancia erosiva sobre el Grupo Chañarcillo donde sobreyace la Formación Cerrillos (Sagerstrom y Parker, 1959).



Leyenda

- Mga**
Gravas de Atacama (Moceno Medio)
Gravas aterrazadas polimicticas mal a medianamente consolidadas.
- Qal**
Depósitos aluviales (Cuaternario)
Ripios, gravas y arenas no consolidadas y mal clasificadas.
(1) Inactivos
(2) Activos
- Kc**
Formación Cerrillos (Albano-Turoniano)
Secuencia sedimentaria volcánica continental constituida por areniscas bien estratificadas, paraconglomerados, brechas intercaladas con areniscas rojas y lavas andesítico-basálticas. Las areniscas tienen intercalaciones lacustres con restos de planitas y ostrácodos
a) Fangolitas rojas y calizas amarillentas.
- Grupo Chañarillo**
- Kip**
Formación Pabellón (Barremiano Superior-Aplano)
Secuencia sedimentaria marina a transicional, fosilífera, formada por calcilitutas, calcilitutas bioturbadas, calcarenitas y fangolitas monomiloníticas negras ('cherts') en la base.
(a) Areniscas y conglomerados volcánicos.
(b) Areniscas calcáreas, paraconglomerados, brechas y lavas.
(c) Megabrechas y pliegues sinsedimentarios.
- Kit**
Formación Totoralillo (Barremiano)
Secuencia sedimentaria marina fosilífera, constituida por calcilitutas con laminación plana milimétrica, calcilitutas arenosas macizas y calcilitutas biocálizas.
- Kin**
Formación Nantoco (Hauteriviense)
Secuencia sedimentaria marina fosilífera a transicional formada por:
(1) Miembro Inferior: calcilitutas y calcilitutas limosas con thalassinoides
(2) Miembro Superior: calcilitutas negras finamente laminadas y calcarenitas amarillentas con evaporitas
- Kia**
Formación Abundancia (Valanginiano Superior)
Secuencia marina fosilífera formada por calcilitutas blanquecinas alternadas rítmicamente con grauwakas verdes.
- JKpc**
Formación Punta del Cobre (Jurásico Superior-Valanginiano Inferior)
Secuencia volcánica sedimentaria marina a transicional formada por lavas andesíticas, andesítico-basálticas con 'pillows' y traquiandesíticas, domos y lavas domo dacíticas, brechas de 'slump' y brechas volcanoclásticas indiferenciadas, conglomerados, areniscas con estratificación cruzada, lutitas laminadas rojas y limolitas tobáceas.
(a) Domos y lavas domo dacíticas.
(b) Calcilitutas biocálizas macizas.
- Kgdll**
Granodiorita Los Lirios (ca. 110 Ma)
Granodioritas de biotita y hornblenda con variaciones a tonalitas y a dioritas cuarcíferas de clinopiroxeno.
- Kidlb**
Diorita La Brea (123-117Ma)
Dioritas de clinopiroxeno y hornblenda con biotita ocasional.
(a) Microdioritas y microdiorita cuarcíferas de piroxeno y hornblenda.

Simbología

Estructuras

- Dique
- Fallas geológicas
- Falla observada
- ... Falla cubierta
- - - Falla inferida
- ▲ Falla inversa de alto ángulo observada
- ▲ Falla inversa observada
- ▲ Falla normal observada

Cauces de agua

- Quebrada Secundaria
- Río

Metamorfismo

- ☆ Zona de Rocas corneas

Curvas de nivel

- Índice

Figura 3 Mapa Geológico del Distrito Las Pintadas, con la descripción de sus respectivas unidades. Recuperado de Carta Los Loros (Arévalo, 2005).

2.2 Marco Tectónico Regional.

Las rocas de este sector se consideran una evidencia de la actividad de un arco magmático, relacionado a la subducción ocurrida durante la Orogenia Andina, periodo que comienza en el Jurásico y se extiende hasta la actualidad. Este periodo según Coira et al. (1982), se puede dividir en un periodo temprano y en un periodo tardío. El primer periodo (Jurásico Temprano-Cretácico Temprano) se caracterizó por la reactivación de una subducción de alto ángulo en el borde occidental de Gondwana, asociado a un régimen extensivo en la placa continental. Mientras que el segundo (Cretácico Temprano-Presente) corresponde a una inversión de las cuencas extensionales formadas en el primer periodo y un alzamiento de la cordillera de Los Andes. Siendo estas rocas formadas en el primer periodo de esta Orogenia Andina.

Charrier et al. (2007), divide el periodo temprano en dos subetapas: la primera subetapa que va desde el Pliensbachiense al Kimmeridgiense (180-157 Ma), caracterizado por gran actividad en el arco magmático, que se encuentra orientado norte-sur y el desarrollo de un ciclo marino transgresivo-regresivo en la cuenca de tras arco, al este del arco mencionado; y un segundo periodo que va desde el Kimmeridgiense al Aptiano-Albiano (157-100 Ma), reduciendo en algunas regiones la actividad magmática asociada al arco y un segundo ciclo marino transgresivo-regresivo en la cuenca de tras arco (Charrier et al., 2007), que se ve representado en el distrito por el Grupo Chañarcillo (Sagerstrom y Parker, 1959).

Dentro de este periodo (Jurásico Superior-Cretácico Inferior) también se generó el Sistema de Fallas de Atacama a lo largo de la actual Cordillera de la Costa, que consiste en un sistema de fallas de escala continental, alcanzando los 1000 km de extensión (Naranjo, 1987). Caracterizado por una orientación norte-sur, noreste y noroeste, con una cinemática principalmente transtensional sinistral (Arévalo y Creixell, 2009; Grocott y Taylor, 2002).

Los depósitos IOCG como Mantoverde expuestos en la Franja Ferrífera chilena, se asocian espacialmente al Sistema de Fallas de Atacama (Morales 2017), donde la migración de fluidos ocurre gracias a la presencia de las estructuras. La mineralización de la franja comienza en el Jurásico Inferior, sin embargo, los depósitos más importantes de esta franja se asocian al Cretácico Inferior (Grocott y Taylor, 2002).

Finalmente, en el Cenozoico ocurrieron 3 eventos principalmente compresivos durante el Paleoceno, Eoceno y Mio-Plioceno, caracterizado por la propagación de grandes

fallas de cabalgamiento de basamento hacia el este. Debido a esto, ocurrió una interacción con fallas normales del Mesozoico, modificando la geometría inicial de basamentos Mesozoicos (Martínez et al., 2019).

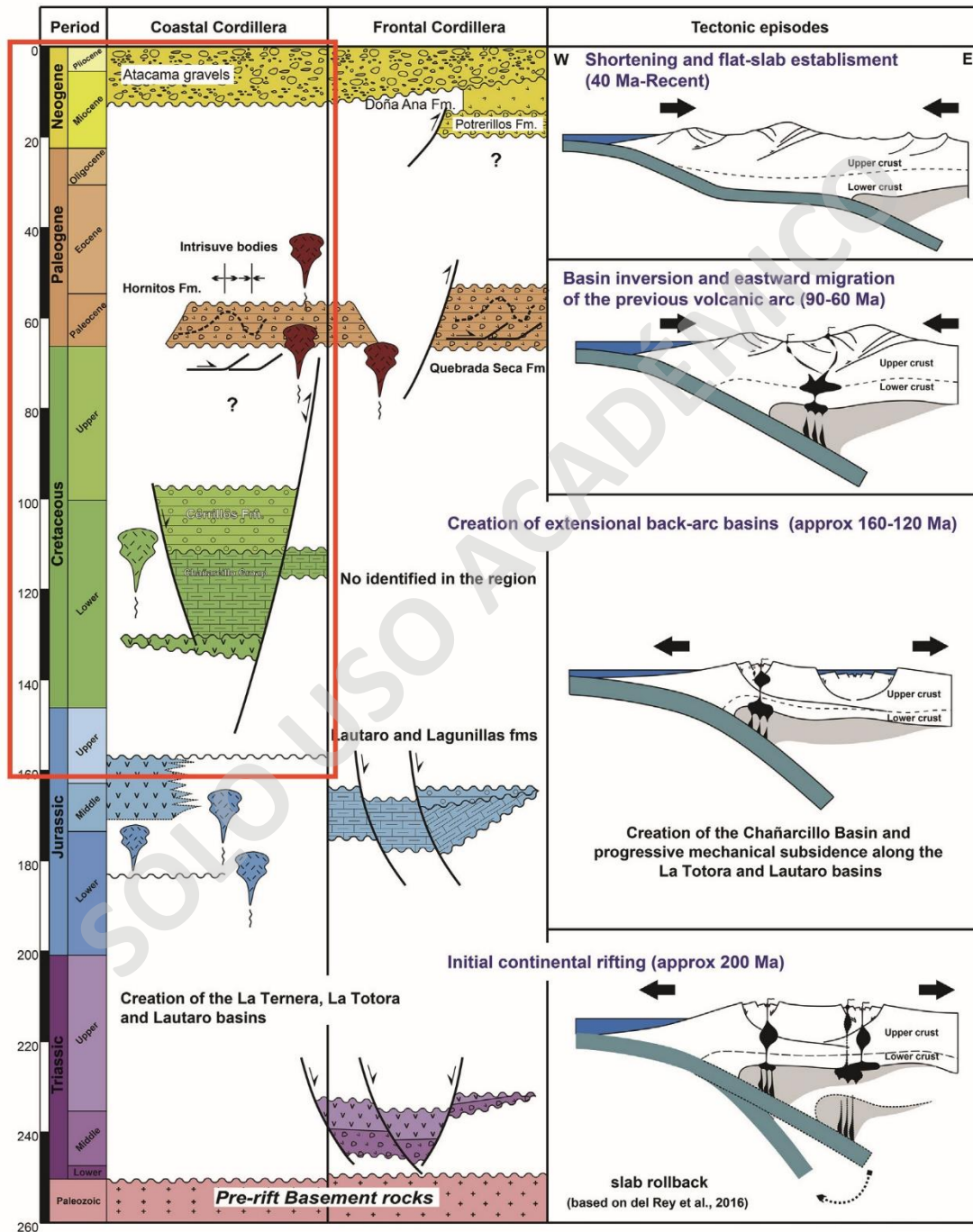


Figura 4 Evolución tectonoestratigráfica de la cuenca Chañarcillo. (modificado de Martínez et al. 2019).

2.3 Geomorfología.

Los dominios geomorfológicos de mayor orden de la región de Atacama, tienen una dirección preferencial N-S y de oeste a este son: Cordillera de la Costa, Depresión Central, Precordillera, Depresión Preandina y Cordillera Principal. Estas morfoestructuras evidencian el desplazamiento del arco magmático ubicado actualmente en la Cordillera Principal (Mpodozis & Ramos, 1989).

El área de estudio, se encuentra en la parte sur del Desierto de Atacama, entre los 700 y 1200 msnm al norte de la Quebrada Las Pintadas, en una zona de transición donde se pierde la depresión central y comienza la aparición de valles transversales. A 7.5 km se encuentra el Río Copiapó, que es considerado como el principal accidente geográfico del sector, este se encuentra flanqueado por abruptos cordones montañosos en ambos lados con dirección norte-sur, asociado probablemente a un control estructural. La hiperaridez típica y la intensa actividad agrícola del sector, ha generado escasez de los recursos hídricos en la cuenca hidrográfica del valle (Lazcano, 2018).

A modo general a través de imágenes satelitales, es posible identificar morfologías de cono de deyección, abanicos aluviales que se ven interrumpidos por valles fluviales y remociones en masa del tipo aluvial, coluvial y fluvio-aluviales, los cuales se encuentran rellenando los valles.

2.4 Geología Distrital.

2.4.1 Formación Punta del Cobre.

Definido originalmente por Segerstrom y Ruiz (1962), como una secuencia volcánica y sedimentaria, con estratificación gruesa, que subyace concordante con la Formación Abundancia, la formación se subdivide en cuatro miembros principales de base a techo, (1) Andesitas Inferiores, consiste en andesitas de grano fino a medio, separados por flujos de autobrechas, bloques y flujo de cenizas y sedimentos volcánicos retrabajados; (2) Dacitas, con texturas masivas y brechizadas, estas últimas se encuentran mayoritariamente en la parte superior e inferior del miembro; (3) Unidad Volcánica Sedimentaria, en el lado este del valle Copiapó se encuentra brechas volcánicas variando al oeste a rocas sedimentarias de grano fino intercalado con tobas. (4) Andesitas Superiores, que consiste en lentes discontinuos de andesitas-basálticas porfíricas con facies de flujo local de autobrechas y lavas basálticas afaníticas, el nivel de lentes andesítico-basáltico se encuentra localmente intercalado con brechas, rocas volcanosedimentarias, areniscas y lutitas de la base del Grupo Chañarillo. Estudios de U-Pb en zircones indican una edad de $132.4 \pm \text{Ma}$ (del Real, 2018).

2.4.2 Grupo Chañarillo.

Definido por Segerstrom y Parker (1959) en el valle del río Copiapó, por las formaciones desde abajo hacia arriba, formación Abundancia, Nantoco, Pabellón y Totoralillo. Se caracteriza por tener calcilutitas y grauwackas, intercaladas con capas de volcarenitas verdes (Formación Abundancia), calcilutitas, calcilutitas limosas y calcoarenitas (Formación Nantoco), calcilutitas y wackestones (Formación Totoralillo) y calcilutitas, cherts, wackestones y areniscas calcáreas (Formación Pabellón). El techo de la columna se encuentra en contacto erosivo con la Formación Cerrillos (Segerstrom y Ruiz, 1962).

2.4.3 Grupo Bandurrias.

Caracterizado por andesitas a andesitas basálticas y traquiandesitas, con sedimentos continentales volcanoclásticas y tobas intercaladas con lutitas y areniscas (Sagerstrom, 1960, 1967). Este grupo se encuentra interdigitado con el Grupo Chañarillo (Figura 3), lo que indica que son temporalmente equivalentes. El Grupo Bandurrias se

vuelve más predominante hacia el norte, alcanzando potencias de 2500-3000 m (del Real, 2018).

2.4.4 Formación Cerrillos.

Unidad esencialmente clástica y volcánica, compuesta por areniscas, paraconglomerados y brechas volcánicas gruesas, intercaladas con areniscas, lavas andesítica y andesítico-basáltico y brechas andesíticas autoclásticas. Esta formación incluye en su base material erodado del Grupo Chañarcillo. (Sagerstrom and Parker, 1959).

2.4.5 Gravas de Atacama.

Corresponden a depósitos de gravas y ripios mal consolidados, con mala a moderada selección, formadas producto de interacción de procesos fluviales, aluviales y coluviales, asociados a redes hidrográficas antiguas (Mortimer, 1973). Esta fase se asocia a una fase de alzamiento del Altiplano, relacionada con deformación compresiva en los inicios del proceso de disminución del ángulo de subducción (Mpodozis et al., 1995)

2.4.6 Depósitos Aluviales.

Depósitos de ripios, gravas y arenas, que ocupan laderas de baja pendiente y rellenan quebradas. Se separan en depósitos activos, que corresponde a gravas y ripios no consolidados, de mala selección y se encuentran relleno cursos disecados de depósitos anteriores; y depósitos inactivos, compuesto por clastos oligomícticos y subangulosos en una matriz limo arenosa. La formación de estos depósitos se produce por acumulación de flujos gravitacionales densos, aguas debajo de zonas altas (Arévalo, 2005).

2.4.7 Batolito Copiapó.

El cuerpo intrusivo más importante del distrito corresponde al batolito de Copiapó y su composición varía de diorita a monzonita de cuarzo (SiO_2 50-68%; Marschik y Fontbote, 2001). Las fases principales del batolito de Copiapó son: (1) Diorita La Brea con una superficie de exposición de 270 km², corresponde a un Plutón compuesto por dioritas con clinopiroxeno (predominante al norte del distrito Punta del Cobre) y hornblenda (predominante al Oeste, norte y sur de Candelaria), de edad 118 ± 1 Ma medido por U-Pb en zircones (Marschik and Söllner, 2006); (2) Monzodiorita San Gregorio, que corresponde a un plutón monzodiorítico que aflora 13 km en dirección norte-sur, limitado por fallas

sinestrales al oeste y al este que lo ponen en contacto con el Plutón La Brea. Está compuesta por monzodioritas de hornblenda, biotita y clinopiroxeno con actinolita y turmalina ocasional. La edad es de $115 \pm \text{Ma}$, medido con U-Pb en zircones (Marschik and Söllner, 2006); Finalmente (3) Granodiorita Los Lirios que corresponde a un cuerpo intrusivo, predominantemente granodiorítico, variando a tonalitas, elongado en dirección norte-sur, por unos 11 km y con un ancho máximo de 3km, cortando el Distrito Minero Las Pintadas y en contacto con Diorita la Brea. Las rocas encontradas son las más félsicas de los intrusivos presentes en el sector y son mayoritariamente granodioritas de biotita y hornblenda, tonalitas y dioritas cuarcíferas (Arévalo, 2005). La edad obtenida para este cuerpo intrusivo es de $110.7 \pm 0.4 \text{ Ma}$ datado con U-Pb en zircones (Marschik and Söllner, 2006), siendo la fase más joven del batolito de Copiapó.

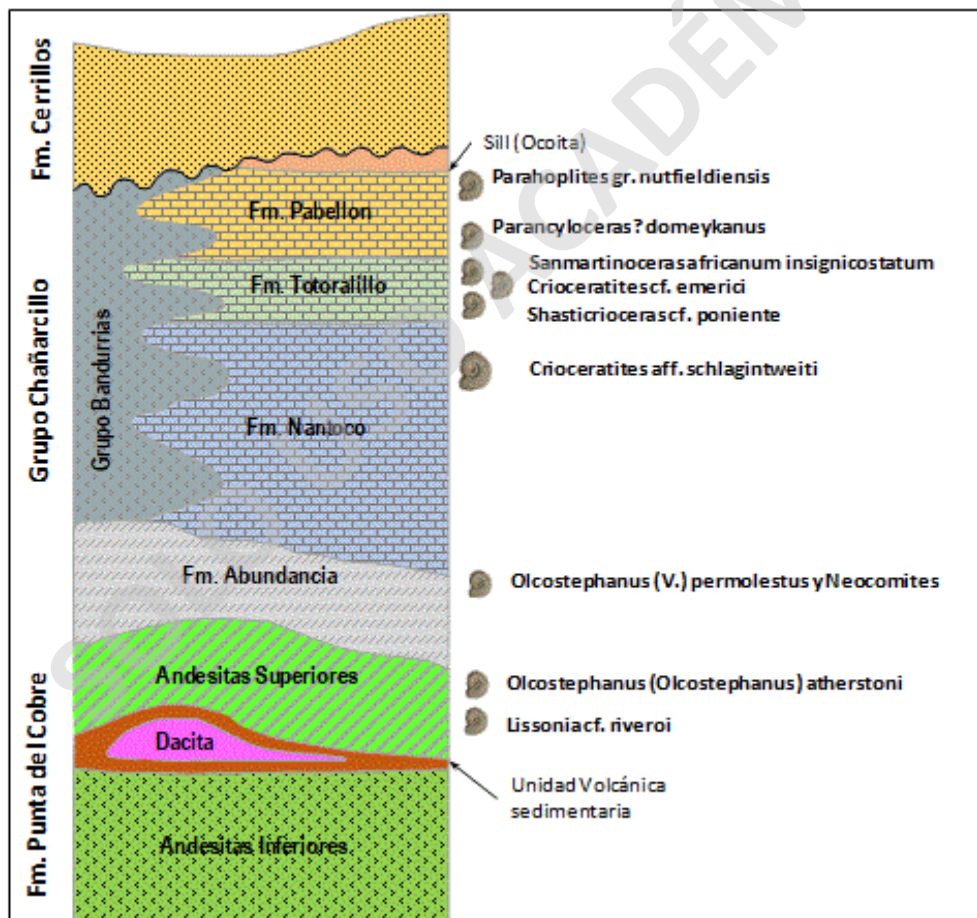


Figura 5 Columna estratigráfica Cretácico Inferior región de Copiapó. Recuperado de Mina Soplona Distrito Minero Las Pintadas (Lazcano, 2018).

CAPÍTULO 3: GEOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO.

En la propiedad se han realizado pocos estudios geológicos de escala local, de los que destacan dos proyectos de mapeo geológico hechos por Minera Candelaria que quedaron inconclusos y un estudio de Tilling (1960), que abarca la geología de la zona de Tierra Amarilla y alrededor. Sin embargo, Lazcano (2018), en un informe para la empresa CEM San Andrés, muestra que en el área de estudio afloran principalmente, rocas metamórficas de contacto, que corresponden a granatitas, rocas corneas de piroxeno-escapolita y rocas corneas de cuarzo intercalado con algunos niveles ricos en magnetita, equivalentes metamórficos de rocas de la formación Abundancia y Nantoco, cortadas por numerosos diques a lo largo de toda la propiedad. Además, señala que las principales estructuras corresponden a fallas subverticales con orientación NW y movimiento sinistral, siendo algunas de extensión distrital. Existe otro sistema menor representado por fallas con orientación NE subverticales.

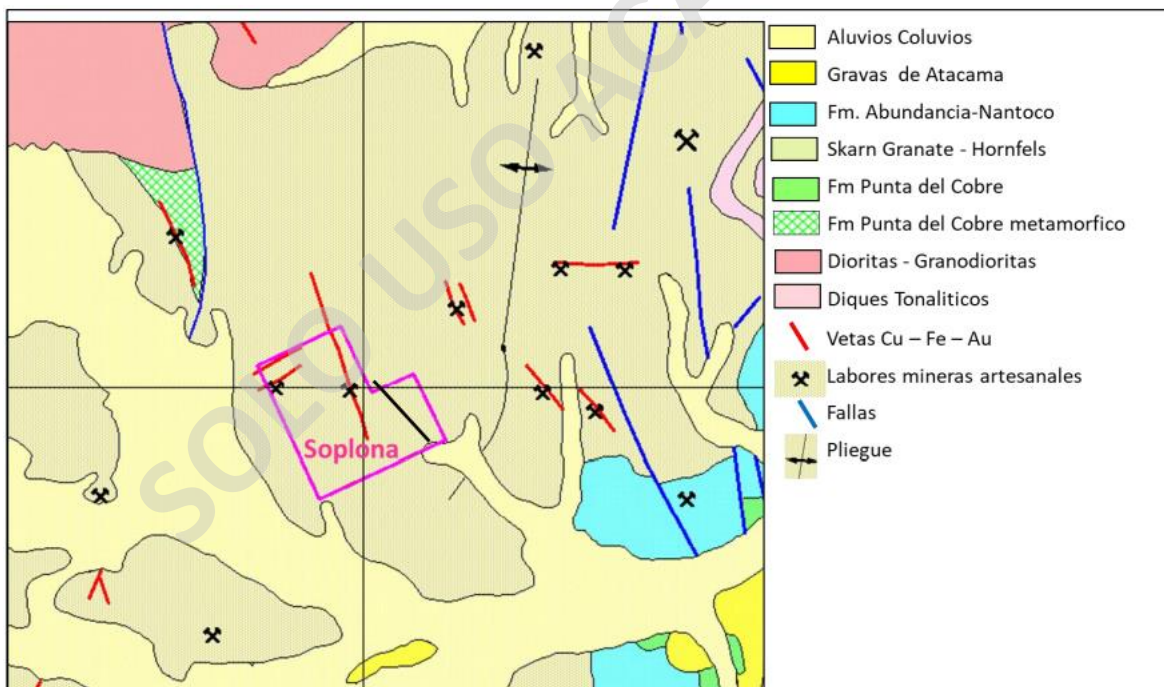


Figura 6 Geología Local Simplificada, Recuperado de Mina Soplona Distrito Minero Las Pintadas (Lazcano, 2018).

Existen además otros estudios en la propiedad hechos también por Minera Candelaria durante los años 1989-1990 y 2005-2007, de los cuales la información está disponible de

forma parcial. Destaca un estudio geoquímico en la que se recolectaron 329 muestras en cortes de camino, vetas y afloramientos contemplando un análisis de 12 elementos que corresponden a Ag, As, Au, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Mo, Pb, Sb y Zn (Figura 7). Los resultados fueron separados en 3 grupos de elementos, el primero incluyendo Ag, Cd y Sb, que presentan más de un 95% de datos por debajo del límite de detección y que no fueron considerados en análisis posteriores. Un segundo grupo que incluye As, Mo, Pb y Zn, los que no definen anomalías. Por último un tercer grupo considerado el más importante desde un punto de vista económico que incluye Au, Co, Cu y Fe, en los que destacan valores anómalos (Lazcano, 2018).

Tipo de muestra	Cantidad muestras	Au ppm			Co ppm			Cu %			Fe %		
		Mínimo	Máximo	Media	Mínimo	Máximo	Media	Mínimo	Máximo	Media	Mínimo	Máximo	Media
Afloramientos (perfiles)	90	0.01	0.43	0.050	2	340	38.8	0.01	1.19	0.15	2.30	60.38	19.70
Corte caminos	216	0.01	0.70	0.060	6	290	74.3	0.01	1.20	0.23	2.70	46.80	25.50
Veta Silvina	13	0.04	1.24	0.380	14	460	173,0	0.20	3.02	1.56	4.70	47.45	25.60
Veta Este	10	0.02	0.32	0.087	24	610	182,0	0.11	2.68	0.91	16.75	55.10	39.49

Figura 7 Tabla con valores máximos, mínimos y medios para los cuatro elementos más importantes asociados al tipo de muestra. Recuperado de Mina Soplona Distrito Minero Las Pintadas (Lazcano, 2018).

Otro estudio realizado por Minera Candelaria, corresponde a un extenso servicio de geofísica, en el que se utilizó el método eléctrico de polarización inducida (IP), permitiendo detectar zonas con presencia de sulfuros en el subsuelo. Las mediciones de este estudio se realizaron según 8 perfiles, seis de orientación noreste y dos de orientación noroeste (Lazcano, 2018).

Finalmente, un último estudio correspondiente a una campaña de sondajes (Figura 8) hecho también por Minera Candelaria dentro de Mina Soplona, se perforaron 6404,77m de sondajes, distribuidos en 5 pozos con circulación reversa y 15 pozos con corona de diamante. Estos datos se utilizaron para explorar las anomalías geofísicas (IP), con el fin de reconocer el potencial del sistema de vetas y encontrar posibles cuerpos tipo manto, similares a mina Las Pintadas. Se obtuvieron resultados asociados a las anomalías geofísicas en la cota 600 msnm, pero fueron negativos en la detección de mineralización de cobre. Sin embargo, los pozos de Veta Este, Veta Silvina y Veta Soplona, fue posible demostrar la continuidad de las vetas y determinar la potencia de estas, obteniendo leyes superiores a 1% Cu. Fue posible además encontrar otros tramos con menor ley que varían entre 0.4% y 0.8% Cu.

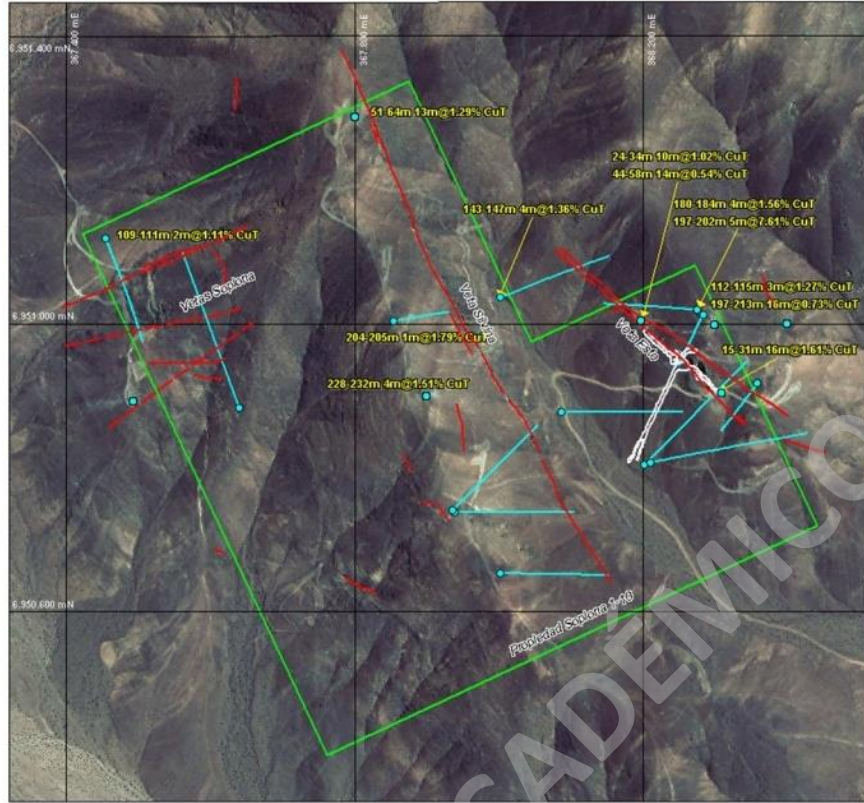


Figura 8 Campaña de sondajes en Mina Soplona. Recuperado de Mina Soplona Distrito Minero Las Pintadas (Lazcano, 2018).

CAPÍTULO 4: RESULTADOS.

Se reunieron un total de 1602 puntos de control (registrados con GPS; Figura 5) asociados a Contactos (253), Diques (203), Fallas (51), Unidades (606), Vetas (332), Planos de Estratificación (52) y Cuerpos Intrusivos Plutónicos (105), los cuales se utilizaron para generar el mapa geológico en superficie de la mina (Figura 9).

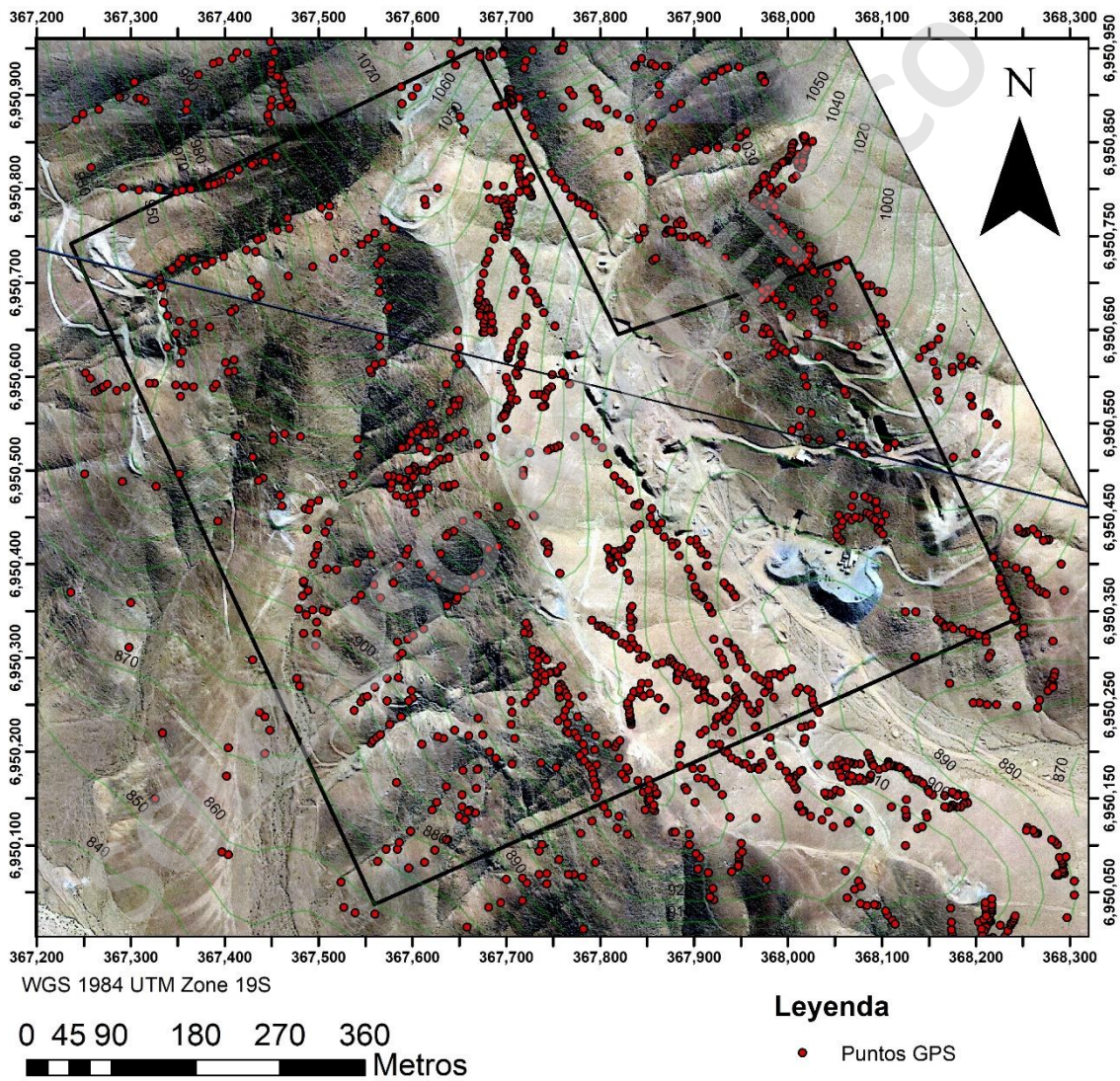


Figura 9 Puntos GPS de los datos obtenidos en terreno.

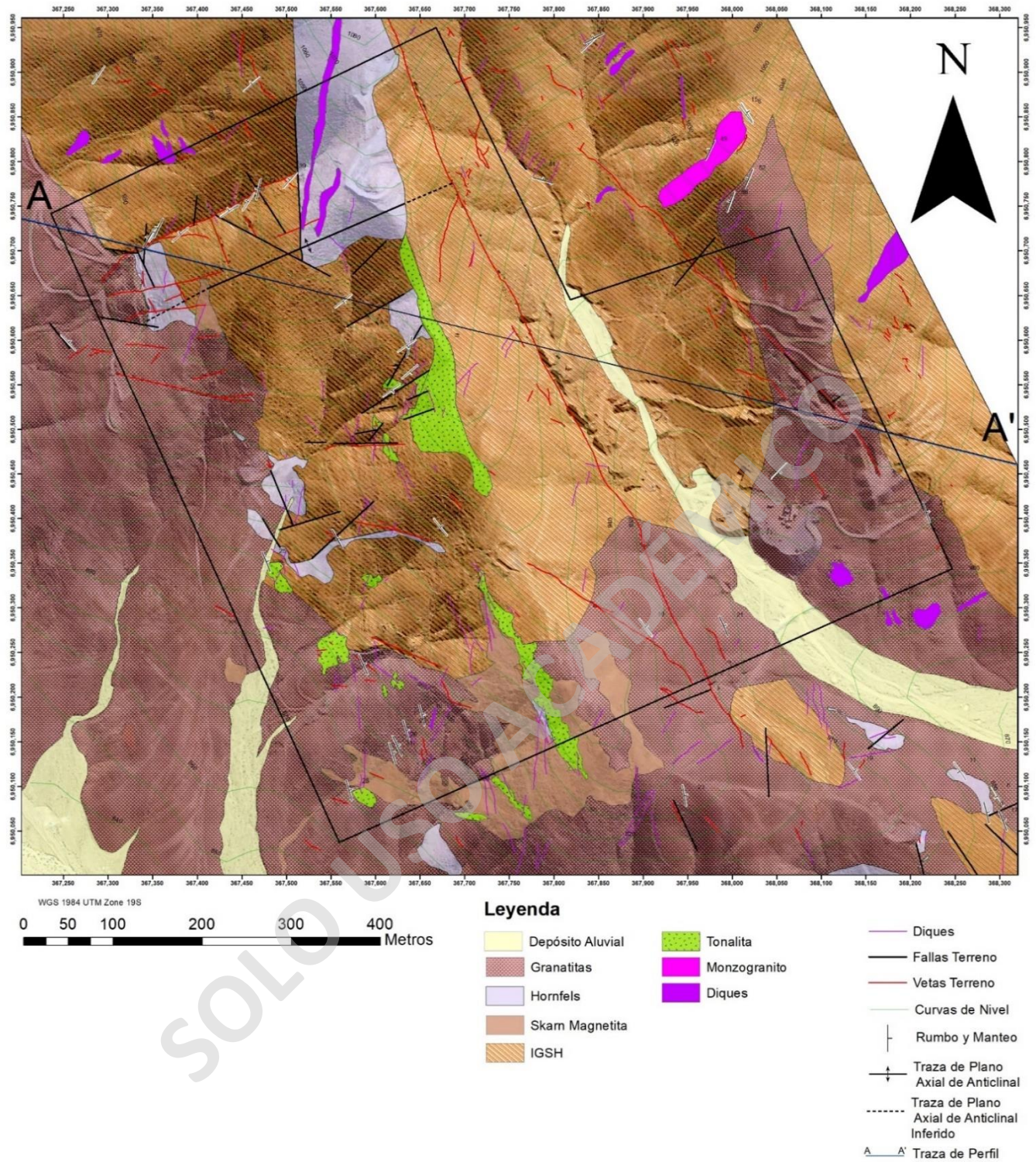


Figura 10 Mapa geológico Mina Soplona.

4.1 Mapa Geológico y Litologías.

El trabajo en terreno permitió identificar las unidades presentes en Mina Soplona, en un contexto de metamorfismo de contacto en rocas calcáreas-siliciclásticas, generado por el Batolito Copiapó y específicamente por el Plutón Los Lirios. En el área se encontraron principalmente rocas escarnificadas y Hornfels.

Las unidades en Mina Soplona se pueden describir como una secuencia de rocas metamórficas de contacto, las cuales predominan superficialmente (Figura 10). Se definieron 8 unidades basadas en criterios litológicos y mineralógicos. Debido a la escala de trabajo, se encuentra una unidad llamada "IGSH" (Intercalación Granatitas, Skarns y Hornfels), definida como una unidad compuesta por una intercalación de las litologías del resto de las unidades. Debido que el espesor de las capas individuales de la intercalación no supera los 2 m de espesor, y dada la escala de trabajo de 1:2500, se optó por agruparlas en una única unidad.

4.1.1 Unidad Granatita.

La unidad predominante en el área de estudio corresponde a granatitas, las cuales se encuentran como afloramientos relativamente uniformes de color rojizo a rojo oscuro y como afloramientos color canela con manchas negras. Eventualmente incluye pequeñas capas de Hornfels, las que no superan 20 cm de espesor (Figura 11).

Como observación de campo, la integridad de los granates está definido por la presencia de vetas, ante la presencia de estas, los granates tienden a alterarse casi en su totalidad y se encuentran de tamaño de grano medio a grano fino. Por el contrario, ante la ausencia de vetas, los granates se encuentran en tamaños que superan incluso los 6 cm de diámetro y con su forma bien definida.

A muestra de mano las granatitas M1GT (Figura 12), se encuentran en general como una roca roja oscura con textura masiva y fábrica isótropa, presenta magnetismo y está compuesta principalmente de granates oscuros y granates color canela (85%) euhedrales a subhedrales en una matriz de granate color canela (10%). Ocasionalmente el resto de la matriz está conformado por cuarzo, feldespato potásico, epidota y magnetita (5%), los cuales son identificables con lupa.

Existe un subgrupo de granatitas llamado M2GN (Figura 13) que se caracteriza ser una roca con fábrica isotrópica y textura porfiroblástica de granates negros, que superan incluso los 6 cm de diámetro (65%) en una matriz de granates color canela (25%), magnetita (5%), cuarzo (4%) y epidota (1%).

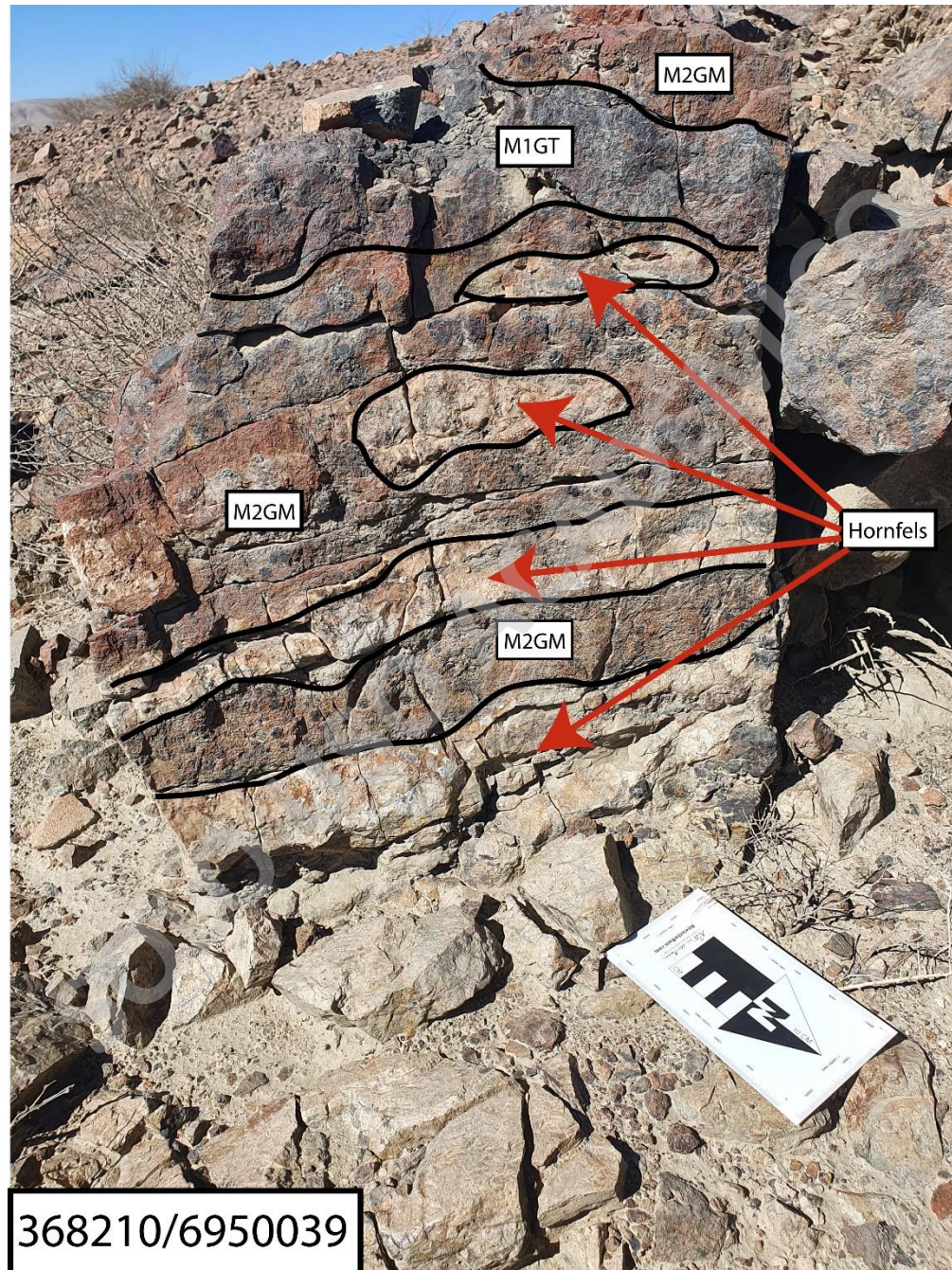


Figura 11 Afloramiento de Unidad Granatita con capas y lentes de Hornfels.

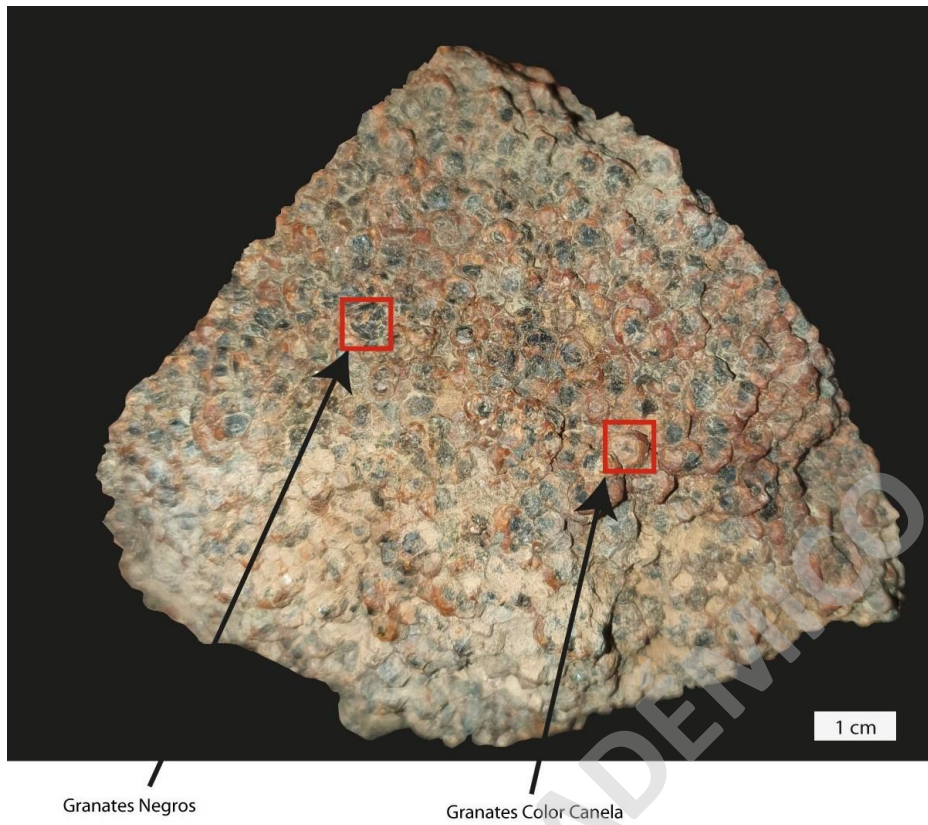


Figura 12: Granatita (M1GT) a muestra de mano.

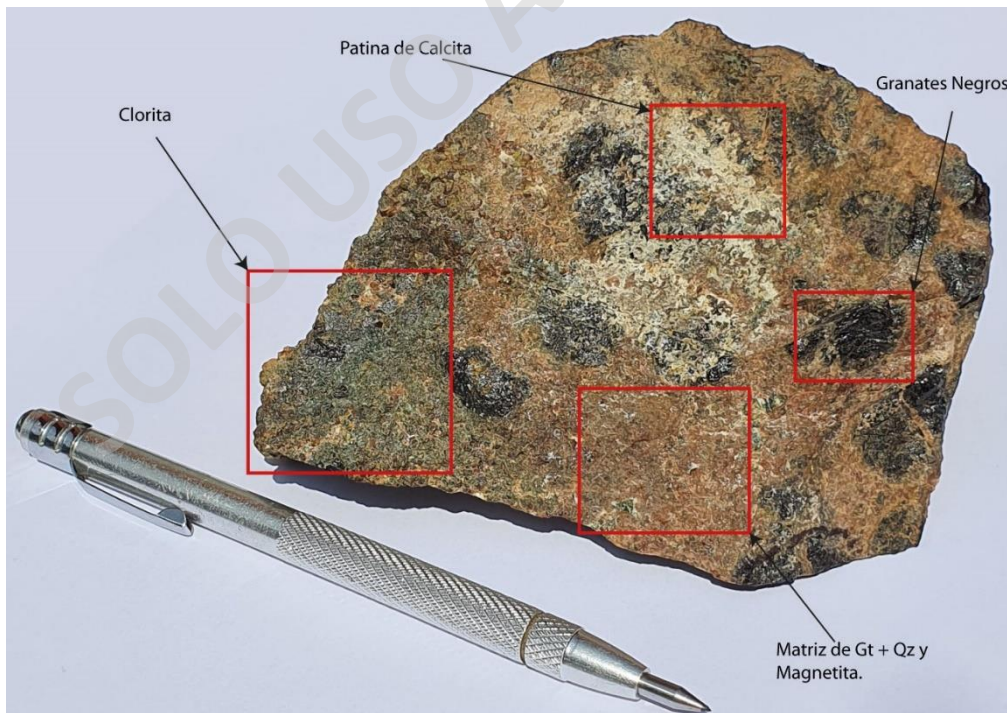


Figura 13: Granatita (M2GN) a muestra de mano.

En cortes transparentes (Figura 14 y Figura 15), se observan zonaciones en los granates, los cuales disminuyen su isotropía a medida que se aleja del núcleo y eventualmente son considerados la matriz de la roca. Una mayor isotropía de los granates está dada por mayor cantidad de aluminio en su estructura (Tilling, 1960), por ende, asocia los granates más externos a andradita y los más internos principalmente a grosularia. Además, es posible observar que en los intersticios de los granates frecuentemente son rellenados por cuarzo, clorita, epidota y algunos minerales opacos.

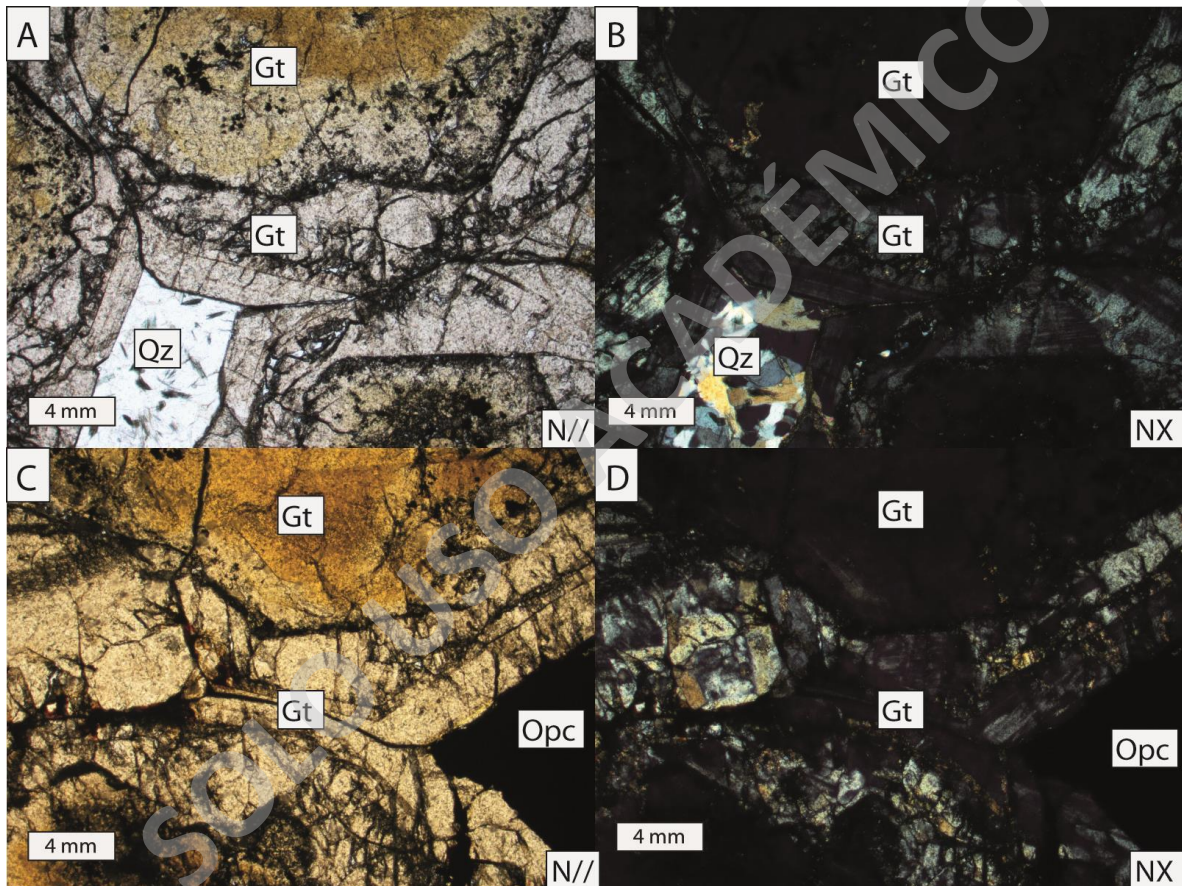


Figura 14: Muestra M1GT, A) y B), se observa la zonación de granate y el relleno con cuarzo (Qz) y clorita entre granates (Gt). C) y D), relleno de minerales opacos (Opc) en los intersticios de los granates.

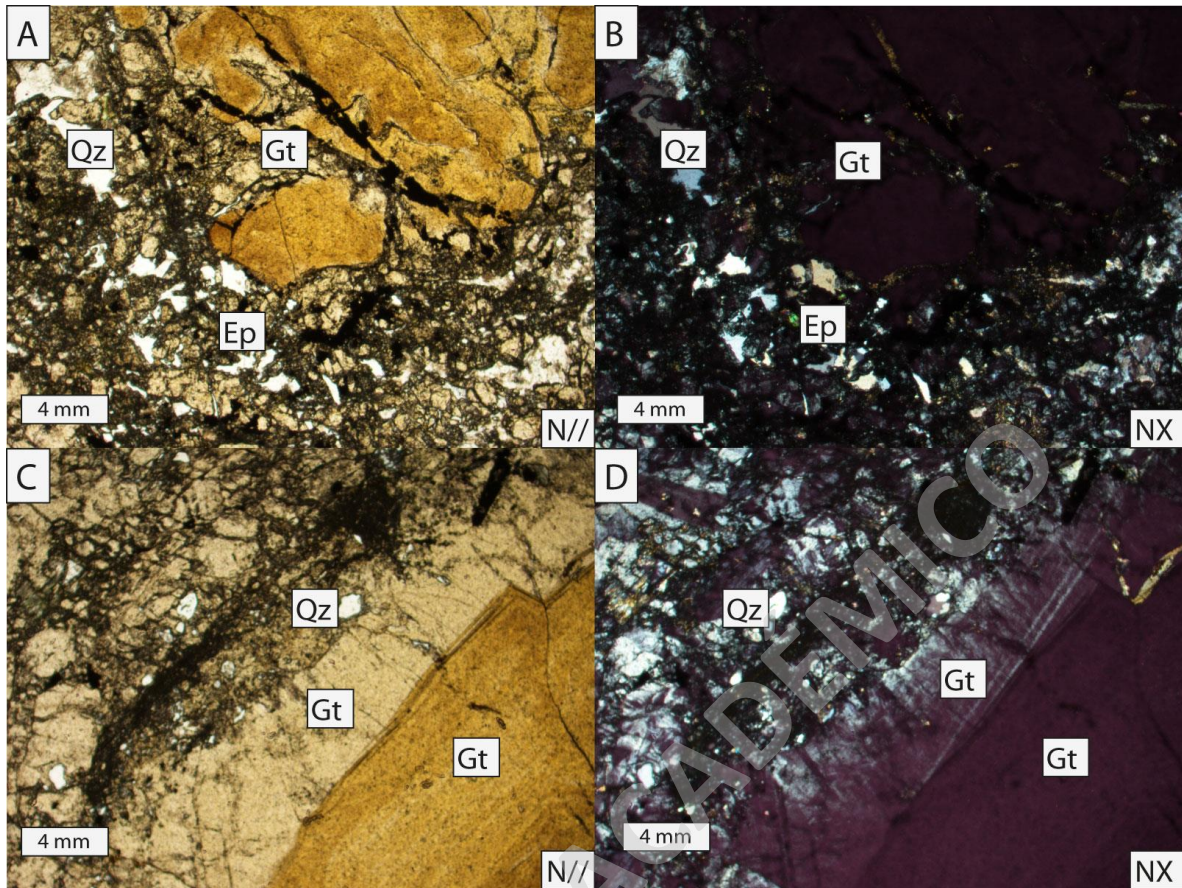


Figura 15: Muestra M2GM, en A) y B) se observan porfiroblastos de granate (Gt), un mayor porcentaje de cristales de cuarzo (Qz) en la matriz y cristales de epidota (Ep). C) y D) Se observa la zonación de un granate grano grueso, en una matriz compuesta de cristales de granate (Gt) menos isótopos y cuarzo.

4.1.2 Unidad Hornfels.

A nivel de afloramiento esta unidad se encuentra en color negro, gris, amarillento, rosado pálido, blanquecino y anaranjado (Figura 16). Es posible encontrarlo en lentes, en pequeñas capas y estratos con potencias que superan incluso los 5 metros de espesor, se encuentra a lo largo de toda la propiedad y en varias zonas forma parte de la Unidad IGSH. No obstante, predomina en extensión y en potencia al norte de la propiedad, donde es posible encontrar grandes paredes de esta unidad.

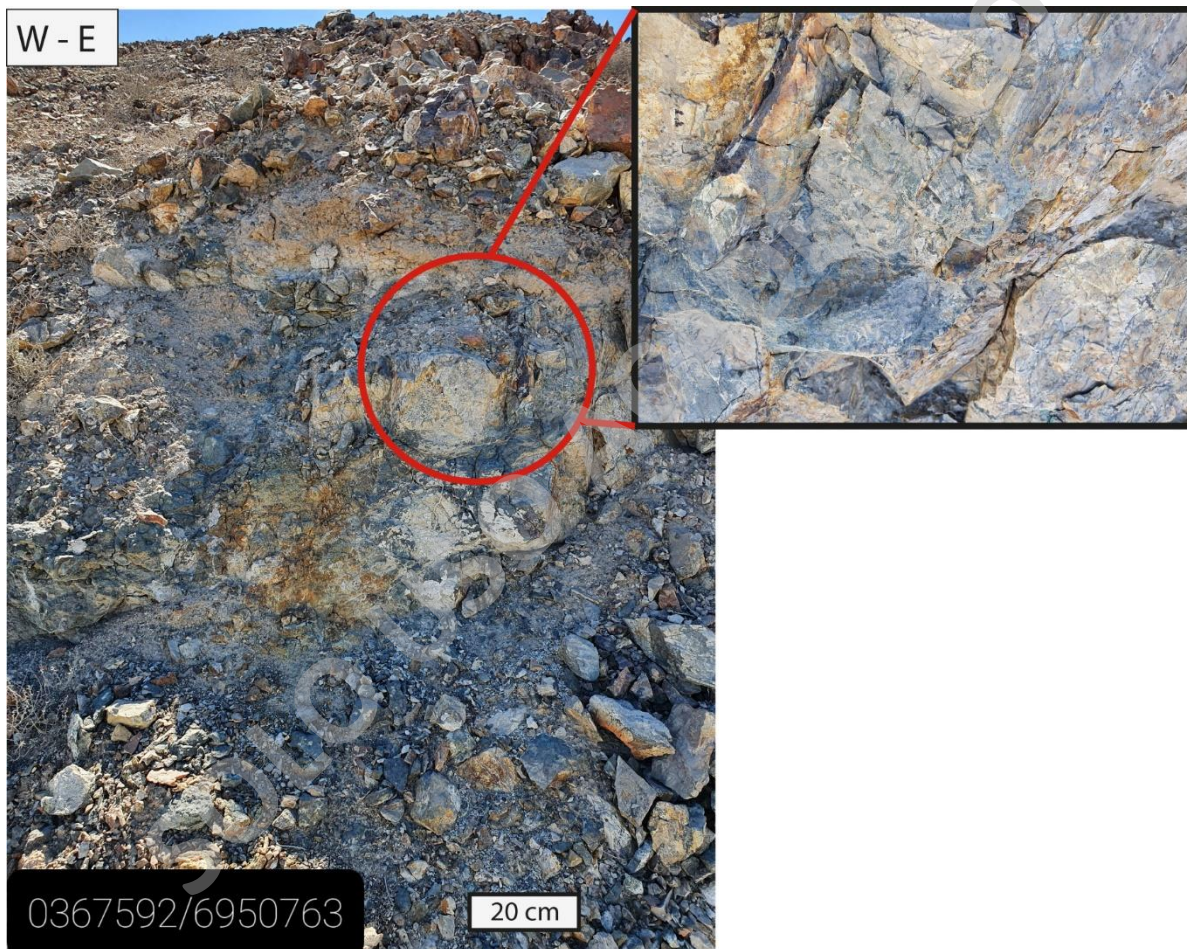


Figura 16: Afloramiento Unidad Hornfels, en la imagen se aprecia una pared de aproximadamente 2m de altura, junto con un acercamiento de cómo se ve la roca.

A muestra de mano, la roca M3RC se caracteriza por ser una roca muy resistente al martillo y se observa silicificación, tiene textura masiva y fábrica isotrópica. Eventualmente presenta porfiroblastos de pirita oxidada y óxidos de manganeso con hábito dendrítico que no superan los 10%, el 90% restante corresponde a un agregado microcristalino, que no es distinguible con lupa, otra característica de esta roca es que se reconocen varias vetillas, frecuentemente rellenas por magnetita, hematita, clorita y cuarzo (Figura 17).

Existe una subunidad denominada M4RN, que aflora solo en pequeñas capas que no superan los 1.5 metros de potencia entre capas de la roca anteriormente descrita y se encuentra principalmente en la ladera oeste del cerro que hospeda a Veta Silvina.

A muestra de mano (Figura 18) es una roca de color negro con fábrica isotrópica, en la que se observan pequeños cristales blancos de plagioclasa subhedral a anhedral que no superan los 2 mm de largo (30%), en una matriz un poco verdosa muy oscura que se encuentra a simple vista alterada con parches de epidota. Posee variadas vetillas rellenas principalmente con clorita y epidota.

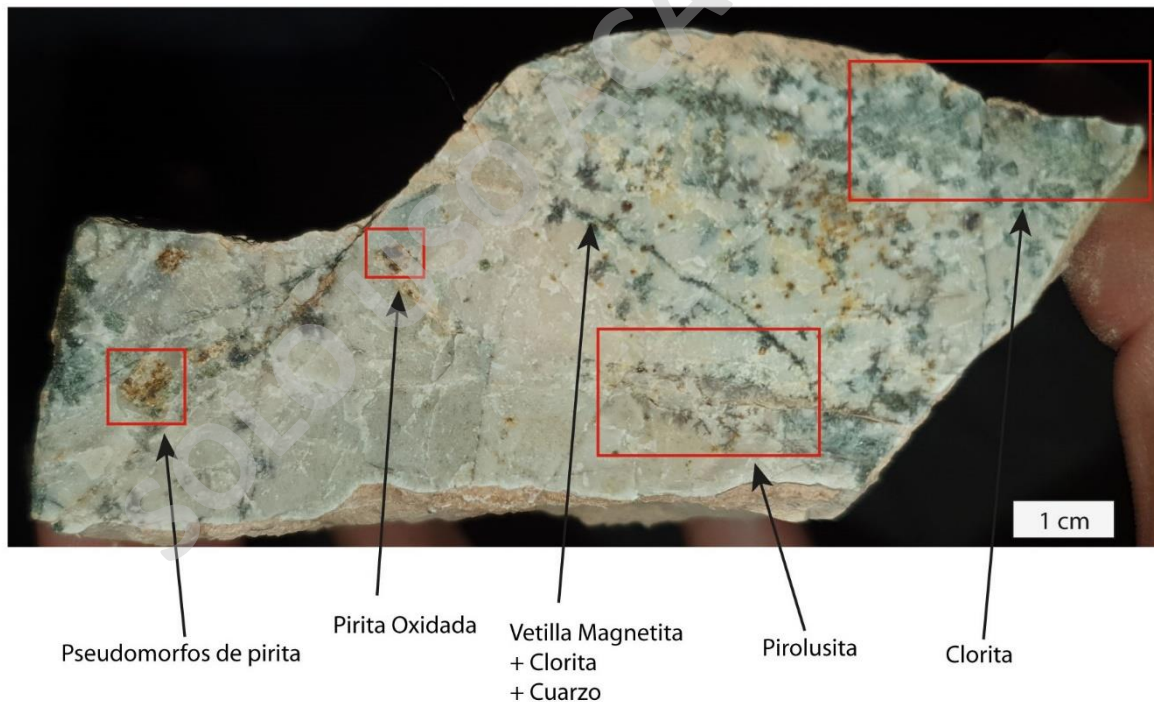


Figura 17: Hornfels M3RC a muestra de mano, es posible observar los cristales de pirolusita típicos de esta roca, además de las vetillas que se encuentran en casi la totalidad de los afloramientos.

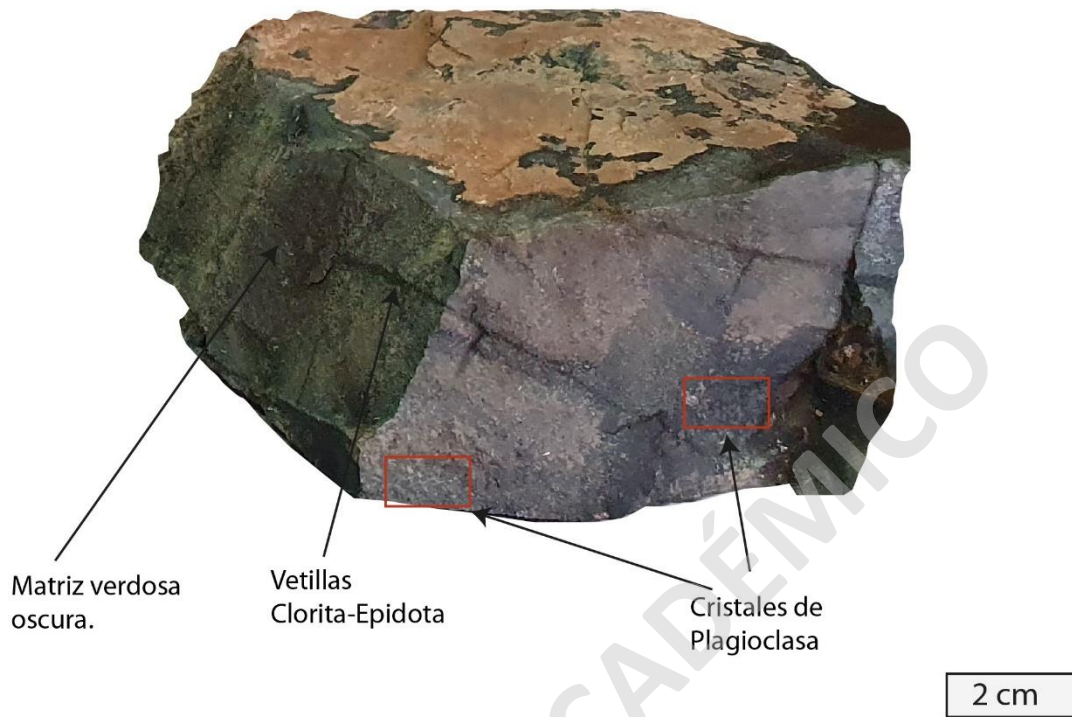


Figura 18 : Hornfels M4RN a muestra de mano.

En cortes transparentes, la muestra M3RC, no es posible distinguir texturas o los minerales que conforman la roca, debido a su muy pequeño tamaño de grano, sin embargo, es posible observar un agregado microcristalino formado por la recristalización que genera el metamorfismo de contacto. Dentro de los posibles minerales que conforman la matriz destacan cuarzo y escapolita, debido a sus similares propiedades al microscopio. En las vetas destacan minerales opacos, cuarzo, clorita y epidota (Figura 19).

Bajo microscopio óptico, la muestra M4RN exhibe una alteración clorita – epidota muy pervasiva, e incluso en ciertas zonas, se encuentran parches de epidota que superan los 2 cm. La matriz de la roca está conformada por cristales de clorita, epidota y opacos y casi no se puede observar minerales relictos que indiquen el protolito de la roca, a excepción de algunos agregados microcristalinos similares a la muestra M3RC, de los cuales no es posible indicar la mineralogía. Sumado a esto, se encuentran también vetillas rellenas por minerales opacos, clorita y epidota (Figura 20).

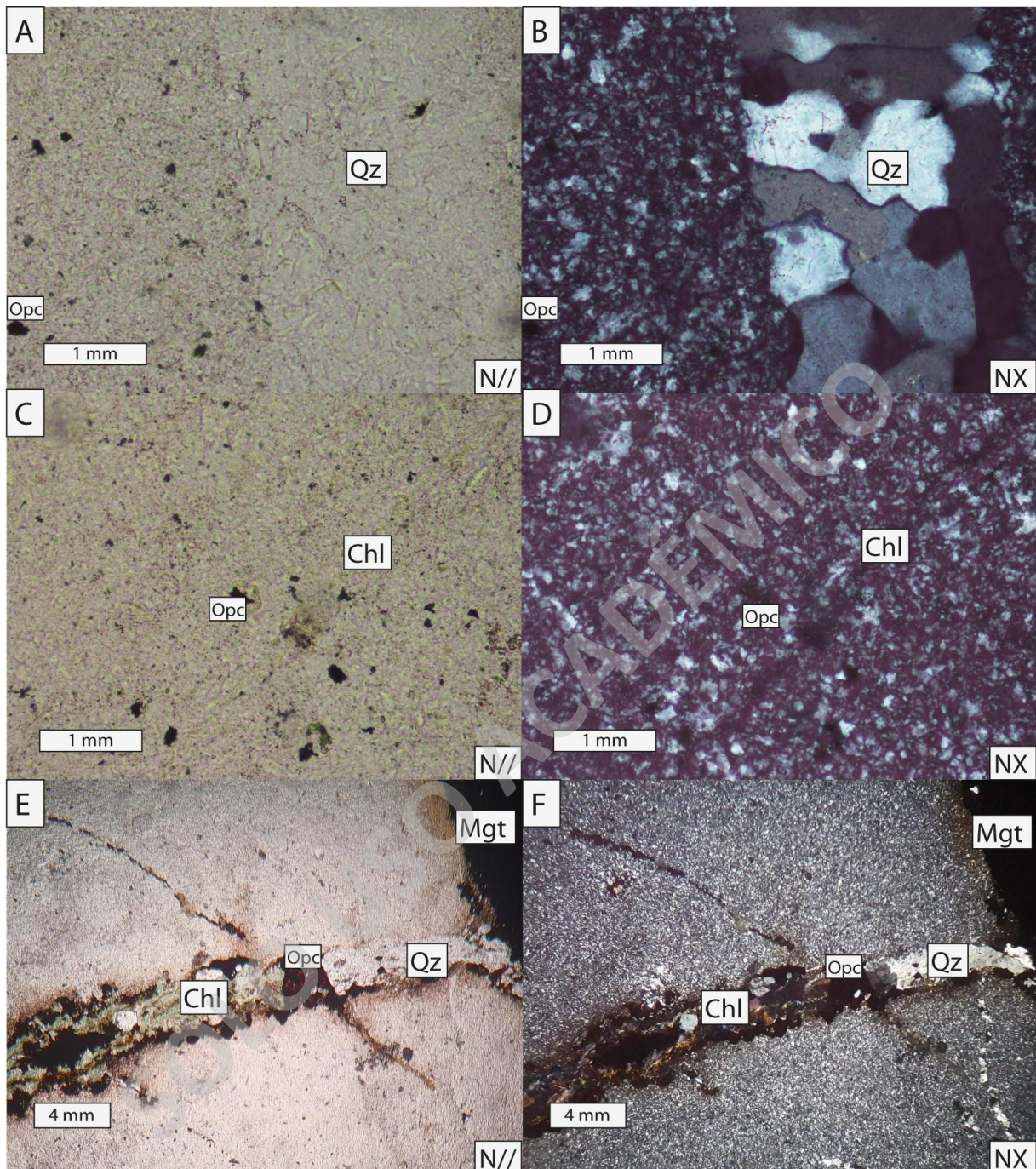


Figura 19: Muestra M3RC, se observa la matriz microcristalina con la presencia de vetillas. A) y B) se observan vetillas de cuarzo (Qz). C) y D) Vetillas de clorita (Chl). E) y F) Cruce de vetillas de clorita + minerales opacos (Opc) + cuarzo, con vetillas de magnetita (Mgt) y vetillas de cuarzo.

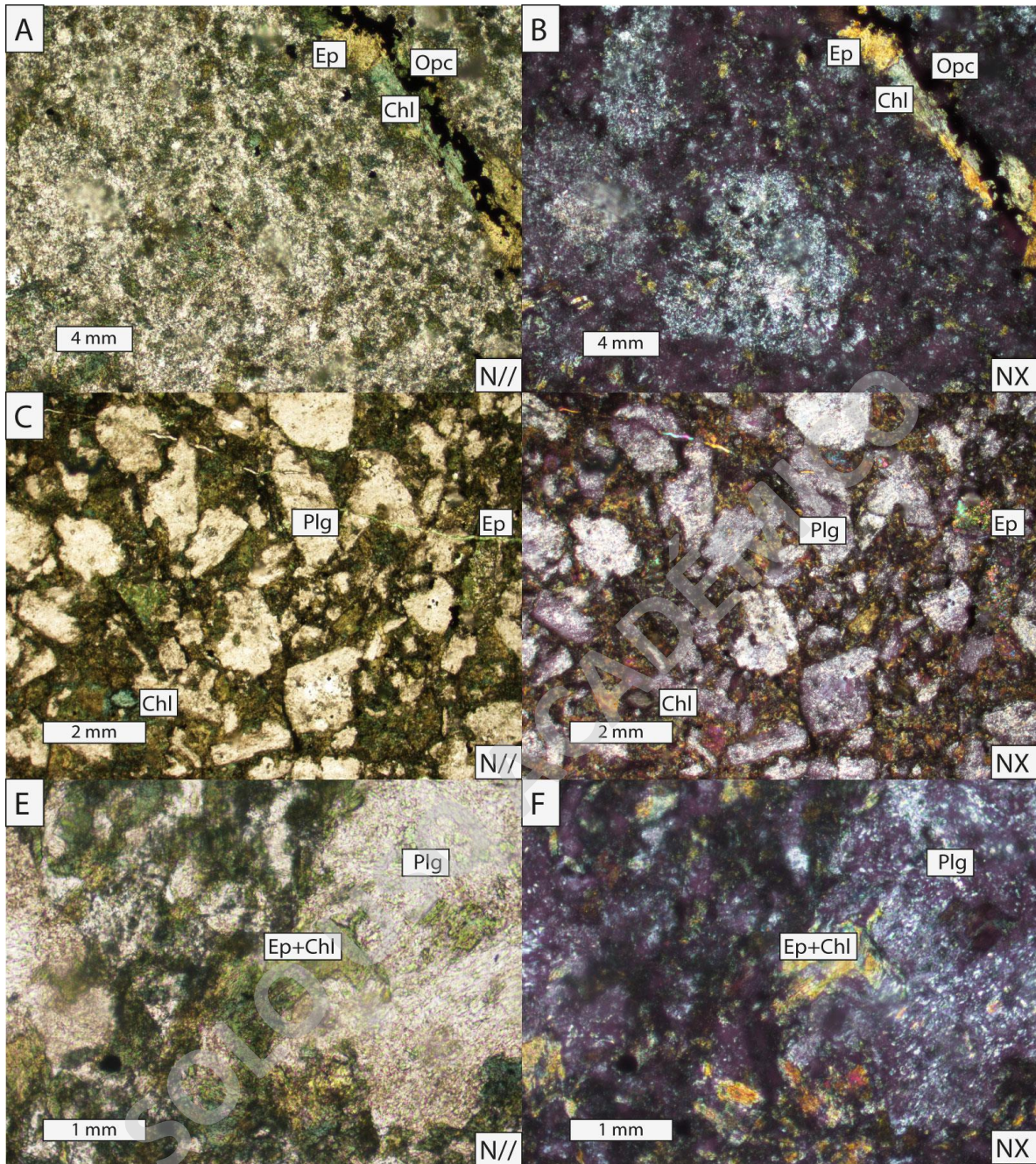


Figura 20: Muestra M4RN, A) y B) muestran las vetillas de epidota (Ep) + clorita (Chl) + minerales opacos (Opc) típicas de esta subunidad. C) y D) muestran los cristales de plagioclasa subhedral a anhedral con baja integridad, en una matriz de clorita + epidota. E) y F) se observa que los cristales de plagioclasa están muy alterados, con reemplazo de clorita + epidota.

4.1.3 Unidad Skarn de Magnetita.

Esta unidad se ubica predominantemente al sur de la propiedad, no obstante, está presente en pequeñas capas a lo largo de toda la zona. A nivel de afloramiento es de color negro, con cristales blancos, y se encuentra en estratos y bandas de no más de 2 metros de ancho, por lo general está oxidado. Está en contacto con Granatitas y Hornfels y en ciertas zonas está incluida en la unidad IGSH (Figura 21).



Figura 21: Unidad Skarn Magnetita, en el rectángulo rojo se observa la oxidación típica que presenta.

A muestra de mano se describe como una roca negra con alto magnetismo y peso específico, con fábrica isotropa y textura porfiroblástica en escapolita subhedral (30%), comúnmente alterados a plagioclasa, en una matriz negra (70%) que corresponde casi en su totalidad a magnetita granular. Es común encontrar hematita especular dentro de la matriz además de pequeñas vetillas de óxidos de hierro que tienden a alterar la escapolita a color amarillo (Figura 22). Eventualmente, algunos cristales de escapolita se encuentran de color rosado a rojizo alterando la escapolita a ortoclasa (Arévalo, 1960).

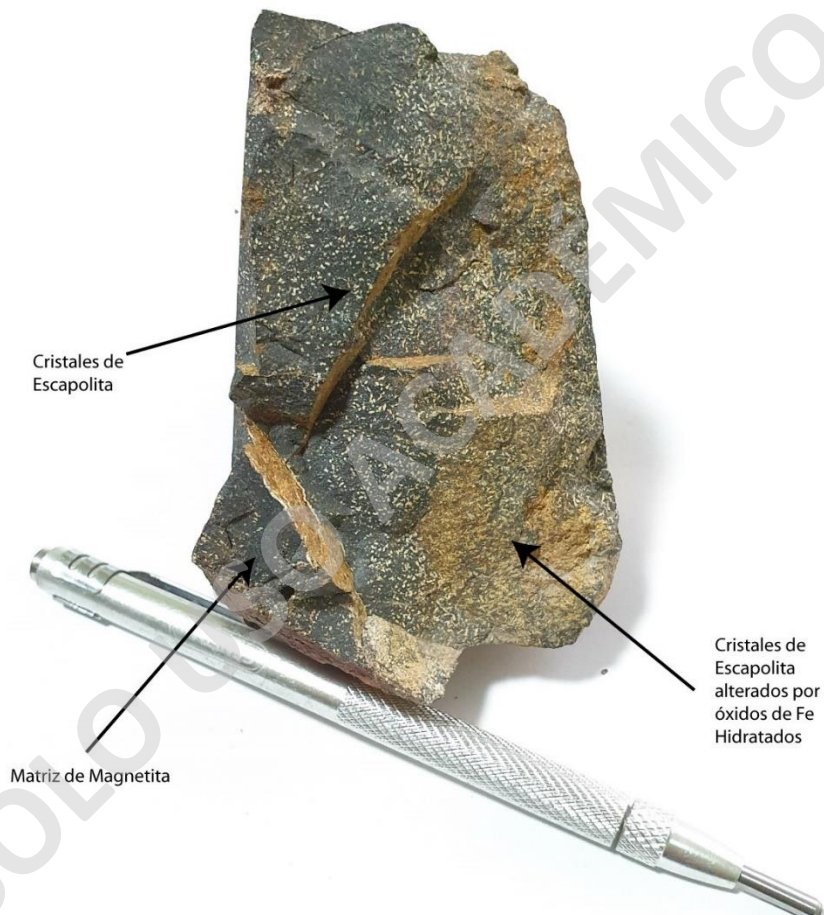


Figura 22: Muestra M5SM, se observan cristales de escapolita dentro de una matriz de magnetita, los tonos amarillentos corresponden a óxidos de Fe hidratados, que se encuentran en parches y vetas dentro de las muestras.

En cortes transparentes, se observa los minerales de escapolita en una matriz de minerales opacos, que en su mayoría corresponden a magnetita. Eventualmente la

escapolita toma un color amarillo, producto de la alteración que producen óxidos de hierro hidratados con arcillas, al entrar a la roca en forma de vetas (Figura 23).

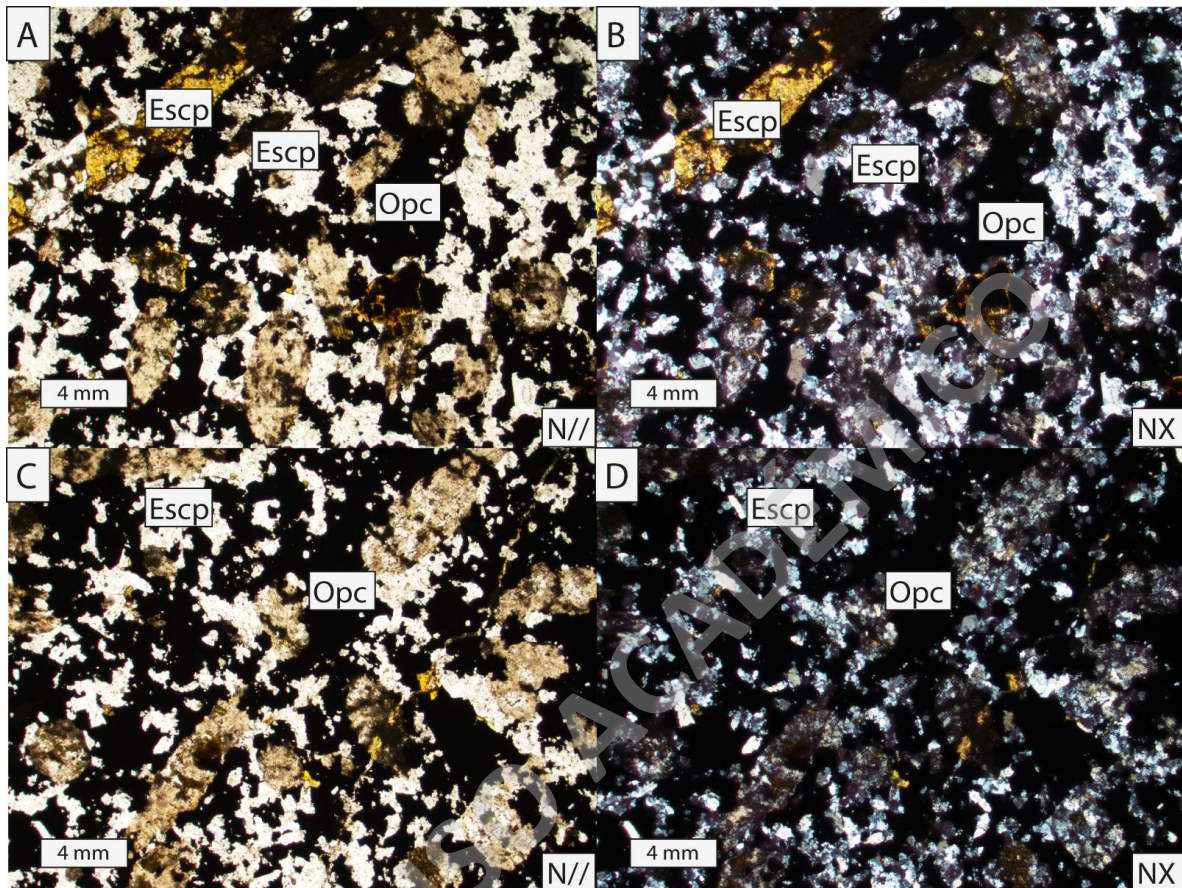


Figura 23: Muestra M5SM, en A) y B) es posible ver la matriz de minerales opacos y la alteración en los cristales de escapolita producida por los óxidos de hierro hidratados. C) y D) Se observa una de las vetillas que tiene óxidos de hierro hidratados.

4.1.4 Unidad Skarn de Escapolita.

A nivel de afloramiento, se distingue del resto de unidades por ser de color blanquecino con algunas manchas negras y poco resistente a la meteorización, es por esto que es muy difícil encontrar zonas en las que aflora, ya que, por lo general se encuentra con erosión diferencial respecto a las demás unidades. Se encuentra en pocos sectores de la propiedad y en estratos que no superan los 1.5 metros, por lo que en general se asocia a la unidad IGSH (Figura 24).



Figura 24: Afloramiento de Skarn de Escapolita debajo de Granatitas, en Unidad IGSH

A muestra de mano (Figura 25) se describe como una roca blanca, con integridad muy baja y con bajo peso específico, al estar en contacto con la roca tiende a desintegrarse. Tiene fábrica isótropa y textura masiva, presenta magnetismo y está compuesta principalmente por escapolita subhedral (70%) que alcanza tamaños de grano de hasta 1.5

cm y el 20% restante a cristales de cuarzo anhedrales que no superan 1 cm y cristales anhedrales de magnetita (10%) que no superan los 0.8 cm. Eventualmente es posible encontrar pequeños cristales de granate que no superan los 0.3 cm y son identificables con lupa y vetillas rellenas con clorita y epidota.

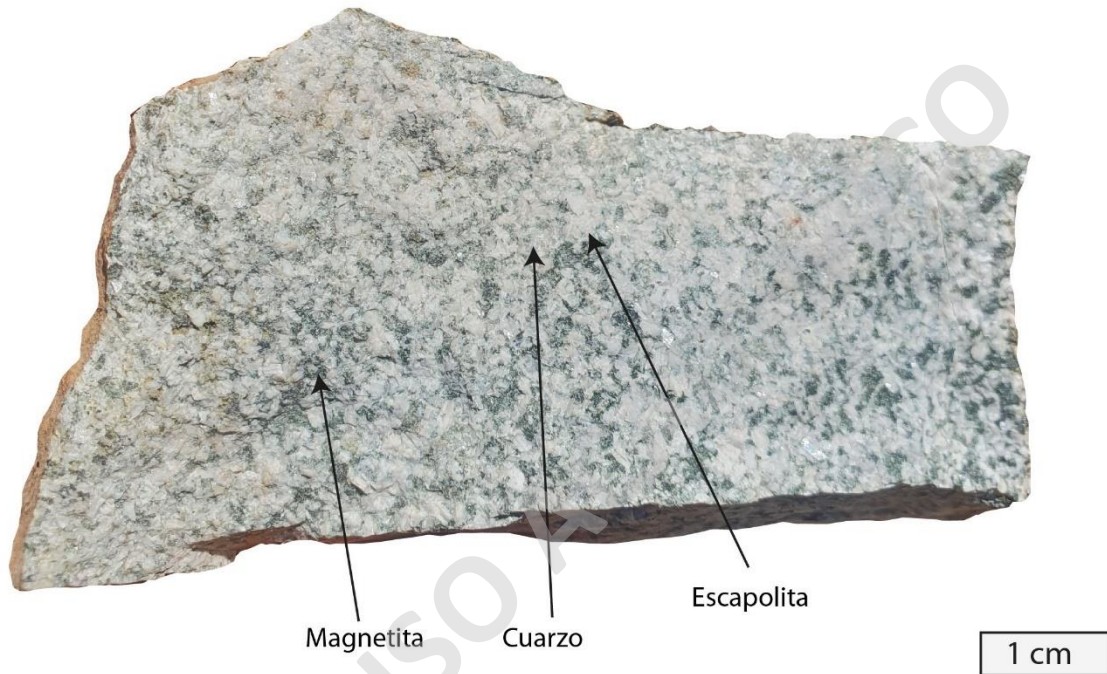


Figura 25: Muestra M6SS

En cortes transparentes, se observa que la escapolita representa más de un 80 % de la roca, se encuentra con integridad baja y se ve alterada. El 20% corresponde a cuarzo, granate y minerales opacos. Eventualmente se encuentran algunos cristales de clorita y epidota, pero esto aumenta ante la presencia de vetillas, las cuales son comunes en esta unidad (Figura 26).

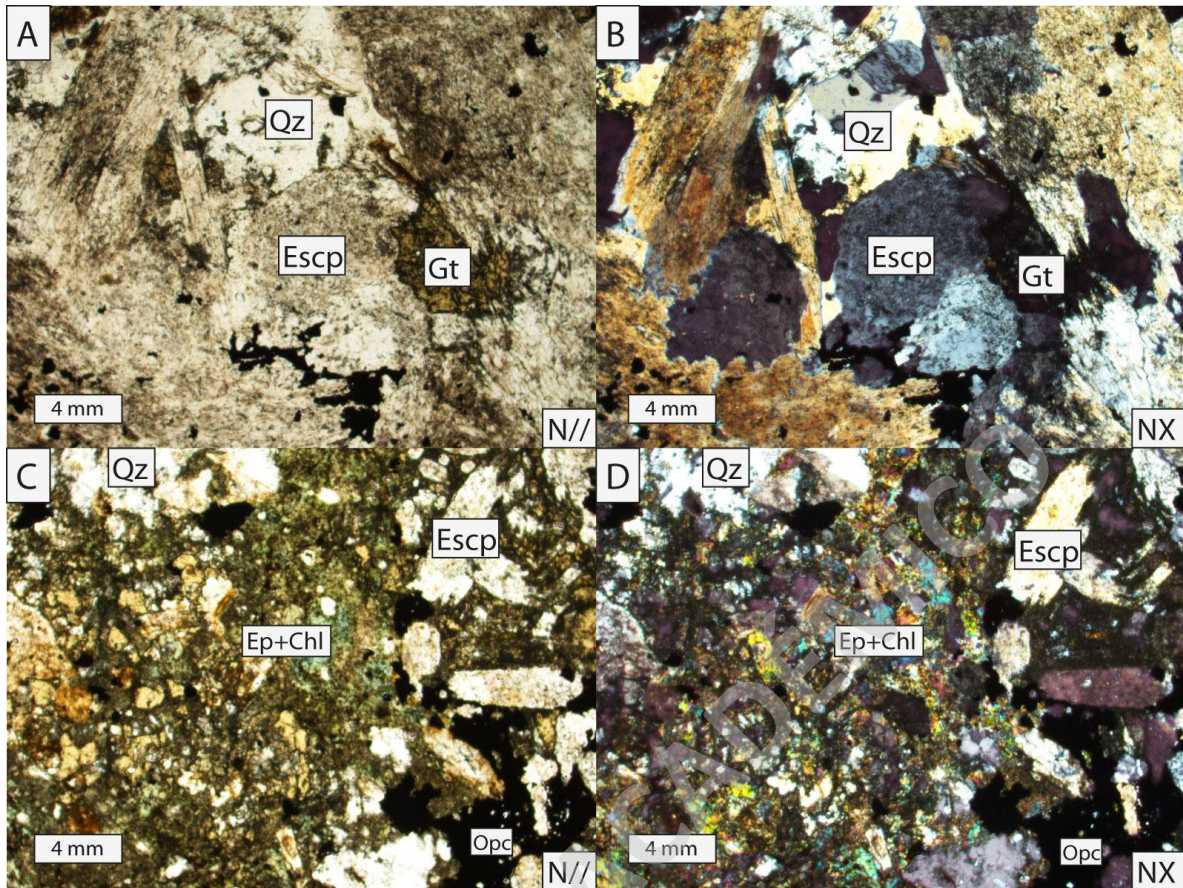


Figura 26: Muestra M6SS, A) y B) muestra los cristales de grano medio a grano grueso de escapolita (Escp), granate (Gt) y Cuarzo (Qz). C) y D), se puede observar parte de una vetilla con epidota (Ep) y clorita (Chl) dentro de la roca.

4.1.5 Unidad IGSH.

Como se mencionó anteriormente, por sus siglas Intercalación Granatita Skarn Hornfels, esta unidad corresponde a la intercalación de las unidades anteriores, por lo general se encuentra en toda la zona de trabajo y el criterio que se usó para definirla es el poco espesor de una capa o poca exposición en superficie de una unidad por sí sola, tomando en consideración la escala de trabajo ocupada.

La mejor representación de esta unidad son intercalaciones de granatitas principalmente en estratos y hornfels que tienden a encontrarse tanto en estratos como en lentes con espesores que pueden alcanzar los 3 metros. No obstante, es frecuente encontrar intercalaciones de granatitas, hornfels, skarn de escapolita y pequeñas capas o bandas de skarn de magnetita, en el cerro que hospeda Veta Silvina (Figura 27).

Las granatitas con textura porfiroblástica (M2GN), tienden a encontrarse con mayor frecuencia en esta unidad que en los afloramientos de Unidad Granatita, donde predominan las granatitas M1GT, en cerros relativamente uniformes.

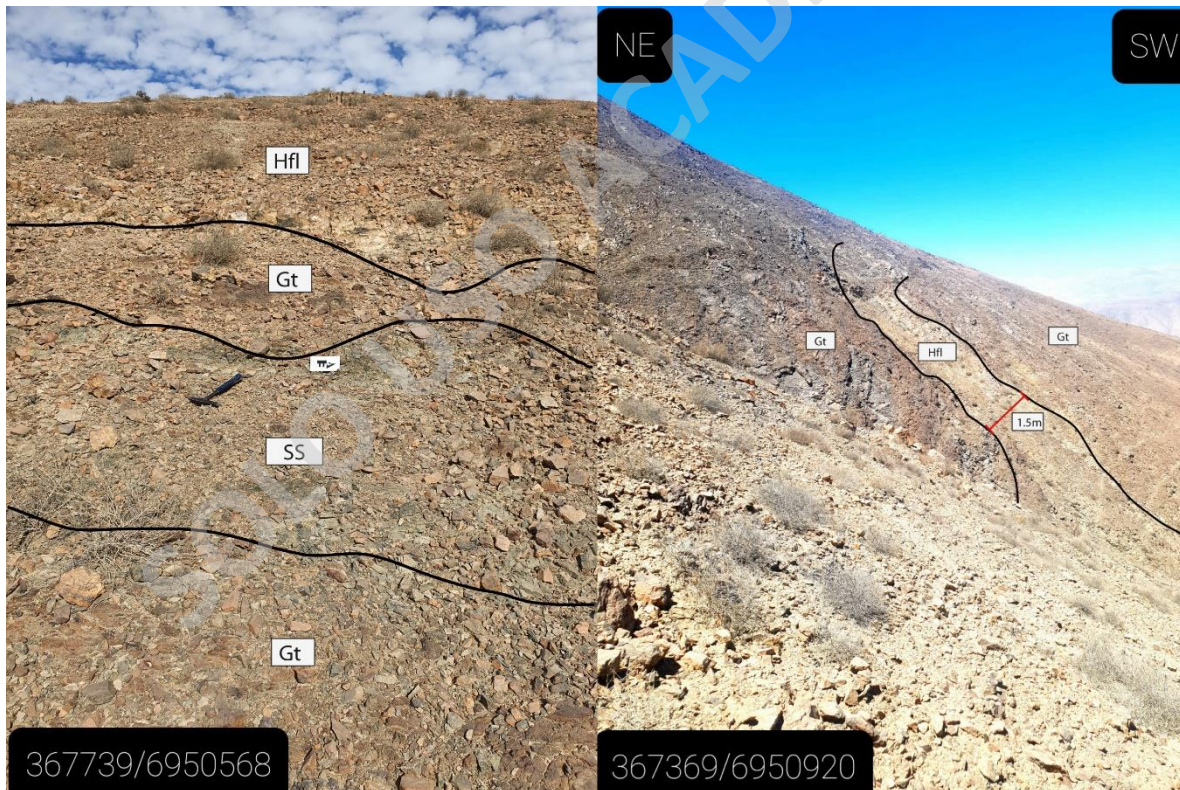


Figura 27: En ambas imágenes se observan afloramientos de la unidad IGSH, en la imagen de la izquierda se observa una secuencia de Hornfels (Hfl), Granatitas (Gt.), Skarn Escapolita (SS.) y Granatitas. La imagen de la derecha muestra una capa de Hornfels entre capas Granatitas.

4.1.6 Rocas Intrusivas.

Las rocas intrusivas que afloran en la zona de estudio corresponden a diques en su mayoría de composición andesítico y en menor cantidad monzogranítico, los diques en general son rectos y de extensión variable, que vistos en superficie van desde los 4 metros, llegando incluso a los 100 metros y de ancho varían entre los 1.5 metros a 4 metros. Los 203 diques que fueron mapeados, se encuentran distribuidos en todo el sector de trabajo, sin presentar agrupaciones claras, también definió un cuerpo plutónico de composición tonalítico ubicado en el centro de la propiedad y al noreste un cuerpo intrusivo descrito como un lacolito de composición monzogranítico.

Estas rocas se encuentran por lo general con minerales de alteración actinolita, clorita y epidota, con muy escasa o nula mineralización, casos excepcionales es posible encontrar diques con mineralización de oxidados de cobre, asociado a vetas.

4.2 Mineralización.

La principal explotación que existe dentro de la mina corresponde a vetas con sulfuros, específicamente Calcopirita. En superficie es posible encontrar oxidados de cobre, de los que destacan Crisocola, Malaquita y Atacamita, acompañado con mineralización de Magnetita y Hematita, sin embargo, no son el principal punto de explotación, debido a que la empresa cuenta con una planta de flotación, y en caso de extraer oxidados son vendidos a otra empresa.

La mineralización en la propiedad se define como un sistema de vetas (Figura 28) y existe además mineralización tipo manto en unidades de granatita, que no son de interés debido a las bajas leyes. No obstante, cuando alguna veta cruza mantos, se generan bolsones de cobre que son explotados. Se sabe también, que estas vetas alcanzan un nivel de enriquecimiento secundario a los 50-60 m de profundidad, donde es posible encontrar calcosina y covelina por debajo de la zona oxidada (Lazcano, 2018).

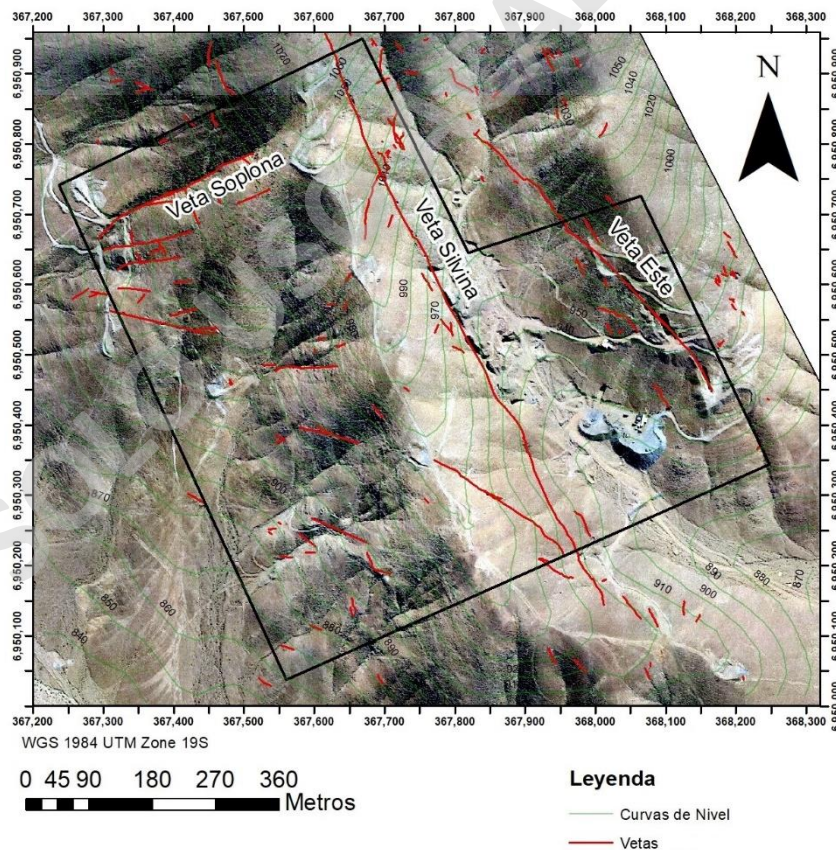


Figura 28: Principales vetas de Mina Soplona.

4.2.1 Veta Este.

Esta veta corresponde a la más explotada de la propiedad, en superficie aflora solo en pequeñas vetas que en ancho varían de 20 cm a 1 m, de calcita y magnetita, con mineralización de oxidados de cobre dentro de los que destaca crisocola, no obstante, en ciertas zonas se encuentra malaquita y atacamita. Por antecedentes de Lazcano (2018), se conoce que esta Veta está siendo explotada a los 200 metros de profundidad al nivel de sulfuros primarios, en el que, hasta la fecha corresponde al nivel 8.

4.2.2 Veta Silvina.

Esta veta fue posible mapearla en casi toda su extensión en superficie dentro de la zona de estudio, la mineralogía principal de la veta corresponde a Especularita, Magnetita, Calcita, Cuarzo y Actinolita, con mineralización de oxidados de cobre, de los que destacan Crisocola, Malaquita y Atacamita, con un ancho de veta que varía de los 30 cm a los 3 m. Al norte de la propiedad en piques y rajos trabajados en el pasado, se observa un aumento considerable en la cantidad de calcita, encontrando un ancho de la veta de hasta 2m donde predomina este mineral. Existe además en el nivel 5 de Veta Este un túnel que conecta con Veta Silvina y que se espera poder explotar en el nivel de sulfuros primarios, pero debido a problemas de ventilación, se ha retrasado (Lazcano, 2018).

4.2.3 Veta Soplona.

Es la veta con menos información de la propiedad, pero se conocen varios laboreos realizados en la antigüedad evidenciados por diversos piques y rajos, en los que se encuentran desmontes que evidenciaron la mineralogía principal de esta veta. Al oeste de la Mina Soplona, es posible encontrar rocas con calcopirita y pirita, altamente cloritizadas, que permite suponer que se llegó al horizonte de sulfuros primarios (Lazcano, 2018). Por lo general aflora en pequeñas vetas que no superan el metro de ancho en superficie, con una mineralogía similar a las anteriores de magnetita, hematita, calcita y oxidados de cobre como crisocola, malaquita y atacamita. Diversas vetas de similar composición se encuentran de paralelas a oblicuas con respecto a Veta Soplona.

4.3 Datos Direccionales.

4.3.1 Diques.

Para el análisis de los diques, se graficaron principalmente los datos obtenidos en el mapeo en superficie y, además, algunos obtenidos de las imágenes de alta resolución. Se graficaron un total de 177 datos de los que solo se consideró el rumbo y que fueran visibles en superficie.

Los resultados muestran una población predominante hacia el NE, con un rumbo de 11° como media, y la moda se encuentra en el rango de $0-10^\circ$ (Figura 29). La mayoría de los diques presentan un manteo que varía entre los 75 y 87° .

Cantidad de Datos	177
Tamaño del Rango	10°
Media	11°

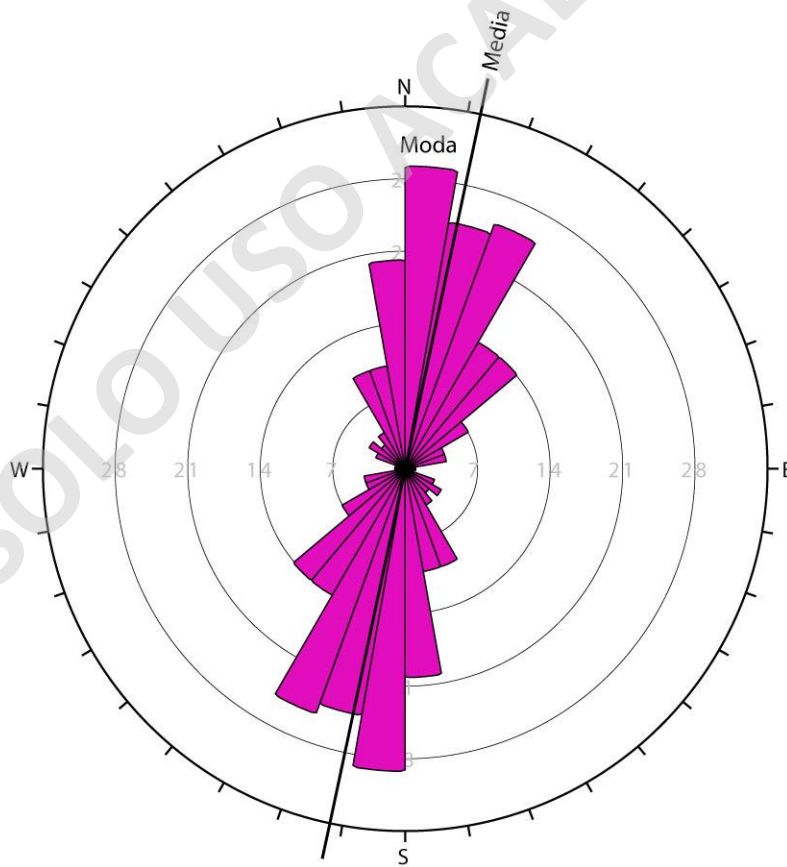


Figura 29: Diagrama de rosetas para los diques de la propiedad, se muestra el rango de datos en el que se encuentra la moda y la línea de tendencia asociada a la media de los datos.

4.3.2 Vetetas.

La mineralización presente se define como un sistema de vetas donde predominan 3 vetas de mayor orden, Veta Este, Veta Silvina y Veta Soplona con algunas vetas menores que se encuentran casi paralelas a las principales direcciones. Por la dirección de rumbo que tienen las vetas existe un punto en donde se cruzan Veta Soplona y Veta Silvina al norte de la propiedad. Además, fuera de la propiedad en el norte, se encuentra otro cruce entre Veta Silvina y Veta Este. Se cree que estos cruces pueden ser puntos de interés para futuras exploraciones.

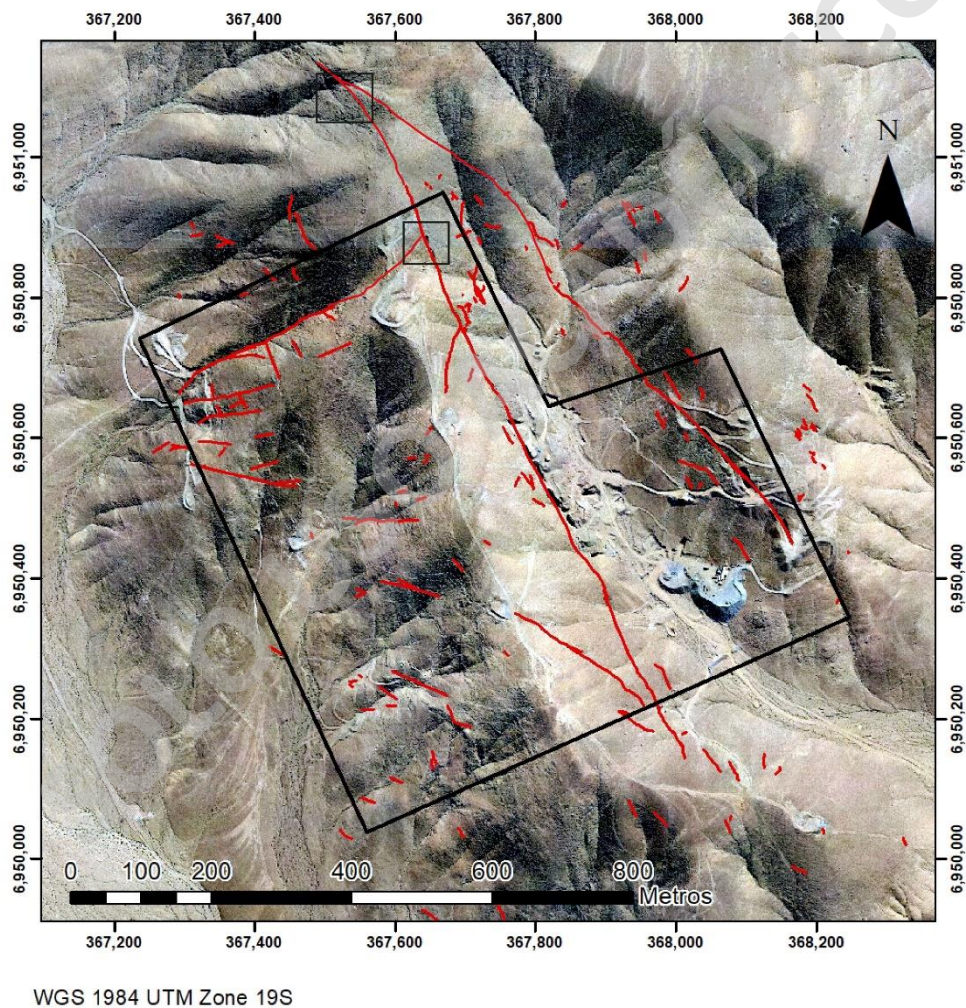


Figura 30: Cruce propuesto de las vetas principales, se observan dentro de los polígonos negros al norte de la propiedad.

En Veta Este, fue posible medir y promediar un rumbo N49W y manto 83 SW, con un movimiento principalmente de rumbo con desplazamiento sinistral. Para Veta Silvina, se logró seguir en superficie su extensión por más de 900 metros, de los datos se pudo promediar un rumbo de N24W y manto 74 SW, también con movimiento de rumbo sinistral. Finalmente, en Veta Soplona fue posible encontrar algunos rajos y piques trabajados en el pasado, por lo que pudo obtener un promedio de rumbo N62E y manto 81 NW. Todas estas vetas poseen vetas de menor orden que no superan los 2m de ancho y que se encuentran paralelas o con un rumbo similar a las de mayor orden. Por lo general las vetas no cortan los diques, a excepción de algunas vetas de granatitas tardías.

En cuanto a la orientación espacial, las vetas presentan una distribución bimodal (Figura 31), reconociéndose una primera familia con rumbo NW, a la cual pertenecen Veta Silvina y Veta Este; y una segunda familia con rumbo cercano a W-E asociada a Veta Soplona. La moda de los datos está en el rango de 340-350° y la media es de 349°.

Cantidad de Datos	160
Tamaño del Rango	10°
Media	349°

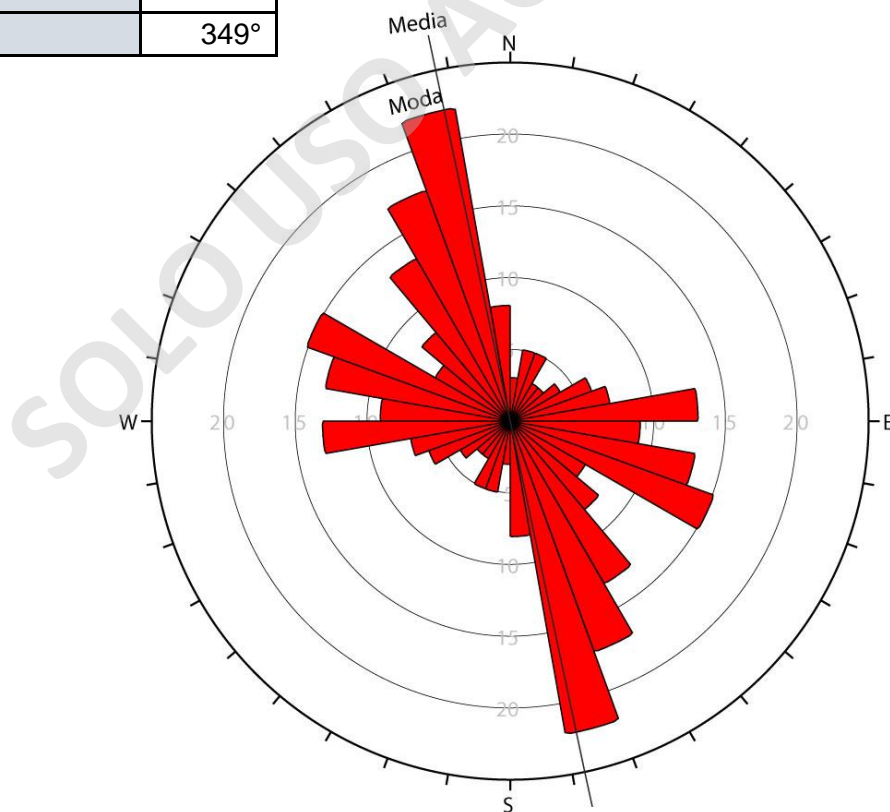


Figura 31: Diagrama de rosetas para las vetas de la propiedad, se muestra el rango de datos en el que se encuentra la moda y la línea de tendencia asociada a la media de los datos. Es posible determinar al menos dos familias de datos.

4.3.3 Fallas.

Se graficaron un total de 48 fallas obtenidas del mapeo en superficie, de las cuales corresponden principalmente a fallas de menor orden (escala local). La mayoría de los datos fueron obtenidos cercanos a estructuras de mayor orden y de las quebradas, donde es posible observar un desplazamiento entre bloques principalmente de rumbo sinistral y en menor medida dextral. No presentan mineralización y por lo general estas fallas cortan vetas y diques.

En general las fallas mapeadas se encuentran de vertical a subverticales promediando un manteo de 77° hacia el noroeste.

Es por esto que, observando el diagrama se pueden diferenciar al menos 3 tendencias en los datos obtenidos, que coinciden con las principales estructuras de la zona de estudio.

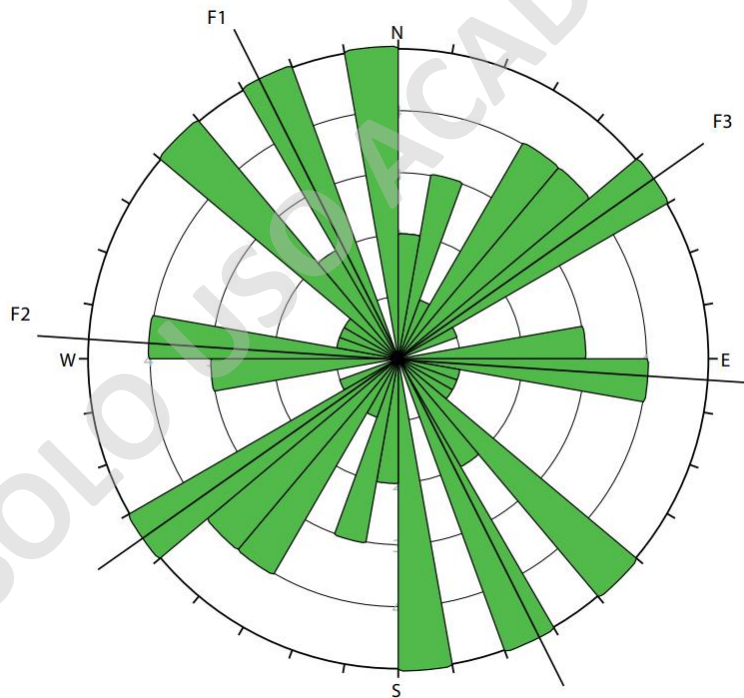


Figura 32: Diagrama de rosetas para las fallas de la propiedad, donde "F" representa a una familia de datos, el círculo más externo corresponde a una cantidad de 5 planos ploteados.

4.4 Perfil Geológico.

La traza del perfil A-A' se definió con el fin de abarcar las tres vetas de mayor orden y representar los principales manteos y disposición de los estratos, mostrando también, algunas fallas y diques.

Otra característica importante de la zona de estudio es la presencia de un anticlinal que aflora en la ladera oeste del área de estudio, presentando un rumbo NE-SW. Los limbos de esta estructura, son simétricos formando un pliegue del tipo abierto con una longitud de onda decamétrica. El pliegue se encuentra afectando las formaciones Abundancia y Nantoco.

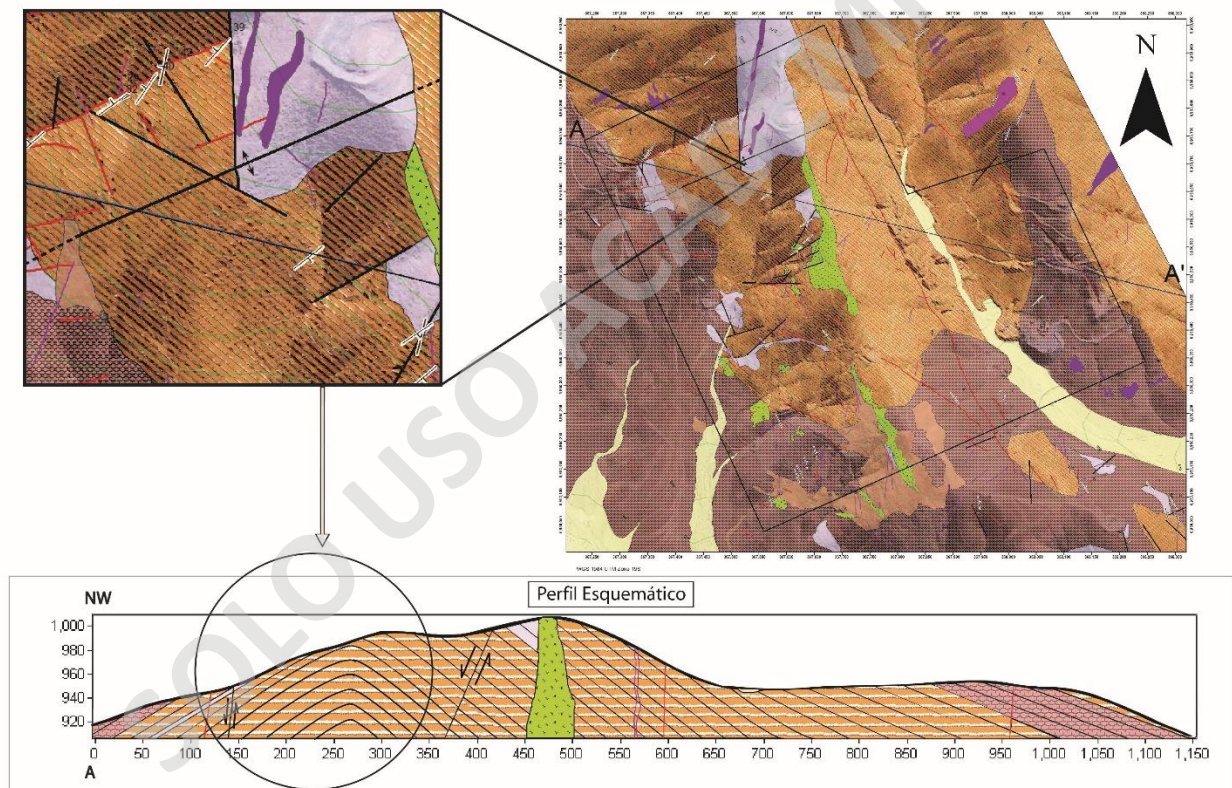


Figura 33 Mapa geológico de la mina, con el perfil esquemático enfocando la zona del anticlinal.

CAPITULO 5: DISCUSIONES.

5.1 Mapa Geológico.

La empresa cuenta con poca información relacionada a Mina Soplona, por lo que un mapeo de escala local puede significar una fuente inicial de información para realizar estudios a futuro, es por esto que fue necesario generar una base de datos, que converse con lo que se encuentra en profundidad. La necesidad de disminuir la incertidumbre sobre los recursos existentes en estos depósitos es importante, debido a que es necesario una producción constante, considerando el presupuesto con el que cuenta la empresa. Otras actividades como generar campañas de sondajes o análisis químicos más exhaustivos, pueden suponer un problema por los altos costos que presentan.

En la actualidad existen modelos tridimensionales, en los que se incluye sondajes hechos por Candelaria con leyes y litologías realizados entre el 1989-1990 y 2005-2007, además de, que se está agregando información constantemente sobre los frentes de avance.

Gracias al mapeo en superficie, fue posible reconocer que las unidades propuestas por Arévalo (2005), difieren a lo observado en terreno, donde el autor expone que formación Punta del Cobre, aflora a lo largo de toda la zona de estudio, en contacto con formación Abundancia y Nantoco, a través de la falla que hospeda Veta Silvina. Sin embargo, no fue posible encontrar formación Punta del cobre y la litología mapeada, corresponde exclusivamente a la transformación metamórfica en rocas del Grupo Chañarcillo.

En trabajos realizados anteriormente por Arévalo (1999) y Tilling (1962), hacen énfasis en las unidades litoestratigráficas y la transformación metamórfica, que se encuentra en todo el sector definido como “Área Tierra Amarilla” coincidiendo con las rocas descritas en este estudio como, skarn de granate o granatitas, hornfels, skarn de magnetita y skarn de escapolita.

Como se mencionó anteriormente, la unidad IGSH corresponde a la intercalación de las unidades descritas, siendo clasificada como “Mix Rocks” por Tilling (1962), donde define como una unidad que incluye intercalaciones de granatitas y hornfels. Lo observado en terreno concuerda en parte con esta clasificación, debido a que se observa además capas de skarn de escapolita y eventualmente pequeñas capas de skarn de magnetita en la intercalación. Por otro lado, Arévalo (1999), clasifica estas unidades individualmente.

Es importante recalcar la necesidad de encontrar formación punta del cobre, debido a que se espera un horizonte mineralizado similar al de candelaria. Asumiendo una estratificación sin mayores perturbaciones que el pliegue propuesto en el perfil, se espera que esté a una profundidad que no supere los 500m (Lazcano, 2018). En la actualidad CEM San Andrés, se encuentra realizando explotaciones en Veta Este y comenzando trabajos en Veta Silvina, por lo que eventualmente bajaría la cota en la que se encuentran actualmente, pudiendo así tener mayores posibilidades de cortar formación Punta del Cobre con sondajes cortos.

Asumiendo condiciones similares a las que se pueden observar en las unidades de Mina Soplona, las rocas que se deberían encontrar en el techo de formación Punta del cobre según Tilling (1962), corresponden principalmente a andesitas brechozas con sedimentos calcáreos, presentando texturas primarias muy bien conservadas a muestra de mano y en cortes transparentes es posible observar minerales calco-silicatados como granate, piroxeno, escapolita, entre otros.

El metamorfismo de contacto y la migración de fluidos que se observa a escala regional, está presente directamente en Mina Soplona, debido a que se encuentra a 2 km del Batolito Copiapó y en ciertas zonas, se reconoce la aureola de contacto hasta 3.5 km al oeste del batolito (Tilling, 1962).

Las rocas de la formación Abundancia y Nantoco, muestran claras evidencias texturales y mineralógicas de un metasomatismo muy intenso, Tilling (1962) asocia estos cambios a la mineralogía primaria, definiendo que las granatitas provienen exclusivamente de calizas y los hornfels provienen de rocas más clásticas. Los elementos como Fe, Mg, Si y Al que se ven involucrados en la migración de fluidos y que reaccionan con las litologías originales, coinciden con la mineralogía encontradas en las rocas del área de estudio. Por otro lado, en el caso de encontrar formación Punta del Cobre, se espera una transformación más isoquímica debido a que se observa solo recristalización menor.

Finalmente, a pesar de las similitudes expuestas entre Mina Soplona y Candelaria, la alteración sódica-cálcica que destaca en Candelaria (del Real, 2018), parece diferir con lo observado en el área de interés, debido a la ausencia de actinolita en las muestras. Lo que podría sugerir una asociación mineral más oxidada y de menor temperatura rica en K-Fe-Ca-CO₂ (Richards y Mumin, 2013) para la zona de estudio.

5.2 Geología Estructural.

Según Arévalo (1999), regionalmente se encuentra una tendencia en las fallas con rumbo NW a NNW, las cuales están asociadas al desplazamiento del Batolito Copiapó. Además, Lazcano (2018), explica que en el área de estudio se observan dos sistemas de fallas principales de orientación noroeste y noreste. Considera el primer sistema de fallas como integrantes de un arreglo estructural distrital e incluso regional, que incluye fallas como Lar, San Gregorio y Ojancos. El segundo lo clasifica como un grupo subsidiario de fracturas de cizalle asociado al primer sistema.

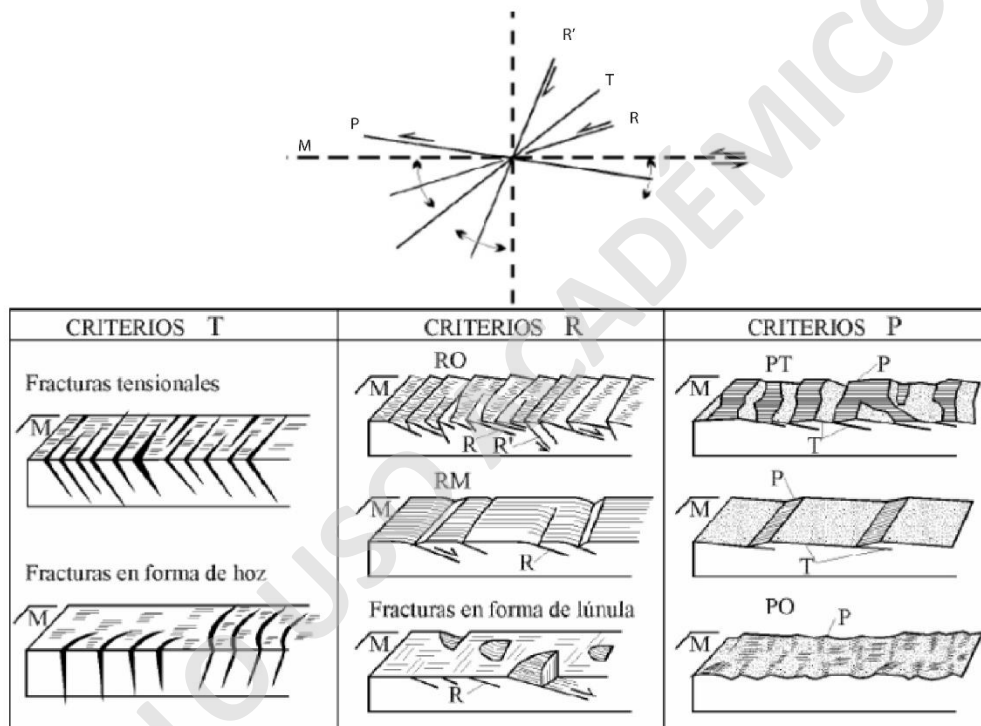


Figura 34: Tipos de estructuras de Riedel, según el criterio del tipo de fractura (T: tensión, R, R' y P: presión).
Extraído de Niemeyer (1999) y modificado para falla sinistral.

A escala local dentro de la propiedad, es posible corroborar lo que proponen los autores, encontrando estructuras con orientaciones similares. La principal estructura del área de estudio corresponde a la falla que encajona Veta Silvina, que tiene una extensión de al menos 2 km de largo y un movimiento principalmente sinistral, por lo que se pueden asociar estructuras tipo Riedel (Figura 34), que conversa con los datos direccionales obtenidos en terreno. Una de las posibles estructuras R más importante, corresponde a la falla de rumbo sinistral, que encajona Veta Este (Figura 35), falla que como se mencionó

anteriormente, puede llegar a tener una escala distrital. Esta interpretación se apoya con la evidencia de indicadores cinemáticos tipo lúnula (Figura 36) en las paredes de esta veta. Adicionalmente, vetas de menor orden se encuentran asociadas como estructuras tipo R, a las tres vetas principales.

Por otro lado, existe una clara tendencia al NE, en los datos direccionales que corresponde principalmente a diques y a Veta Soplona, lo que podría sugerir fracturas de tensión asociadas a las zonas más externas del pliegue, incluyendo, además los datos de fallas con dirección NE, a este arreglo estructural.

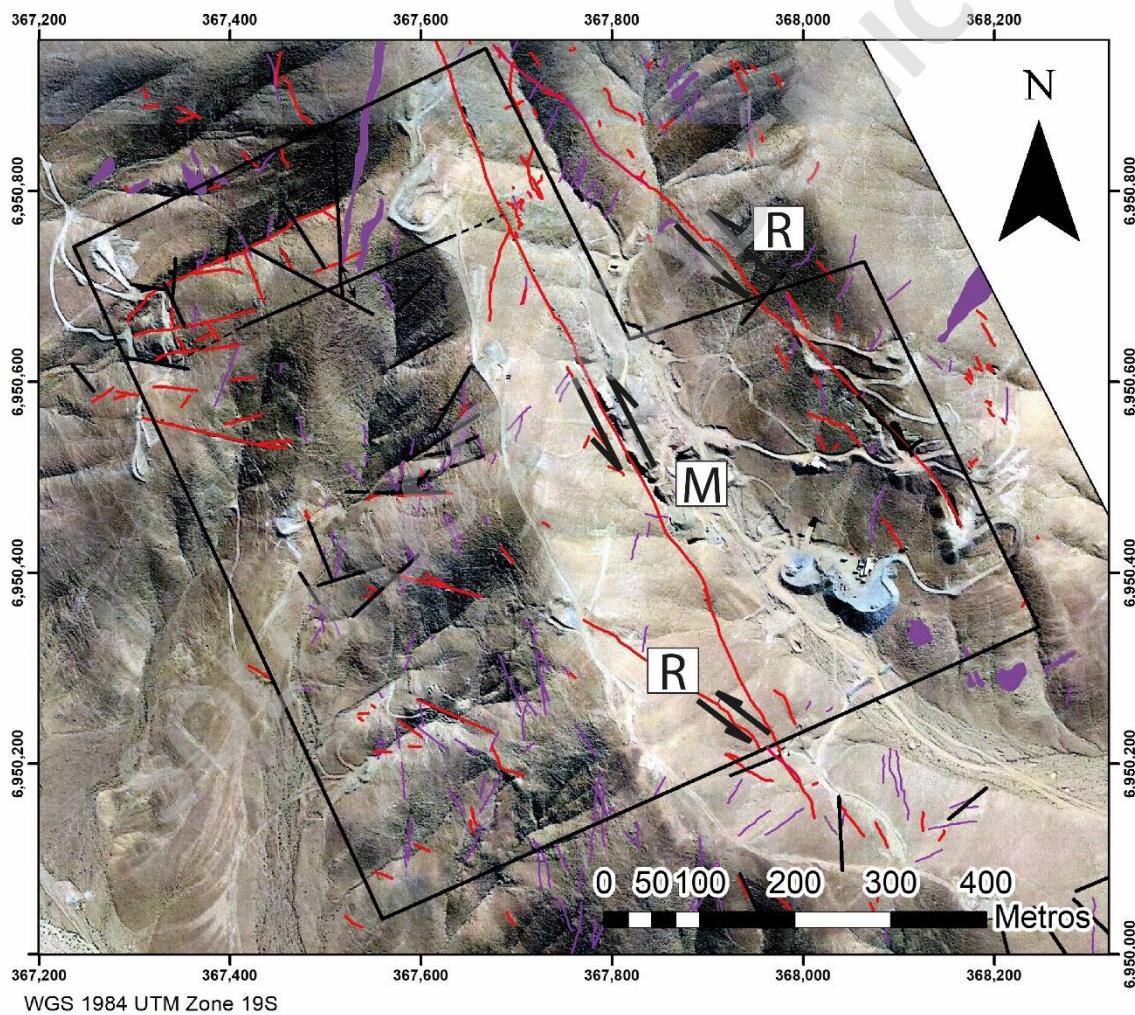


Figura 35 Principales fracturas tipo Riedel, asociadas al plano principal M (Veta Silvina).

Arévalo (2005), en la carta Los Loros propone, además, un pliegue volcado de escala distrital, con una extensión de al menos 2km desde la propiedad hacia el NE, este pliegue difiere en parte con los datos obtenidos en terreno, debido a que no se encuentra volcado. Pudiendo reflejar, por un lado, un cambio en la deformación hacia el área de la propiedad minera, donde el pliegue generado es simétrico. O, por otro lado, que el pliegue sea distinto al propuesto por el autor. Cabe destacar además que no es posible relacionar las unidades que están siendo afectadas por el pliegue que propone Arévalo, ya que las unidades mapeadas en este trabajo para la zona de estudio, difieren también de las propuestas en la carta Los Loros.

La información sugiere que todas estas estructuras han servido como canal para la migración de fluidos originando vetas, zonas de stockwork y mantos en las rocas del batolito y rocas estratificadas dentro y fuera de la propiedad (Lazcano, 2018), coincidiendo con lo observado en terreno.

Finalmente, para resumir los principales eventos deformativos del área, con lo observado en terreno es posible determinar que como el anticlinal es cortado por las rocas intrusivas, claramente es previo a la intrusión del Batolito Copiapó, asumiendo que los principales esfuerzos NW-SE que originaron el pliegue, se asocian a la Orogenia Andina. Una vez que comenzó el emplazamiento del Batolito Copiapó, Tilling (1962), sugiere un cambio en el rumbo de los esfuerzos generando las nuevas estructuras previamente mencionadas.



Figura 36 Pared Veta Este, se observa un movimiento sinistral, evidenciado por fracturas tipo lúnula.

CAPITULO 6: CONCLUSIONES.

El mapeo en superficie realizado, permitió reconocer 4 litologías principales correspondientes a Granatitas, Hornfels, Skarn de Magnetita y Skarn de Escapolita, las cuales representan exclusivamente, rocas del Grupo Chañarcillo que sufrieron metamorfismo de contacto. También, en el mapa geológico fue posible representar, fallas, vetas y cuerpos plutónicos que intruyen a lo largo de toda la propiedad.

Formación Punta del Cobre no aflora en la superficie del área de estudio ni está presente en laboreos actuales, no obstante, se podría encontrar en cotas más bajas continuando con la explotación o con un plan de sondajes. Se considera un punto interesante de exploración debido a que podría compartir horizontes mineralizados similares a los encontrados en Minera Candelaria.

El emplazamiento del batolito Copiapó, es el responsable de las transformaciones metamórficas que existen en el área de estudio, por la migración de fluidos e introducción de elementos como Fe, Mg, Si y Al, que reaccionaron con las rocas calcáreas de la zona generando las nuevas litologías. Además de, la mineralogía encontrada, se la atribuye a este emplazamiento, las principales zonas de cizalle con tendencias claras hacia el NE (diques) y al NW (vetas) obtenidas de los datos direccionales.

Mina Soplona cuenta con buenas reservas de sulfuros de cobre que están siendo explotadas actualmente, a pesar de que en ocasiones se corte la continuidad de Veta Este, existen alternativas para mantener la producción. Igualmente, existen trabajos actuales que buscan continuar con la explotación de frentes en Veta Silvina. Cabe mencionar, que gracias al mapeo en superficie fue posible encontrar varias vetas que podrían ser de interés económico debido al ancho y extensión que tienen, poniendo énfasis en Veta Soplona, la cual es conocida pero no se ha trabajado por la poca accesibilidad y poca información sobre sus leyes.

Finalmente, se recomienda (I) utilizar la información generada en la base de datos para el reconocimiento de grupo de vetas, con el fin de ubicar recursos adicionales a los que se encuentran en explotación; (II) complementar la información de superficie con un mapeo 1:250 en los niveles subterráneos; (III) generar un modelo tridimensional, con la información más actualizada, con el fin de fijar blancos para sondajes, lo que podría ayudar a reducir notablemente la incertidumbre, el cual representa uno de los principales problemas de la empresa; (IV) en el corto plazo, generar un registro del mineral que se

extrae en el frente de avance, para poder integrar información de leyes a un posible modelo geológico.

SOLO USO ACADÉMICO

Bibliografía

Amilibia, A. (2011). Compressional deformation along the Chañarcillo basin west margin: North Chilean Late Jurassic-Early Cretaceous back-arc basin. *Trabajos De Geología*, 29(29).

Arévalo, C, 1999. The Coastal Cordillera/Precordillera Boundary in The Tierra Amarilla Area (27°20'-27°40'S/70°05'-70°W), Northern Chile, and Structural Settings of the Candelaria Cu-Au Ore Deposit. Kingston University.

Arévalo, C. 2005. Carta Copiapó, Región de Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica, escala 1:100.000, No. 91.

Arévalo, C., Creixell, C. 2009. The Atacama Fault System and its role on the migration and deposition of Iron Oxide Copper Gold and Magnetite-Apatite ores: an evaluation from the Los Choros and Huasco valleys. 21th Colloquium on Latin American Geosciences. Alemania.

Barton, MD. 2014. IOCG Systems. Treatise on Geochemistry. Second Edition. Pp 515-536.

Bascuñán S., 2014. Unraveling the Peruvian Phase of the Central Andes: Stratigraphy, Sedimentology and Geochronology of the Salar de Atacam Basin (22°30'-23°S), norther Chile. Universidad de Chile.

Charrier, R., Pinto, L., Rodríguez, M. 2007. Tectonostatigraphic evolution of the Andean Orogen in Chile. In: Moreno, T. & Gibbons, W. (eds) The Geology of Chile. The Geological Society, London.

Chávez-Álvarez, María Jazmín, Cerca, Mariano, & Ferrari, Luca. (2012). Physical and geological description of the Nanchititla dyke swarm. *Revista mexicana de ciencias geológicas*, 29(3), 551-571. Recuperado en 3 de enero de 2022, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1026-87742012000300004&lng=es&tlng=.

Cochilco, 2016. *Franjas metalogénicas de los Andes Centrales: blancos clave para la exploración minera*.

Diaz M., 2012. Geología, Alteración y Mineralización Aurífera en el Proyecto San Antonio, Franja Chañarillo, Región de Atacama. Universidad de Chile.

EGM Servicios Geológicos Mineros Ltda, 2016. informe final estudio de diagnóstico geológico distrito Pintadas, III Región de Atacama.

F. Martínez, C. Arriagada, C. López, Parra Mauricio, Chapter 16 - Tectonic evolution of the western "Pampean" flat segment (28°–30°S), Editor(s): Brian K. Horton, Andrés Folguera, *Andean Tectonics*, Elsevier, 2019, Pages 465-485.

Grocott, J., Taylor, G.K., 2002, Magmatic arc fault systems, deformation partitioning and emplacement of granitic complexes in the Coastal Cordillera, north Chilean Andes (25 30'S to 27 00'S): *Journal of the Geological Society of London*, v. 159, p. 425–443.

HOLNESS, M.B. (1997). Fluid flow paths and mechanisms of fluid infiltration in carbonates during contact metamorphism: The Beinn an Dubhaich aureole, Skye. *Journal of Metamorphic Geology*, 15: 59-70. <https://doi.org/10.1111/j.1525-1314.1997.00005.x>.

I.d. Real, J.F.H. Thompson, J. Carriedo, (2018). Lithological and structural controls on the genesis of the Candelaria-Punta del Cobre Iron Oxide Copper Gold district, Northern Chile, *Ore Geology Reviews*.

Jane, A. 2016. Geology, geochemistry and geometallurgy of the Productora Cu-Au-Mo deposit, Chile. Doctor of philosophy thesis. University of Tasmania.

John M. Ferry (1994). Role of fluid flow in the contact metamorphism of siliceous dolomitic limestones. *American Mineralogist* ; 79 (7-8): 719–736.

Maksaev, V. Yacimientos de Fe-Cu-Au Chilenos, Apuntes Metalogénesis, Departamento de Geología, Universidad de Chile.

Maksaev, V. Yacimientos estratoligados de Cu (Ag) Chilenos, Apuntes Metalogénesis, Departamento de Geología, Universidad de Chile.

M. P. Smith, P. Henderson, T. Jeffries, J. Long, C. T. Williams (2004). The Rare Earth Elements and Uranium in Garnets from the Beinn an Dubhaich Aureole, Skye, Scotland,

UK: Constraints on Processes in a Dynamic Hydrothermal System, *Journal of Petrology*, Volume 45, Issue 3, Pages 457–484, <https://doi.org/10.1093/petrology/egg087>.

Richards, Jeremy & Mumin, Hamid. (2013). Lithospheric fertilization and mineralization by Arc Magmas: Genetic links and secular differences between porphyry copper 6 molybdenum 6 gold and magmatic-Hydrothermal iron oxide copper-gold deposits. *Society of Economic Geologists Special Publication*. 17. 277-299.

Rossetti, F., Tecce, F., Billi, A. et al. (2007). Patterns of fluid flow in the contact aureole of the Late Miocene Monte Capanne pluton (Elba Island, Italy): the role of structures and rheology. *Contrib Mineral Petrol* 153, 743–760 <https://doi.org/10.1007/s00410-006-0175-3>.

Segerstrom, K., y Parker, R.L. 1959. Cuadrángulo Los Loros, Provincia Atacama, Carta Geológica de Chile. Instituto de Investigaciones Geológicas, Santiago de Chile

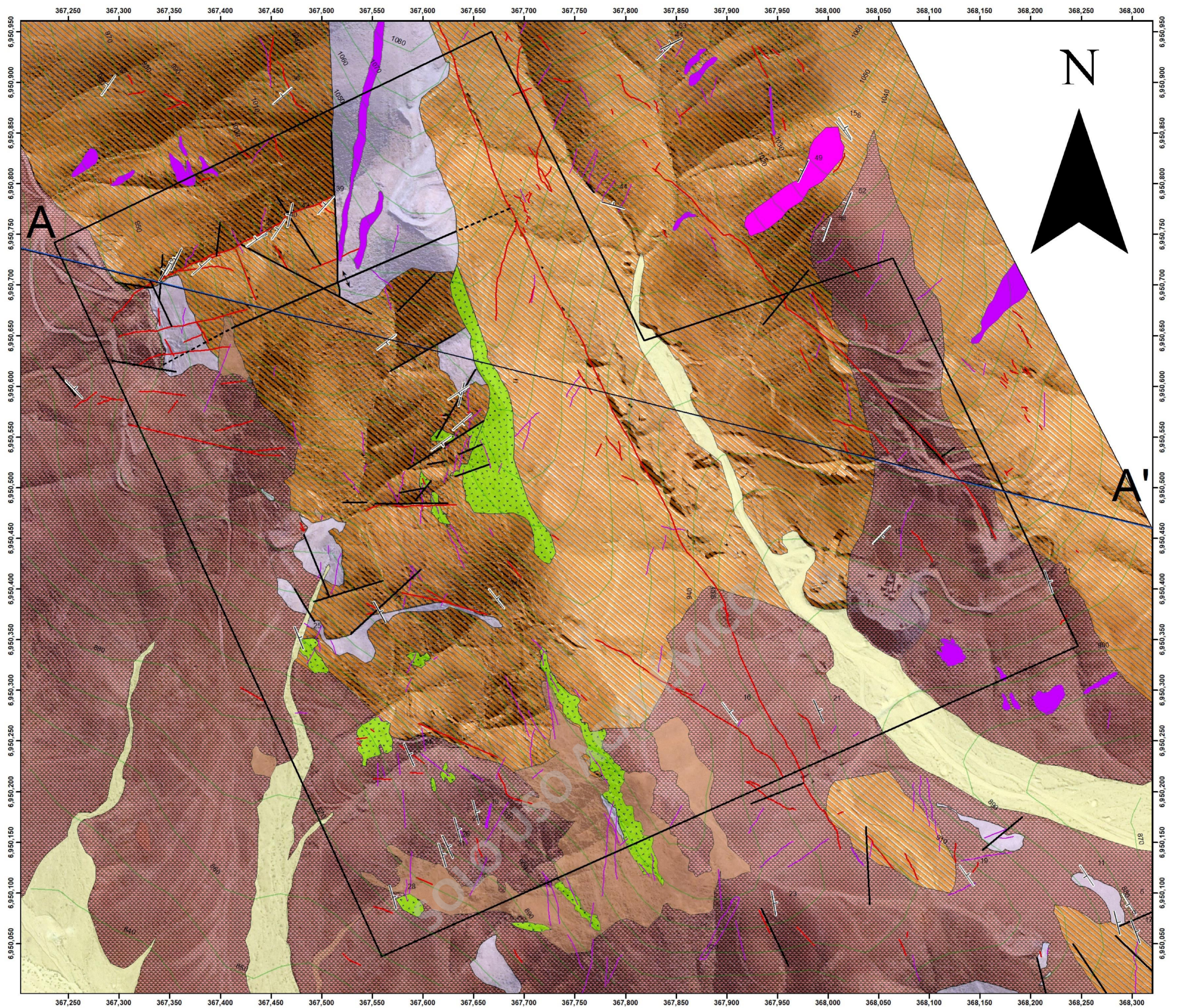
Segerstrom, K., y Ruiz, C. 1962. Cuadrángulo Copiapó. Provincia de Atacama. Instituto de Investigaciones Geológicas, Carta Geológica de Chile, Vol. 3, No. 1, mapa escala 1: 50.000.

Sillitoe, 2003. Iron oxide-copper-gold deposits: an Andean view. *Mineralium Deposita* (2003).

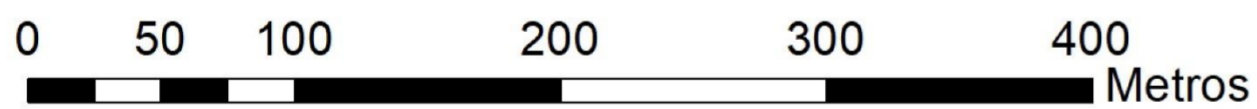
Tilling, R. 1962. Batholith Emplacement and Contact Metamorphism in The Paipote-Tierra Amarilla Area, Atacama Province, Chile. Yale University.

Morales, H. 2017. Estudio de la paragénesis y química mineral en magnetitas del depósito tipo IOCG Dominga, IV Región, Chile. Memoria de título Universidad de Chile.





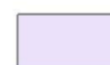





Vivallo, Waldo, & Henríquez, Fernando. (1998). Génesis común de los yacimientos estratoligados y vetiformes de cobre del Jurásico Medio a Superior en la Cordillera de la Costa, Región de Antofagasta, Chile. *Revista geológica de Chile*, 25(2), 199-228. <https://dx.doi.org/10.4067/S0716-02081998000200006>.



WGS 1984 UTM Zone 19S



Legenda

- | | | |
|--|--|---|
|  Depósito Aluvial |  Tonalita |  Diques |
|  Granatitas |  Monzogranito |  Fallas Terreno |
|  Hornfels |  Diques |  Vetas Terreno |
|  Skam Magnetita | |  Curvas de Nivel |
|  IGSH | |  Rumbo y Manteo |
| | |  Traza de Plano Axial de Anticlinal |
| | |  Traza de Plano Axial de Anticlinal Inferido |
| | |  Traza de Perfil |

