



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

MINERALIZACIÓN Y ALTERACIÓN HIDROTERMAL DEL YACIMIENTO LA ESTRELLA, DISTRITO EL ZAPALLO, REGIÓN DE ATACAMA, CHILE

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE GEÓLOGO

JUAN PABLO VARELA ESPEJO

PROFESOR GUÍA:
BRIAN TOWNLEY CALLEJAS

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
MARCELO GARCIA GODOY
KATJA DECKART

SANTIAGO DE CHILE
2021

RESUMEN

El yacimiento La Estrella se ubica en la Cordillera de la Costa, específicamente en la Provincia del Huasco, Región de Atacama a 20 km al suroeste de la ciudad de Vallenar. Este depósito tiene concentraciones importantes de hierro y cobre, el cual ha sido explotado de forma artesanal, sin embargo, también posee una firma geoquímica distintiva con valores anómalos de Co, Ni, Au y Ag.

En el presente trabajo se realizó un mapeo geológico del depósito y la caracterización del ambiente en el cual se generó la alteración hidrotermal y mineralización. Las litologías presentes en el área corresponden a una secuencia volcánica que se correlaciona con la Formación Punta del Cobre (Jurásico Superior- Hauteriviano Superior), caracterizada por andesitas de hornblenda, las cuales actúan como roca caja del depósito, existiendo un claro control estratigráfico de la alteración y mineralización.

El objetivo principal de este estudio es realizar un levantamiento geológico en superficie de la propiedad minera La Estrella y su entorno inmediato, en base a un mapeo de superficie e interior galería mina, descripción de cortes transparente-pulidos, estudio de sondajes y muestreos geoquímicos.

Mediante la descripción de la geología y toma de muestras, en superficie e interior galería mina, la descripción de cortes petrográficos transparentes-pulidos, sondajes y análisis geoquímicos, se definen cuatro alteraciones hidrotermales; alteración potásica, claco-sódica, clorita-sericita y supérgena, asociadas a la génesis del depósito metalífero La Estrella. Se utilizaron los resultados obtenidos para identificar la secuencia paragenética característica y la evolución preliminar del sistema fluido hidrotermal que dio origen a este depósito.

A partir de las alteraciones hidrotermales principales de La Estrella y la mineralización caracterizada por mantos mineralizados con abundante magnetita masiva y sulfuros diseminados tales como pirita, calcopirita y menor bornita, se concluye que La Estrella corresponde a un depósito tipo IOCG Cu-Au. Además, La Estrella se encuentra ubicada en la Franja Ferrífera de la Cordillera de la Costa, zona caracterizada por contener depósitos tipo IOA, estratoligados e IOCG.

La Estrella guarda una íntima relación con el depósito tipo IOCG de clase mundial Candelaria, compartiendo similitudes tales como roca huésped, similar mineralización hipógena, formación bajo un contexto de arco volcánico sedimentario y presentar edades de formación similares, sin embargo, se calculó para La Estrella un tonelaje inferido mucho menor al de Candelaria, equivalente a 4,69 millones de toneladas, recursos que de ser verificados pueden justificar una operación de mediana minería.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a los miembros de mi comisión, Dr. Katja Deckart, Dr. Marcelo García y en especial a mi profesor guía Dr. Brian Townley, por la disposición y gran ayuda brindada durante el transcurso de la memoria y el largo proceso que significó desarrollar esta labor en plena pandemia.

Deseo agradecer también a don Luis Fritis, dueño de la propiedad minera y hombre de gran esfuerzo, enérgico y confiable, quien, junto a su equipo, estuvo siempre dispuesto a colaborar con mi investigación y del cual me llevo una muy buena experiencia.

Por otro lado, debo decir que nada de esto hubiera sido posible sin el apoyo de mi familia: mis padres, quienes siempre dieron todo por mí, intentando hacerlo de la mejor manera posible; mis hermanos, siempre presentes también a su manera. Asimismo, deseo agradecer a María Fernanda, quien estuvo siempre junto a mí y cuyo cariño y animo fueron claves en este proceso.

Finalmente, quiero agradecer a mis amistades y futuros colegas, por todos los recuerdos que me llevo junto a ellos, con quienes compartí múltiples terrenos a lo largo de Chile y carretes en los Naranjos, donde nunca faltaron las risas ni la música, así como momentos de cansancio y estrés. En especial a Migue, quien siempre estuvo ahí cuando tenía dudas respecto a alguna traba burocrática universitaria; a Pili y Javi, por siempre responder mis dudas sobre plazos, tareas y entregas; al Ale, por compartir tu carpa en innumerables terrenos la cual al cabo de unos días se tornaba a un ambiente argílico; al Abuelo, con quien siempre se podía disfrutar de una buena cerveza sin hablar de política; y a todo el resto de mis compañeros: Queno, Maxi, Vicho, Paula, Carlos, Joti, Rodri, Titi, Juanma, Alonso, Kim, Lore, Ayala, Enoc, Mari y Tomi (espero no haber olvidado a nadie). A todos ellos, les deseo mucho éxito a futuro.

Juan Pablo Varela E.

TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	OBJETIVOS	1
1.1.1	Objetivo General.....	1
1.1.2	Objetivo Específico	1
1.2	UBICACIÓN Y ACCESO.....	2
1.3	FISIOGRAFÍA Y DRENAJE.....	3
1.4	CLIMA.....	5
1.5	METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	5
1.5.1	Eta 1 Preterreno: Recopilación e Investigación bibliográfica	5
1.5.2	Eta 2 Terreno: Levantamiento de información geológica y obtención de muestras 5	
1.5.3	Eta 3: Post terreno.....	6
2	MARCO GEOLÓGICO	7
2.1	MARCO TECTÓNICO REGIONAL.....	7
2.2	GEOLOGÍA DISTRITAL	7
2.3	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	11
2.4	MARCO METALOGÉNICO	13
2.4.1	Clan IOCG.....	15
2.4.2	Trabajos Anteriores	19
3	RESULTADOS	25
3.1	GEOLOGÍA.....	25
3.1.1	Unidades Litológicas	26
3.1.2	Estructuras	29
3.1.3	Alteraciones Hidrotermales	30
3.1.4	Mineralización	35
3.2	GEOLOGÍA INTERIOR GALERÍA Y SONDAJES.....	36
3.2.1	Litología	36
3.2.2	Alteraciones hidrotermales	37
3.2.3	Mineralización	45
3.2.4	Geoquímica Preliminar.....	54
3.3	RECURSOS.....	58
4	DISCUSIONES	59
4.1	EVOLUCIÓN FLUIDO HIDROTERMAL LA ESTRELLA.....	59

4.2	CLASIFICACIÓN DEPÓSITO LA ESTRELLA	61
4.3	COMPARACIÓN CON DEPÓSITOS METALÍFEROS COLINDANTES	65
4.4	CONTEXTO POTENCIAL EXPLORATORIO	67
5	CONCLUSIONES.....	68
6	BIBLIOGRAFÍA	69

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURA 1.1: UBICACIÓN Y VÍAS DE ACCESO AL YACIMIENTO MINERO LA ESTRELLA. COORDENADAS SEGÚN DATUM WGS84 HUSO 19S.....	2
FIGURA 1.2: MAPA DE FISIOGRAFÍA Y DRENAJE ZONA DE ESTUDIO. COORDENADAS UTM DATUM WGS84 HUSO 19S, MODIFICADO DE ARÉVALO ET AL., 2009.....	3
FIGURA 1.3: MAPA FISIOGRÁFICO DEL ÁREA DE ESTUDIO Y SU ENTORNO, SOBRE IMAGEN DEM TOMADA DE EARTHDATA. ESCALA 1: 50.000.....	4
FIGURA 2.1: GEOLOGÍA DEL DISTRITO EL ZAPALLO Y MINA LA ESTRELLA. INFORMACIÓN PROVENIENTE DE ARÉVALO ET AL. (2009). COORDENADAS UTM DATUM WGS84 HUSO 19S. ...	10
FIGURA 2.2: PRINCIPALES TRAZAS DEL SISTEMA DE FALLAS DE ATACAMA EN EL NORTE DE CHILE, CON LA UBICACIÓN DE LA ESTRELLA COMO REFERENCIA. ESTA SE DIVIDE EN TRES SEGMENTOS ARQUEADOS: LA SERENA A CHAÑARAL, CHAÑARAL A ANTOFAGASTA Y ANTOFAGASTA A IQUIQUE. MODIFICADO DE BROWN ET AL. (1993).	11
FIGURA 2.3: PRINCIPALES ESTRUCTURAS RECONOCIDAS EN LA CARTA GEOLÓGICA DE VALLENAR-DOMEYKO. MODIFICADO DE ARÉVALO ET AL. (2009).	12
FIGURA 2.4: CINTURONES METALOGÉNICOS ORÓGENOS PARALELOS DE LOS ANDES, CADA UNO DE LOS CUALES REPRESENTA ÉPOCAS DISCRETAS DE MINERALIZACIÓN DE CU CARACTERIZADAS POR UN ESTILO DE DEPÓSITO. MODIFICADO DE SILLITOE Y PERELLÓ (2005) Y ESCOLME (2016).....	13
FIGURA 2.5: PRINCIPALES YACIMIENTOS TIPO IOA, IOCG -AU Y MANTO CON CONTENIDO DE CU - AG DE LA FRANJA FERRÍFERA CHILENA. MODIFICADO DE BARRA ET AL. (2017).	14
FIGURA 2.6: SECCIÓN TECTONOMAGMÁTICA ESQUEMÁTICA DEL MARGEN CENTRAL ANDINO, DEL NORTE Y CENTRO DE CHILE. TRANSICIÓN DEL ARCO MAGMÁTICO EXTENSIONAL A TRANSTENSIONAL DEL CRETÁCICO TEMPRANO, CON UNA SUBDUCCIÓN PRONUNCIADA, CORTEZA DELGADA Y UN ALTO GRADIENTE GEOTÉRMICO, DESARROLLANDO UN ARCO MAGMÁTICO ASOCIADO A ABUNDANTE ACTIVIDAD VOLCÁNICA Y DESARROLLO DE CUENCAS DE ARCO. EN ESTE AMBIENTE SE FORMAN DEPÓSITOS DE IOCG, CU TIPO MANTO Y PEQUEÑOS PÓRFIDOS DE CU. MODIFICADO DE SILLITOE Y PERELLÓ (2005) Y ESCOLME (2016).	16
FIGURA 2.7: SECCIÓN IDEALIZADA DE UNA VETA IOCG EN LA CORDILLERA DE LA COSTA QUE MUESTRA UNA ZONACIÓN ASCENDENTE DE MAGNETITA A DOMINACIÓN DE HEMATITA. MODIFICADO DE ESPINOZA ET AL. (1996).....	17
FIGURA 2.8: DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE DEPÓSITOS DE IOCG SENSU STRICTO Y DE ÓXIDO DE HIERRO (P, F, REE) (> 100 T DE RECURSOS) EN TÉRMINOS DEL CICLO DE SUPERCONTINENTES. SE GRAFICAN LOS RECURSOS TOTALES DE COBRE Y ORO, CON LA FUENTE PERTENECIENTES A WILLIAMS ET AL. (2005) Y GROVES ET AL. (2010). LOS PERÍODOS MÁS COMÚNMENTE ACEPTADOS ESTÁN SOMBRADOS Y LOS SUPERCONTINENTES RELEVANTES NOMBRADOS, EN BASE A ROGERS Y SANTOSH (2004). MODIFICADO DE GROVES ET AL. (2010).	18
FIGURA 2.9: MAPA DE ALTERACIÓN, GEOLOGÍA LOCAL Y ESTRUCTURAS PRINCIPALES DEL YACIMIENTO PRODUCTORA Y LA ESTRELLA. MODIFICADO DE ESCOLME (2016).....	22
FIGURA 3.1: MAPA LITOLÓGICO Y ALTERACIÓN HIDROTERMAL YACIMIENTO LA ESTRELLA.	25
FIGURA 3.2: A) ROCA ANDESÍTICA PORFÍDICA, AFECTADA POR ALTERACIÓN CLORÍTICA INTENSA. B) AFLORAMIENTO DE LAVAS ANDESÍTICAS PORFÍDICAS, DIACLASADAS Y CUBIERTOS POR MATERIAL NO CONSOLIDADO	26
FIGURA 3.3: A) GRANODIORITA DE ANFIBOL, BIOTITA Y ANFÍBOL ALTERADOS A CLORITA, EPIDOTA, GOETHITA Y JAROSITA. B) ENCLAVES MELANOCRÁTICOS CONTENIDOS EN LA	

UNIDAD PLUTÓNICA, ALTERADOS A CLORITA Y EPIDOTA. C) CONTACTO ENTRE EL COMPLEJO PLUTÓNICO LOS CAMARONES (CRUCES) Y LA FORMACIÓN PUNTA DEL COBRE (VES CON PUNTO), CRUZ AMARILLA CORRESPONDE A LA ORIENTACIÓN DE LA IMAGEN.....	27
FIGURA 3.4: A) DEPÓSITO DE MATERIAL NO CONSOLIDADO CLASTO SOPORTADO, CON UNA POTENCIA DE 2,5 M, CRUZ AMARILLA CORRESPONDE A LA ORIENTACIÓN DE LA IMAGEN. B) CARBONATOS PRECIPITADOS EN LOS ESPACIOS VACÍOS ENTRE CLASTOS, FRACTURAS O POROSIDADES.....	28
FIGURA 3.5: IMAGEN SATELITAL GOOGLE EARTH PRO, ANTIGUOS PIQUES MINEROS AURÍFEROS PARA EXPLOTAR VETAS DE CUARZO, MENOR PIRITA Y ORO DISEMINADO, CON DISPOSICIÓN NNW (LÍNEAS AMARILLAS PUNTEADA). FLECHA AMARILLA INDICA LA ORIENTACIÓN DE LA IMAGEN Y FLECHA ROJA INDICA LA ENTRADA A LA MINA LA ESTRELLA.	29
FIGURA 3.6: ROCA PORFÍDICA ANDESÍTICA ALTERADA PENETRATIVAMENTE POR UNA ALTERACIÓN CALCO-SÓDICA, CON ACTINOLITA EN VETILLAS Y PARCHES, CLORITA, ALBITA Y VETILLAS POLIDIRECCIONALES DE MAGNETITA ALTERADA A HEMATITA Y JAROSITA.....	31
FIGURA 3.7: A) ROCA PORFÍDICA ANDESITA, ALTERADA A CLORITA Y EPIDOTA, CON MINERALIZACIÓN DE MAGNETITA CON HEMATITA Y LIMONITAS EN PÁTINAS. B) AFLORAMIENTO DE ROCA PORFÍDICA ANDESITA ALTERADA A EPIDOTA, LA CUAL PRESENTA PÁTINAS OSCURAS DE HEMATITA Y JAROSITA. LA CRUZ AMARILLA CORRESPONDE A LA ORIENTACIÓN DE LA IMAGEN.....	32
FIGURA 3.8: A) AFLORAMIENTO COMPLETAMENTE OBLITERADO, REMPLAZADO PRINCIPALMENTE A SÍLICE, PRESENTA PLAGIOCLASAS ALBITIZADAS, HEMATITA Y JAROSITA EN PÁTINAS. PROTOLITO CORRESPONDE A LA UNIDAD INTRUSIVA ESTE. B) ROCA ALTERADA PENETRATIVAMENTE, REMPLAZADA POR ABUNDANTE SÍLICE, CON PLAGIOCLASAS ALBITIZADAS, HEMATITA, JAROSITA Y MINERALIZACIÓN DE PIRITA DISEMINADA. PROTOLITO CORRESPONDE A LA UNIDAD VOLCÁNICA. LA CRUZ AMARILLA CORRESPONDE A LA ORIENTACIÓN DE LA IMAGEN.....	33
FIGURA 3.9: A) ALTERACIÓN I. LINEA PUNTEADA SEPARA A AMBOS DOMINIOS MINERALES; ZONA SUPERIOR CON ABUNDANTE HEMATITA, GOETHITA, JAROSITA, MENOR ARCILLA Y CAOLINITA, DE UNA ZONA INFERIOR COMPLETAMENTE ALTERADA A ARCILLA Y CAOLINITA. B) ALTERACIÓN I. DOS DOMINIOS MINERALES SEPARADOS POR UNA RECTA PUNTEADA, EL SUPERIOR CONSTA DE A ABUNDANTE HEMATITA, GOETHITA, JAROSITA, MENOR MAGNETITA, ARCILLAS, CAOLINITA Y YESO EN VETILLAS, MIENTRAS QUE EL INFERIOR PRESENTA ABUNDANTE ARCILLA Y CAOLINITA. LA CRUZ AMARILLA CORRESPONDE A LA ORIENTACIÓN DE LA IMAGEN.	34
FIGURA 3.10: REMANENTE DE UN PIQUE MINERO CON PÁTINAS DE AGREGADO CRIPTOCRISTALINO DE CRISOCOLA, CHALCANTITA Y BROCANITITA.	35
FIGURA 3.11: A) FOTO INTERIOR MINA. CONTACTO ENTRE EL CUERPO MINERALIZADO DE MAGNETITA – PIRITA – CALCOPIRITA E INTRUSIVO ANDESÍTICO, LA LÍNEA PUNTEADA NEGRA MARCA ZONAS DE CARAS FRESCAS Y LA ROJA EL LÍMITE APROXIMADO ENTRE LAS DIFERENTES LITOLÓGÍAS. B) INTRUSIVO ANDESÍTICO, ALTERADO LEVEMENTE A CLORITA – EPIDOTA, CORTADO POR VETILLAS RECTAS DE CUARZO.....	36
FIGURA 3.12: A) ALTERACIÓN POTÁSICA SELECTIVA, LAS PLAGIOCLASAS DEL PROTOLITO ANDESITA SON REMPLAZADAS SELECTIVAMENTE A FELDESPATO POTÁSICO (FK). B) ALTERACIÓN POTÁSICA PENETRATIVA, PROTOLITO REMPLAZADO COMPLETAMENTE A FELDESPATO POTÁSICO (FK) MASIVO Y BIOTITA (BT) SECUNDARIA, LA CUAL SE PRESENTA EN PARCHES Y VETILLAS. C) ALTERACIÓN POTÁSICA BIOTÍTICA PENETRATIVA INTERCRECIDA CON MAGNETITA.	37
FIGURA 3.13: A) MINERALIZACIÓN MASIVA DE MAGNETITA (MGT), PIRITA (PY) Y CALCOPIRITA (CPY) DISEMINADA, CON INTERCRECIMIENTO DE ACTINOLITA (ACT) EN PARCHES. VETILLA DE ACTINOLITA (ACT), APATITO Y MENOR PIRITA (PY), CORTA LA MINERALIZACIÓN (HEMISFERIO SUPERIOR). B) PROTOLITO REMPLAZADO FUERTEMENTE A FELDESPATO POTÁSICO (FK), EL CUAL ES CORTADO POR VETILLAS RECTAS DE ACTINOLITA, LAS CUALES ALCANZAN EL CENTÍMETRO DE ESPESOR. C) CORTE TRANSPARENTE A NICOLÉS CRUZADO.	

VETILLA DE ACTINOLITA (ACT) REMPLAZADA POR CLORITA (CHL); CONSERVANDO EL HÁBITO ACICULAR, CON CUARZO (QZ), ALBITAS (ALB) Y APATITO (APA).....	38
FIGURA 3.14: A) PROTOLITO ALTERADO A CLORITA (CHL) MODERADAMENTE, CON PRESENCIA DE PLAGIOCLASAS ALBITIZADAS, CON VETILLAS RECTAS DE UN MILÍMETRO DE ESPESOR, DE MAGNETITA ALTERADA A HEMATITA (HEM) Y JAROSITA (JAR). B) CORTE TRANSPARENTE A NICOLES CRUZADO. VETILLA DE ACTINOLITA (ACT) COMPLETAMENTE ALTERADA CLORITA (CHL), CON CUARZO (QZ) Y CRISTALES SUBHEDRALES DE PIRITA (PY). C) CORTE TRANSPARENTE A NICOLES CRUZADO. VETILLA DE ACTINOLITA (ACT) REMPLAZADA POR CLORITA (CHL); CONSERVANDO EL HÁBITO ACICULAR, CON CUARZO (QZ), SERICITA (SER) Y PIRITAS (PY) SUBHEDRALES.	39
FIGURA 3.15: A) INTENSIDAD ALTERACIÓN POTÁSICA SEGÚN LA DISTANCIA A LA ENTRADA GALERÍA MINA. B) INTENSIDAD ALTERACIÓN CA-NA SEGÚN LA DISTANCIA A LA ENTRADA GALERÍA MINA. C) INTENSIDAD ALTERACIÓN CLORITA-SERICITA SEGÚN LA DISTANCIA A LA ENTRADA GALERÍA MINA. PLANTA CON PROYECCIÓN LINEAL DE INTERIOR GALERÍA.	40
FIGURA 3.16: COMPARACIÓN INTENSIDAD DE ALTERACIÓN POTÁSICA Y CLORITA-SERICITA SEGÚN LA DISTANCIA A LA ENTRADA GALERÍA MINA. PLANTA CON PROYECCIÓN LINEAL DE INTERIOR GALERÍA.	41
FIGURA 3.17: A) COMPARACIÓN INTENSIDAD DE ALTERACIÓN POTÁSICA Y CLORITA-SERICITA EN SONDAJE SDH-02 A PARTIR DE LA SUPERFICIE. B) COMPARACIÓN INTENSIDAD DE ALTERACIÓN POTÁSICA Y CLORITA-SERICITA EN SONDAJE SDH-03 A PARTIR DE LA SUPERFICIE. C) COMPARACIÓN INTENSIDAD DE ALTERACIÓN POTÁSICA Y CLORITA-SERICITA EN SONDAJE SDH-05 A PARTIR DE LA SUPERFICIE. D) COMPARACIÓN INTENSIDAD DE ALTERACIÓN POTÁSICA Y CLORITA-SERICITA EN SONDAJE SDH-08 A PARTIR DE LA SUPERFICIE. BLOQUES GRISES CORRESPONDEN A ZONAS CON VACÍOS DE INFORMACIÓN, RETIRADOS POR ENAMI ANTERIORMENTE POR SER SECCIONES MINERALIZADAS Y POTENCIALMENTE ECONÓMICAS.	42
FIGURA 3.18: A) ALTERACIÓN POTÁSICA QUE ALTERA FUERTEMENTE AL PROTOLITO. ESTA A SU VEZ, ES REMPLAZADA POR ABUNDANTE EPIDOTA (EP), REEMPLAZANDO FELDESPATOS POTÁSICOS (FK), BIOTITAS Y REMANENTES DE ANDESITA PORFÍDICA; LA CUAL SE VISUALIZA COMO PARCHES COLOR PISTACHO. B) VETILLA RECTAS DE EPIDOTA QUE CORTAN LA ROCA CAJA ANDESÍTICA ALTERADA A SERICITA. EVENTO DE SERICITACIÓN Y EPIDOTIZACIÓN TARDÍA. C) CORTE TRANSPARENTE A NICOLES CRUZADO. ROCA ALTERADA FUERTEMENTE A CLORITA (CHL), LA CUAL A SU VEZ ES ALTERADA A EPIDOTA (EPD) CON PRESENCIA DE SERICITA (SER). VETILLA DE CUARZO CORTAN TODA LA MINERALOGÍA.	43
FIGURA 3.19: ROCA ALTERADA PENETRATIVAMENTE, PRESENTA ABUNDANTE HEMATITA (HEM) Y JAROSITA (JAR) ALTERANDO MAGNETITA. DESTACA LA PRESENCIA DE ARCILLAS (ARC) ALTERANDO LA ROCA REMANENTE.	44
FIGURA 3.20: A) CRISTAL DE PIRITA (PY) INTERCRECIDO CON MAGNETITA (MGT), QUE CONTIENE UNA INCLUSIÓN DE CALCOPIRITA (CPY) Y BORNITA (BRN). B) CRISTALES DE PIRITA (PY) INTERCRECIDOS CON MAGNETITA (MGT) Y PIRITA (PY) DISEMINADA.	45
FIGURA 3.21: A) MINERALIZACIÓN MASIVA DE MAGNETITA (MGT) CON PIRITA (PY) DISEMINADA, PRESENCIA DE CLORITA (CHL) REMPLAZANDO REMANENTES DE LA ROCA CAJA Y HEMATITA (HEM) EN PÁTINA COMO ALTERACIÓN DE MAGNETITA (MGT). B) MUESTRA EXTRAÍDA DE ACOPIO, PRESENTA MINERALIZACIÓN MASIVA DE MAGNETITA (MGT), PIRITA (PY), CALCOPIRITA (CPY) Y MENOR BORNITA.	46
FIGURA 3.22: A) CRISTAL DE PIRITA (PY) INTERCRECIDO CON MAGNETITA (MGT), AMBOS CONTIENEN CALCOPIRITA (CPY). B) MINERALIZACIÓN DE PIRITA (PY) CON MENOR CALCOPIRITA (CPY) EN BOLSONES ENRIQUECIDOS (POLÍGONOS PUNTEADOS). EVENTO DE MINERALIZACIÓN RICA EN SULFUROS TALES COMO PIRITA Y CALCOPIRITA.....	47
FIGURA 3.23: ROCA ANDESITA PORFÍDICA CON PLAGIOCLASAS ALBITIZADAS, CORTADA POR UNA VETILLA RECTA; DE UN CENTÍMETRO DE ESPESOR, CON POR PIRITA (PY) Y ACTINOLITA (ACT).....	48

FIGURA 3.24: A) VETILLA RECTA DE UNOS 5 CM DE ESPESOR, CON CRISTALES DE CUARZO (QZ) EUHEDRALES DE HASTA 4 CM Y CRISTALES DE PIRITA SUBHEDRALES DE HASTA 2 MM. B) CORTE PULIDO A LUZ REFLEJADA DE UNA VETILLA DE CUARZO (QZ), CON GRANOS DE PIRITA (PY) SUBHEDRALES Y CALCOPIRITA (CP) ANHEDRALES. LOS GRANOS DE CALCOPIRITA (CP) PRESENTAN BORDES DE REACCIÓN ALTERADOS A CALCOSINA (CS). C) VETILLA RECTA DE 4 CM DE ESPESOR, CON CRISTALES DE CUARZO (QZ) EUHEDRALES DE HASTA 2 CM Y CRISTALES DE PIRITA SUBHEDRALES DE HASTA 2 MM, PROVENIENTE DE INTERIOR GALERÍA MINA.....	49
FIGURA 3.25: A) CONCENTRACIÓN DE MAGNETITA SEGÚN LA DISTANCIA A LA ENTRADA GALERÍA MINA. B) CONCENTRACIÓN PIRITA SEGÚN LA DISTANCIA A LA ENTRADA GALERÍA MINA. C) CONCENTRACIÓN SEGÚN LA DISTANCIA A LA ENTRADA GALERÍA MINA. PLANTA CON PROYECCIÓN LINEAL DE INTERIOR GALERÍA.	50
FIGURA 3.26: CONCENTRACIÓN DE MAGNETITA, PIRITA Y CALCOPIRITA SEGÚN LA DISTANCIA A LA ENTRADA GALERÍA MINA. PLANTA CON PROYECCIÓN LINEAL DE INTERIOR GALERÍA. ...	51
FIGURA 3.27: A) LEY DE COBRE PARA CADA MUESTRA GEOQUÍMICA, GALERÍA MINA. B) LEY DE HIERRO PARA CADA MUESTRA GEOQUÍMICA, GALERÍA MINA. C) LEY DE COBALTO PARA CADA MUESTRA GEOQUÍMICA, GALERÍA MINA. D) LEY DE NIQUEL PARA CADA MUESTRA GEOQUÍMICA, GALERÍA MINA. E) LEY DE FÓSFORO PARA MUESTRAS GEOQUÍMICAS, GALERÍA MINA. F) LEY DE MANGANESO PARA CADA MUESTRA GEOQUÍMICA, GALERÍA MINA. G) LEY DE ARSÉNICO PARA CADA MUESTRA GEOQUÍMICA, GALERÍA MINA. H) LEY DE AZUFRE PARA CADA MUESTRA GEOQUÍMICA, GALERÍA MINA. I) LEY DE PLATA PARA CADA MUESTRA GEOQUÍMICA, GALERÍA MINA.....	56
FIGURA 3.28: A) LEY DE HIERRO PARA SECCIÓN SONDAJE SDH 1, SDH 4 Y SDH 7 SEGÚN PROFUNDIDAD. B) LEY DE COBRE PARA SECCIÓN SONDAJE SDH 1 Y SDH7 SEGÚN PROFUNDIDAD. C) LEY DE COBRE LIXIVIADO PARA SECCIÓN SONDAJE SDH 1 Y SDH5 7 SEGÚN PROFUNDIDAD. D) LEY DE COBRE INSOLUBLE PARA SECCIÓN SONDAJE SDH 1 Y SDH 7 SEGÚN PROFUNDIDAD. E) LEY DE ORO PARA SECCIÓN DE SONDAJE SDH 1 Y SDH 7 SEGÚN PROFUNDIDAD. F) LEY COBALTO PARA SECCIÓN DE SONDAJE SDH 1 Y SDH 7 SEGÚN PROFUNDIDAD.....	57
FIGURA 4.1: RANGOS COMUNES DE ESTABILIDAD DE TEMPERATURA EN SISTEMAS GEOTÉRMICOS PARA MINERALES HIDROTERMALES. MODIFICADA DE MASTERMAN (2003), PASS (2010) Y ESCOLME (2016).	60
FIGURA 4.2: MINERALES DE ALTERACIÓN COMUNES EN SISTEMAS HIDROTERMALES, LA FLECHA NEGRA PUNTEADA MARCA LA EVOLUCIÓN DEL FLUIDO HIDROTERMAL Y MINERALOGÍA ASOCIADA AL DEPÓSITO LA ESTRELLA. MODIFICADO DE CORBETT Y LEACH (1998).	60
FIGURA 4.3: ZONIFICACIÓN MINERAL VERTICAL QUE MUESTRA LA TRANSICIÓN DEL DEPÓSITO DE ÓXIDO DE HIERRO-APATITA (IOA) EN PROFUNDIDAD, HACIA UN IOCG RICO EN MAGNETITA A NIVELES INTERMEDIOS E IOCG RICO EN HEMATITA EN LA PARTE SUPERIOR. SE MUESTRAN LOS DIFERENTES ESTILOS DE MINERALIZACIÓN OBSERVADOS PARA LOS DEPÓSITOS IOCG ANDINOS. MODIFICADO DE BARRA ET AL. (2017) Y DE ESPINOZA ET AL. (1996). RECTÁNGULO ROJO INDICA LA POSIBLE UBICACIÓN PARA EL PROSPECTO LA ESTRELLA. MODIFICADO DE BARRA ET AL. (2017) Y DE ESPINOZA ET AL. (1996).	63

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 2.1: SECUENCIA PARAGENÉTICA DEL YACIMIENTO PRODUCTORA. MODIFICADO DE FOX (2000).....	20
TABLA 2.2: SECUENCIA PARAGENÉTICA DE PRODUCTORA. LA GÉNESIS DEL COMPLEJO DE BRECHAS SE DIVIDE EN CINCO ETAPAS. LAS VARIACIONES VERTICALES EN LA MINERALOGÍA DEL CEMENTO DE BRECHA DE LA ETAPA 3 SE MUESTRAN MEDIANTE	

TRIÁNGULOS CON UN ANCHO PROPORCIONAL A LA ABUNDANCIA DE MINERALES; LOS TRIÁNGULOS DE DISTINTO COLOR; NEGRO Y BLANCO, CORRESPONDEN A LA SECCIÓN 6822215 Y 6820850 MN RESPECTIVAMENTE. LA INTENSIDAD RELATIVA DE LA MINERALIZACIÓN SE MUESTRA MEDIANTE LÍNEAS CONTINUAS (FUERTES) O DISCONTINUAS (DÉBILES). MODIFICADO DE ESCOLME (2016).....	21
TABLA 3.1: PRINCIPALES ALTERACIONES RECONOCIDAS EN EL DEPÓSITO LA ESTRELLA	30
TABLA 3.2: SECUENCIA PARAGENÉTICA MINA LA ESTRELLA	53
TABLA 3.3: RESULTADOS ANALÍTICOS DE CU, FE, CO, NI, P, MN, AS, S Y AG, PARA LAS MUESTRAS OBTENIDAS DE LA MINA LA ESTRELLA DISTRITO ZAPALLO, EL RESTO DE LOS ELEMENTOS REPORTADOS SE PRESENTAN EN EL ANEXO IV.	55
TABLA 4.1: TONELAJE Y LEY DE COBRE ROCA TOTAL PARA LOS DEPÓSITOS QUE CONFORMAN EL DISTRITO DE IOCG CANDELARIA-PUNTA DEL COBRE (DEL REAL ET AL., 2018)	67

Anexo I: Descripción muestra de mano

Anexo II: Mapeo de sondajes, fichas adjuntas y digitalizadas

Anexo III: Mapeo galería mina, fichas adjuntas y digitalizadas

Anexo IV: Resultados de análisis geoquímico y certificados de análisis

Anexo V: Análisis geoquímicos realizados por ENAMI y otros autores en la zona de interés

1 INTRODUCCIÓN

El depósito mineral La Estrella actualmente es explotado de manera artesanal, principalmente por su contenido anómalo de cobre y oro. Este yacimiento destaca también por contenido relevante magnético (magnetita) y contenido de cobalto en piritas. No se conoce mayormente antecedentes respecto a La Estrella, para lo cual se propone realizar un estudio minucioso con el fin de robustecer la información geológica conocida, respondiendo a las inquietudes y solicitudes del propietario.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo General

Realizar un reconocimiento geológico y caracterización del depósito La Estrella y establecer el tipo de yacimiento mineral existente.

1.1.2 Objetivo Específico

- Establecer la geología básica del área, incluyendo estratigrafía y geología estructural.
- Determinar las asociaciones de alteración hidrotermal presentes y su evolución temporal.
- Caracterizar la mineralización existente y su evolución temporal.
- Determinar el tipo de yacimiento y estimar su potencial de exploración.

1.2 UBICACIÓN Y ACCESO

La Estrella, está ubicada en la Provincia del Huasco, Región de Atacama, Chile, en la zona occidental de la Cordillera de la Costa, a 20 km al suroeste de la ciudad de Vallenar, aproximadamente a 544 km al norte de Santiago (Figura 1.1). La propiedad corresponde a 1,4 km² del Distrito El Zapallo.

Su principal acceso, ya sea desde el norte o sur es a través de la Ruta 5 Norte por la salida a ruta C-902, en dirección al Oeste, camino ripiado que accede a la mina directamente desde el norte (Figura 1.1).

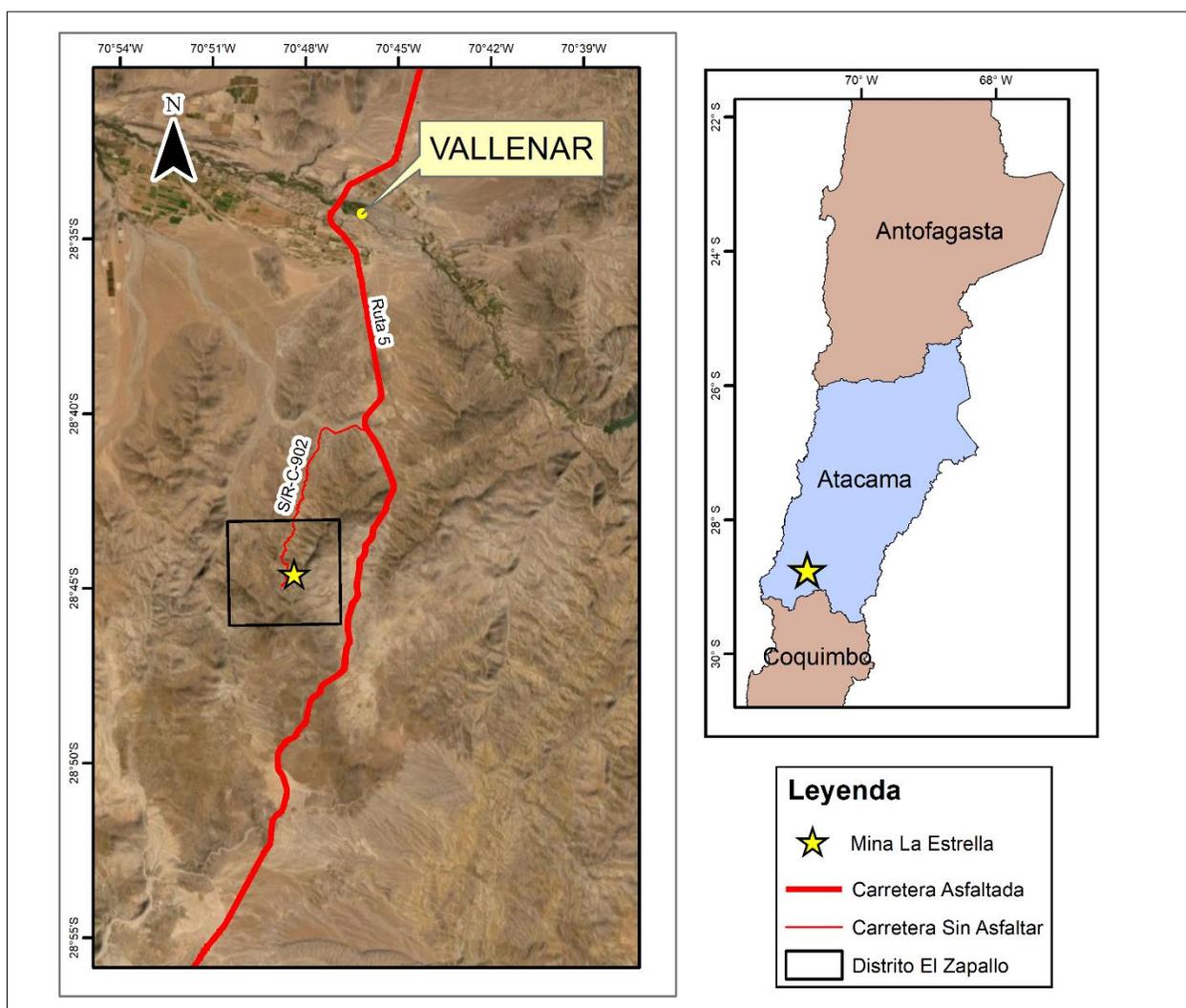


Figura 1.1: Ubicación y vías de acceso al yacimiento minero La Estrella. Coordenadas según DATUM WGS84 huso 19S

1.3 FISIOGRAFÍA Y DRENAJE

El área de estudio se encuentra en el flanco este de la Cordillera de la Costa. El relieve de la zona está dominado por cadenas de cerros con una orientación N-NW. Alcanzando alturas que van desde los 700 a 1.450 m s. n. m., destacando Cerro El Zapallo (1.309 m.s.n.m.), Cerro Buitrera (1.428 m.s.n.m.) y Cerro El Choco (1.123 m.s.n.m.) (Figura 1.2).

La red hidrográfica presenta una orientación dominante N-NW. La zona de interés se encuentra al norte de la quebrada Escondida y cortada por la quebrada El Zapallo, cuyos drenes se orientan hacia el NW y confluyen en la quebrada Santa Ana la cual a su vez desagua en la quebrada La Higüera con orientación NS (Figura 1.2).

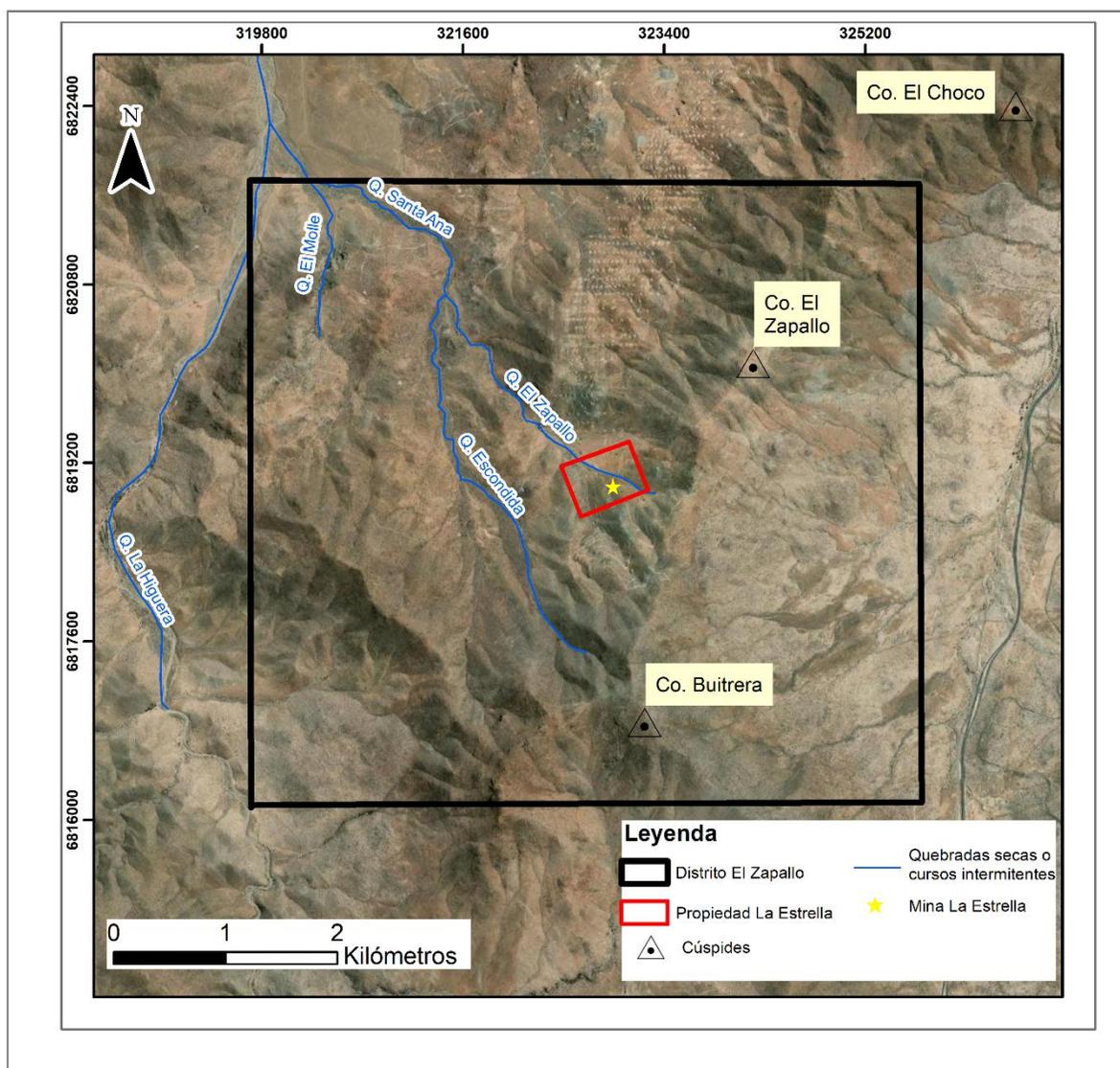


Figura 1.2: Mapa de fisiografía y drenaje zona de estudio. Coordenadas UTM DATUM WGS84 huso 19S, modificado de Arévalo et al., 2009.

Basado en imágenes DEM y lineamientos, se observa que el área de estudio se encuentra dentro de un bloque con un arreglo de lineamientos con orientación predominante NW-SE (Figura 1.3).

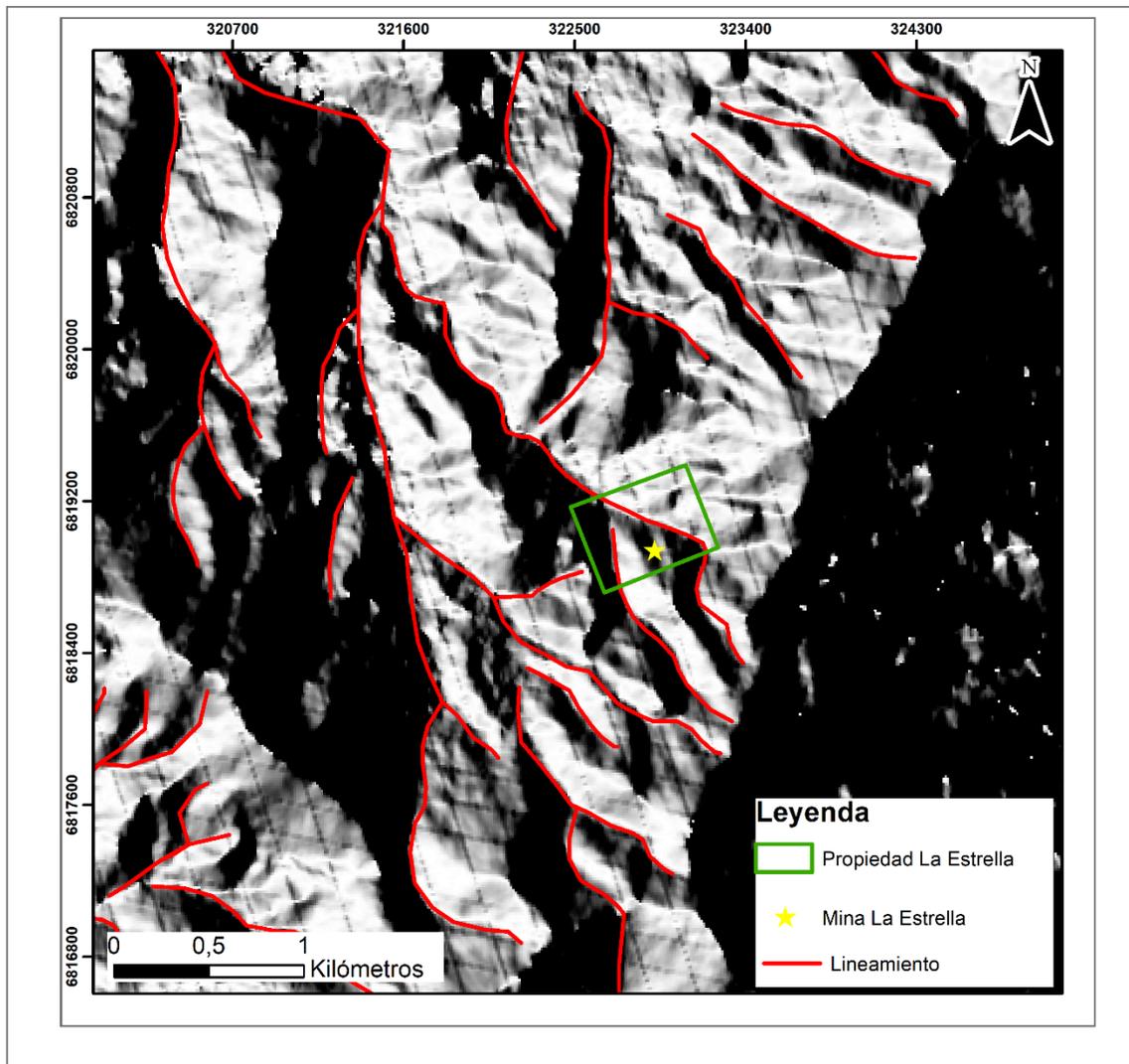


Figura 1.3: Mapa fisiográfico del área de estudio y su entorno, sobre imagen DEM tomada de EARTHDATA. Escala 1: 50.000.

1.4 CLIMA

El clima que predomina en la región de Atacama corresponde al desértico, abarcando un 81 % de la superficie regional, mientras la superficie restante responde a una tipología de tundra de alta montaña. Las características de estas dos grandes unidades climáticas radican en precipitaciones anuales inferiores a la evaporación (Henríquez, 2013). Las características climáticas de la Región de Atacama están determinadas principalmente por la presencia del Anticiclón Subtropical del Pacífico Sur y la corriente fría de Humboldt. El aire húmedo proveniente del mar da origen a intensas neblinas costeras (Camanchaca), hacia el interior siendo el clima seco. Las temperaturas son altas y con ciclos diurnos muy marcados. El fenómeno climático El Niño, evento errático, causa un aumento en las precipitaciones incrementando la disponibilidad de agua y permitiendo el desarrollo de vegetación en zonas usualmente desprovista de ella, provocando una disminución de la temperatura del aire cerca de la superficie (Juliá et al., 2008).

1.5 METODOLOGÍA DE TRABAJO

La metodología se subdivide en tres etapas, etapa inicial de pre terreno, una etapa de terreno y finalmente una etapa de post terreno, las cuales se describen a continuación:

1.5.1 Etapa 1 Preterreno: Recopilación e Investigación bibliográfica

En primera instancia se revisó la información bibliográfica disponible respecto a la geología y los depósitos IOCG/IOA de la Franja Ferrífera Chilena. Además, se procedió a estudiar trabajos realizados en la zona y alrededores, poniendo especial énfasis en los trabajos desarrollados en los depósitos La Estrella y Productora, la cual se encuentra a 2 km al norte de La Estrella y comparten similitudes con respecto a su estilo de mineralización, alteración hidrotermal, control estructural y roca huésped.

1.5.2 Etapa 2 Terreno: Levantamiento de información geológica y obtención de muestras

Se realizó una campaña de terreno que tuvo una duración de 9 días, en los cuales se desempeñaron las siguientes labores:

- Durante 4 días, se realizó la caracterización geológica en superficie a escala 1:5.000, aprovechando los diferentes afloramientos ya sean naturales o antrópicos, por ejemplo, quebradas de ríos secos, afloramientos naturales, piques abandonados y activos, galería de mina subterránea, plataformas de perforación, canaletas artesanales y paredes de caminos vehiculares. Se recopiló un total de 40 muestras, de las cuales 4 provienen de interior mina mientras que las 36 restantes, fueron extraídas de diferentes puntos superficiales de la

propiedad. Con el propósito de realizar descripciones minerales macroscópicas y microscópicas, abarcando litología, alteración, mineralización y estructuras.

- A lo largo de 2 días, se procedió a realizar un mapeo de 400 m de galería interior mina, efectuada a una escala de 1:100 para verter en 1:500. Identificando litología, alteración, mineralización y estructuras. Además, se escogieron 5 muestras representativas para realizar 6 secciones transparentes-pulidas. En forma adicional, 7 muestras fueron sometidas para análisis geoquímicos.
- Se realizó durante 3 días, un estudio de mapeo de sondajes pertenecientes a la campaña exploratoria de ENAMI. En la cual, se realizaron 8 sondajes diamantina que alcanzaron como máximo los 180 m de profundidad, con el propósito de calcular las dimensiones del cuerpo mineralizado y la estimación de recursos. Posteriormente, ENAMI retiró las secciones con mejor ley en primera instancia. De los 8 sondajes disponibles se estudiaron 7, con el fin de reconocer litología, alteración y mineralización a profundidad.

1.5.3 Etapa 3: Post terreno

Se describieron macroscópicamente las muestras obtenidas durante la etapa de terreno y, posteriormente, se describieron 6 cortes transparentes-pulidos con el propósito de diferenciar las distintas litologías, caracterizar las texturas minerales e identificar la mineralogía de mena y ganga.

Una vez recopilada la información superficial del yacimiento La Estrella se elaboró un mapa geológico, el cual abarca la litología, alteraciones, mineralización y estructuras reconocidas en la zona de estudio, digitalizado a través del software ArcGis 10.4.

En base a los resultados obtenidos de las descripciones macroscópicas y microscópicas, se determinó la secuencia paragenética del depósito mineral La Estrella, agrupando las asociaciones minerales en eventos de mineralización con su respectiva temporalidad relativa.

A partir de la información geológica de superficie, su proyección en profundidad, juntamente con la información de galerías y sondajes, se elaboró un modelo 2D del yacimiento en profundidad.

2 MARCO GEOLÓGICO

2.1 MARCO TECTÓNICO REGIONAL

El ciclo tectónico andino que dio origen a los Andes comienza en el Pensilvano, proceso continuo desde el Paleozoico (Rey et al., 2016). Precisamente en el Jurásico Inferior y hasta el Cretácico Inferior, la subducción era sobre un continente fijo dominado por un régimen extensivo. Luego a finales del Mesozoico, alrededor de los 80 Ma, se produce un salto muy fuerte que cambia la dinámica del margen andino (Camus, 2003). Así la evolución geológica del norte de Chile durante el ciclo andino ha sido dividida en tres etapas; (1) Jurásico inferior tardío a Cretácico Inferior tardío; (2) Cretácico Superior a Eoceno Medio; (3) Eoceno tardío al Presente (Charrier et al., 2007)

La primera Etapa registrada al norte de los 39°S, caracterizada por el desarrollo de un arco magmático orientado norte-sur a lo largo de lo que hoy constituye la Cordillera de la Costa y una cuenca de trasarco al este del arco. La subducción era de tipo Mariana, dominando así un régimen tectónico extensional en el margen continental, actividad magmática intensa a lo largo del arco y abundante sedimentación en la cuenca de trasarco (Camus, 2003), evento que además dio origen a la formación de la Zona de Falla de Atacama (Creixell et al., 2015).

Esta primera etapa esta subdividida en dos; la primera subetapa (Jurásico Inferior tardío-Kimmeridgiano), se caracteriza por una intensa actividad en el arco y el desarrollo de un ciclo marino transgresivo-regresivo en la cuenca del trasarco, bajo un régimen extensivo favoreciendo la actividad magmática, abundante sedimentación en la cuenca de trasarco y, simultáneamente, batolitos de enormes dimensiones emplazaron estas sucesiones volcánicas (Formación La Negra; Formación Punta del Cobre). Al final de esta primera subetapa, comenzó una fase de hundimiento tectónico seguida de un hundimiento térmico. La subetapa posterior (Kimmeridgiano a Aptiano-Albiano) caracterizada por una menor actividad en el arco que migra paulatinamente hacia el este y por un segundo ciclo marino de transgresión-regresión en la cuenca del retroarco (Charrier et al., 2007) evidenciado por el Grupo Chañarcillo (Segeerstrom y Parker, 1959). Esta subetapa culmina con una intensa deformación, asociada a un régimen compresivo intenso, denominado Fase Peruana del Cretácico Superior, trayendo como consecuencia la emersión del margen continental y la inversión de la cuenca trasarco.

2.2 GEOLOGÍA DISTRITAL

La descripción de la geología distrital está basada en la Carta Geología del Área Vallenar-Domeyko escala 1:100.000 (Arévalo et al., 2009), la que describe la geología distrital entre los paralelos 28°30' y 29°00'S y entre los meridianos 70°30'O y 71°00'O, y cubre un área aproximada de 2.800 km² en la zona sur de la Región de Atacama. Abarca parte de la Cordillera de la Costa y la parte más occidental de la Cordillera Principal. Las unidades de este período corresponden rocas volcánicas y volcanoclásticas, de probable edad valanginiana, que se intercalan con rocas calcáreas. El control estructural está subordinado a el Sistema de Falla de Atacama.

El yacimiento La Estrella se encuentra hospedada en rocas andesíticas pertenecientes a la Formación Punta del Cobre (Segerstrom y Ruiz, 1962). Dicha formación corresponde a una secuencia volcánica sedimentaria heterogénea de origen principalmente continental. Se subdivide en tres secciones, una inferior y superior compuesta de coladas andesíticas, y una sección intermedia con presencia de calizas interestratificadas con lavas. La presencia de amonites del género *Crioceratites sp* determina una edad Huateriviana superior (Mourgues, 2007 a; Mourgues, 2007 b). Además, dichas calizas se correlacionan con calizas de la Formación La Negra, adjudicando un rango de edad entre el Jurásico Superior y el Hauteriviano superior (Arévalo et al., 2009).

Las andesitas de la Formación Punta del Cobre subyacen a la Formación Nantoco (Biese-Nickel en Hoffstetter et al., 1957), de carácter sedimentario y ambiente marino. Se observa en ella sucesiones de calcarenitas, calcilitas e intercalaciones de brechas volcánicas. Contiene amonites pertenecientes a los géneros *Sabaudiella* y *Paraspiticerias*, asignándose una edad Huateriviano superior (Mourgues, 2007a, b; Aguirre-Urreta et al., 2007). Ambas formaciones se encuentran en contacto tectónico mediante una falla normal de orientación noroeste.

A su vez, la Formación Nantoco es sobre yacida por depósitos no consolidados a moderadamente consolidados del Mioceno-Holoceno. Estos, en orden cronológico, corresponden a Las Gravas de Domeyko del Mioceno Medio (Arévalo et al., 2009); serie de depósitos aterrazados de gravas y arena con intercalaciones de limolita carbonatadas, Depósitos Aluviales y Coluviales Antiguos del Mioceno Superior-Plioceno (Arévalo et al., 2009); correspondientes a gravas y ripios polimícticos mal a moderadamente consolidados, y arenas. Por último, Depósitos Aluviales del Pleistoceno-Holoceno (Arévalo et al., 2009); correspondientes a sedimentos no consolidados a moderadamente consolidados, compuestos por fragmentos de rocas tamaño limo, arena, ripio, grava y bloque (Figura 2.1).

Durante el Cretácico Inferior -Cretácico Superior, las formaciones Punta del Cobre y Nantoco fueron intruidas por cuerpos de composición granodiorítica a diorítica. Siendo 3 los más relevantes: (1) Complejo Plutónico La Higuera (Arévalo y Walkner, 2008) que aflora al NNE de la carta, presenta una composición granodiorítica-diorítica con anfíbol, biotita y piroxeno, dataciones Ar/Ar indican una edad de $122,3 \pm 1,3$ Ma en biotita y $124,3 \pm 1,9$ Ma en anfíbol (Valenzuela, 2002). (2) Granodiorita Florida (Arévalo et al., 2009), que aflora en el centro-occidente de la carta, corresponde a una granodiorita principalmente con biotita y anfíbol, mediante datación Ar/Ar se estima una edad de $101,4 \pm 0,5$ en biotita y 104 ± 8 Ma en anfíbol (Arévalo et al., 2009). Por último, el Complejo Plutónico Camarones (Arévalo et al., 2009) ubicado en el centro de la carta (Figura 2.1), corresponde a plutones granodioríticos subordinadamente dioríticos de biotita y anfíbol, que presentan una edad Cenomaniano determinada por Gipson et al (2003), indicado una edad Ar/Ar de $93,5 \pm 0,4$ Ma en biotita y una edad de $93,0 \pm 0,9$ Ma en anfíbol (Figura 2.1).



Figura 2.1: Geología del Distrito El Zapallo y Mina La Estrella. Información proveniente de Arévalo et al. (2009). Coordenadas UTM DATUM WGS84 huso 19S.

2.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Las rocas volcano-sedimentarias e intrusivos del Jurásico y Cretácico Inferior son cortadas por el sistema de Falla de Atacama (SFA), el cual corresponde a un sistema paralelo al arco con rumbo N, que se extiende desde Iquique (20°S) hasta La Serena (30°S), abarcando una distancia de 1000 km (Brown et al., 1993; Sillitoe and Parello, 2005) (Figura 2.2). Este sistema se desarrolla contemporáneo a la formación del arco Mesozoico en la Cordillera de la Costa (Brown et al., 1993) y proporcionó la arquitectura estructural para el ascenso del magma (Berg et al., 1983; Scheuber y Reutter, 1992; Grocott et al., 1994; Charrier et al., 2007).

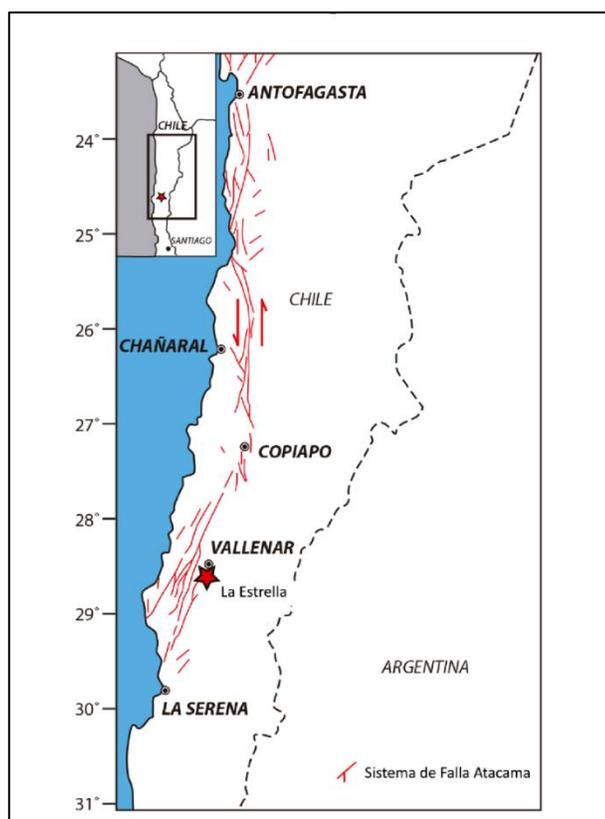


Figura 2.2: Principales trazas del Sistema de Fallas de Atacama en el norte de Chile, con la ubicación de La Estrella como referencia. Esta se divide en tres segmentos arqueados: La Serena a Chañaral, Chañaral a Antofagasta y Antofagasta a Iquique. Modificado de Brown et al. (1993).

El SFA presenta un comportamiento tanto dúctil como frágil (Hervé, 1987 a; Scheuber y Andriessen, 1990; Scheuber y Reutter, 1992; Dallmeyer et al. 1996). A través de la datación K-Ar de la mineralización asociada, se ha inferido que los desplazamientos frágiles y siniéstrales son de edad Cretácico medio (Brown et al., 1993). La transición al comportamiento frágil se atribuye al enfriamiento de la corteza después del cierre del arco magmático (Brown et al., 1993), de acuerdo con la relación temporal entre el cese de emplazamientos plutónicos y el inicio de la formación de fallas frágiles (Taylor et al. 1998).

Cabe mencionar que el trazo principal de este sistema de fallas se ha subdividido en tres segmentos principales cóncavos hacia el oeste, que de norte a sur son Salar del Carmen, Paposo y El Salado – Vallenar (Naranjo, 1987; Thiele y Pincheira, 1987; Thiele y Hervé, 1984; García, 1991; Brown et al., 1993; Marinovic et al., 1995; Arévalo et al., 2003; Charrier et al., 2007) (Figura 2.2).

En el segmento arqueado El Salado Vallenar, se detectó actividad extensional dúctil para el Jurásico Tardío (159 y 156 Ma; $^{40}\text{Ar} / ^{39}\text{Ar}$ sobre moscovita de milonitas), asociado con el emplazamiento de complejos plutónicos del Cretácico Temprano (Brown et al. 1993; Grocott & Taylor 2002).

El distrito se encuentra en la parte del extremo sur del Sistema de Falla de Atacama y de las fallas extensionales mesocretácicas (Albiano-Cenomaniano). Los rasgos estructurales más antiguos de la Carta Geológica de Área Vallenar – Domeyko (Arévalo et al., 2009) corresponden a dos sistemas estructurales mayores, de orientación NNE-SSW, que cortan y deforman secuencias estratigráficas y rocas plutónicas mesozoicas, que constituyen parte del segmento El Salado-Vallenar. Las fallas extensionales mesocretácicas corresponden a un conjunto de fallas de alto ángulo y rumbo NW, NNE y NE que desplazan de manera normal a la Formación Punta del Cobre y al Grupo Chañarcillo (SW-ENAMI, 2011) (Figura 2.3).

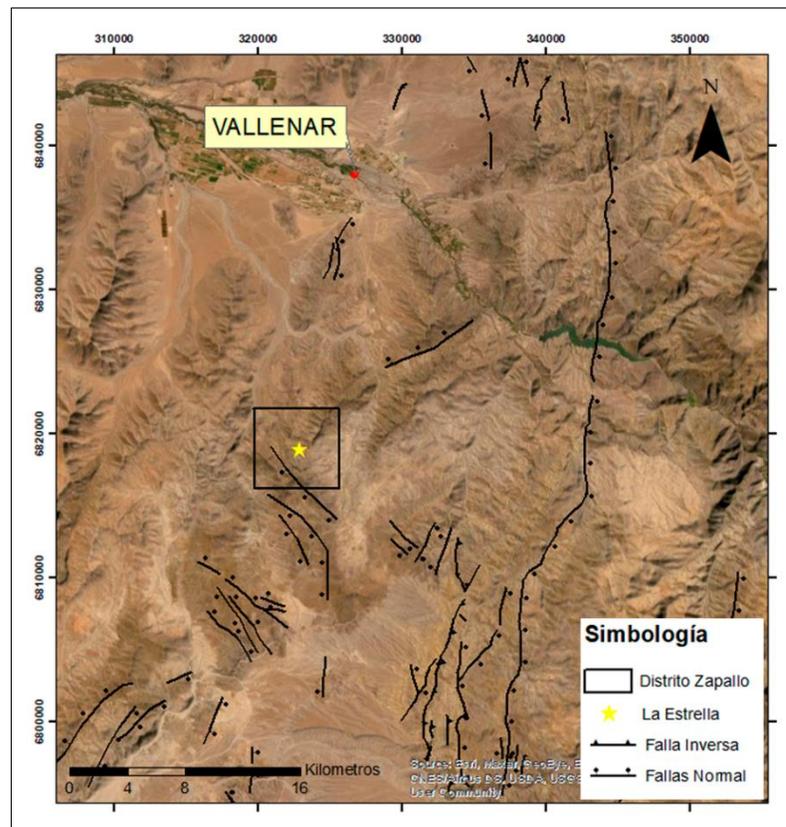


Figura 2.3: Principales estructuras reconocidas en la carta geológica de Vallenar-Domeyko. Modificado de Arévalo et al. (2009).

2.4 MARCO METALOGÉNICO

La Estrella se encuentra ubicada en una zona de gran importancia metalogénica, formando parte de la Franja de IOCG andina, que abarca desde el sur de Perú hasta la IV Región de Chile con disposición NS, esta forma parte del arco volcánico-plutónico del Jurásico-Cretácico Inferior (Sillitoe, 2003) y presenta un variado conjunto de depósitos metalíferos (Figura 2.4), entre ellos pórfidos cupríferos, depósitos de óxido Fe-Cu-Au (IOCG), depósitos de óxido de Fe-apatito (IOA) y depósitos estratoligados (Maksaev et al., 2007) (Figura 2.5). Este conjunto de múltiples depósitos se encuentra distribuidos a lo largo del segmento más austral (26°-30°S) de la Zona de Falla de Atacama (Ruiz et al., 1965; Espinoza, 1990; Nyström y Henríquez, 1994; Maksaev et al., 2010).

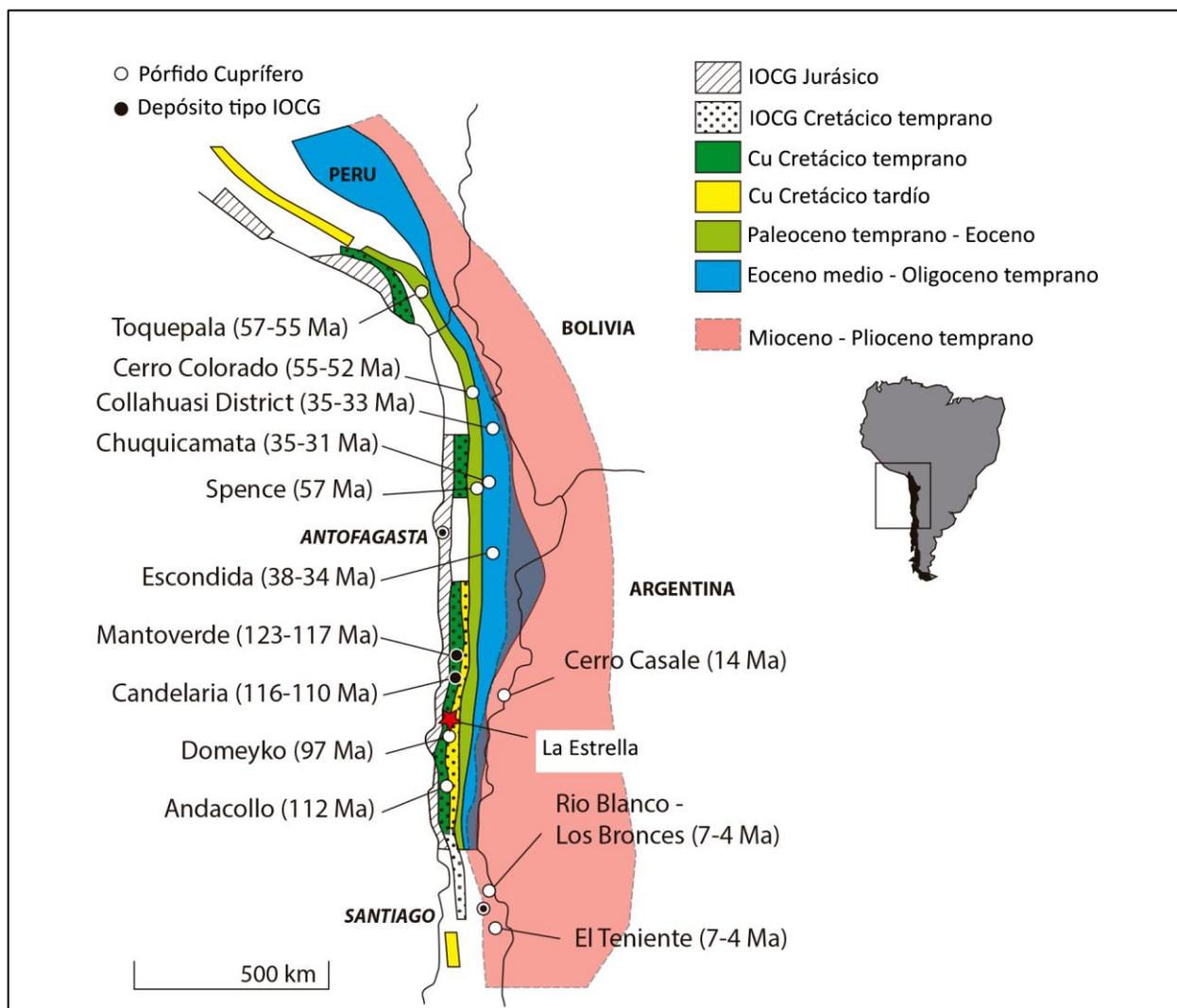


Figura 2.4: Cinturones metalogénicos orógenos paralelos de los Andes, cada uno de los cuales representa épocas discretas de mineralización de Cu caracterizadas por un estilo de depósito. Modificado de Sillitoe y Perelló (2005) y Escolme (2016).

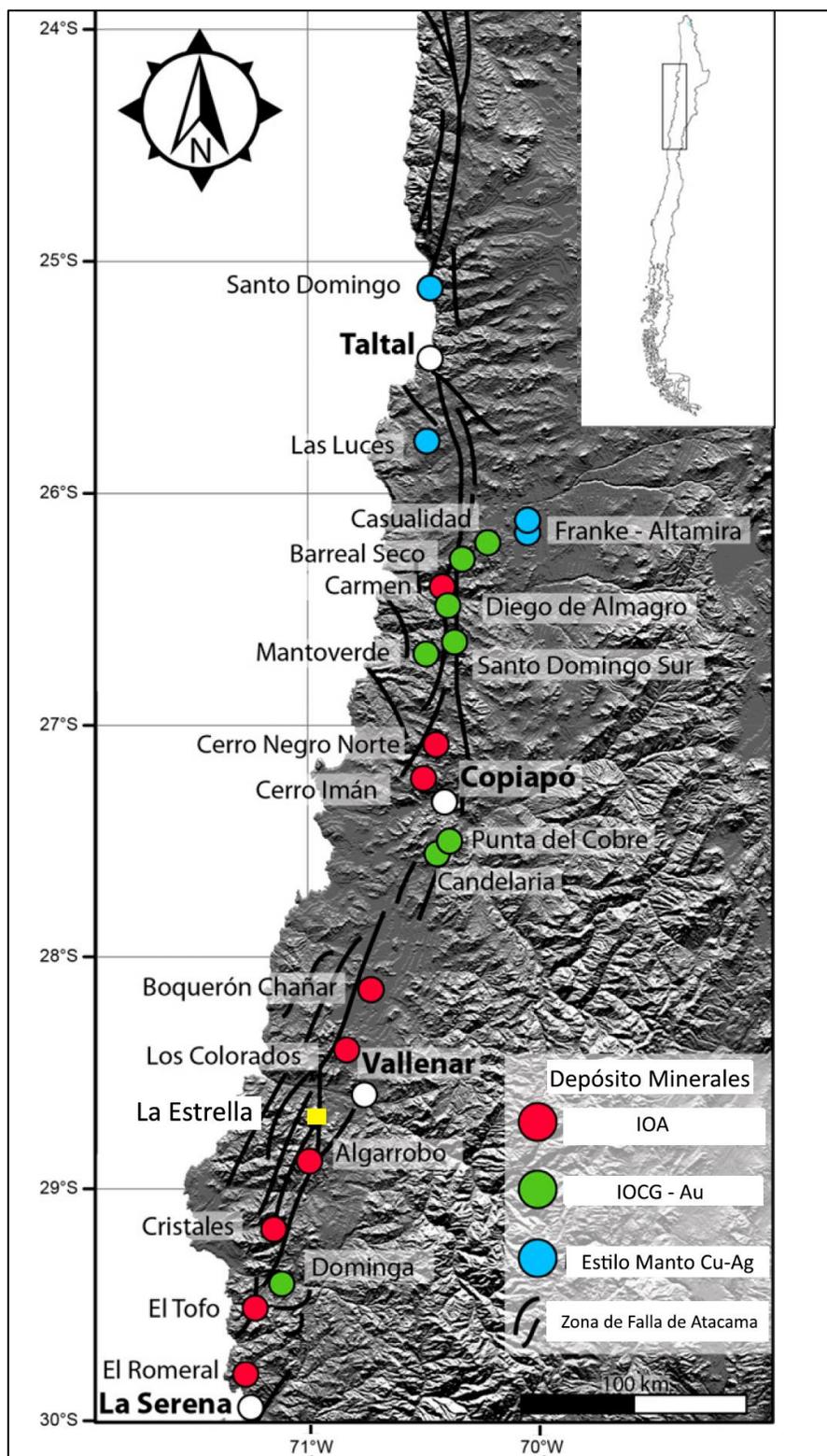


Figura 2.5: Principales yacimientos tipo IOA, IOCG -Au y manto con contenido de Cu - Ag de la Franja Ferrífera Chilena. Modificado de Barra et al. (2017).

2.4.1 Clan IOCG

Barton (2014) describió la geoquímica representativa del clan de óxidos de hierro – Cu – Au – REE – P – Ag – U – Co (IOCG), el cual abarca numerosos y diversos depósitos, estos contienen concentraciones superiores al 10,0% wt de óxidos de Fe con bajo contenido de Ti. Estos combinados con contenidos elevados de Cu, REE, P, U, Ag y Co. Varios autores han propuesto subdivisiones dentro del clan IOCG en base a los metales económicos, la mineralogía de los depósitos u origen (por ejemplo, Williams, 2010a; Williams et al., 2005).

Groves et al. (2010) sugiere reconocer como miembros del clan IOCG, solo a los depósitos con óxidos de hierro y subdividirlo en cinco subgrupos; (1) depósitos de Cu-Au de óxido de hierro (IOCG sensu stricto), (2) depósitos de óxido de hierro ricos en P (IOA), (3) depósitos de elementos litófilos de óxido de hierro y carbonatita (ricos en F y REE), (4) depósitos de pórfido de Cu-Au y skarn de Fe, y (5) depósitos de magnetita de Au ± Cu con reemplazo de magnetita en alto grado. Para este estudio, se hizo principal énfasis en los dos primeros sub-miembros del Clan IOCG definidos por Groves et al. (2010), correspondiente a yacimientos tipo IOCG sensu stricto e IOA.

Los depósitos de la familia IOCG varían considerablemente en forma, tamaño y grados de enriquecimiento (Cu, Au, U, etc.), así como en su paragénesis y zonificación. Además, las zonas mineralizadas en sí mismas constituyen sólo pequeñas partes de sistemas geológicos más grandes que se caracterizan por un metasomatismo voluminoso, dividido en zonas, dominado por Na-Ca-K y que también muestran una variabilidad considerable en la forma, las rocas huésped y la mineralogía (Hitzman et al., 1992; Barton y Johnson, 1996; Williams et al., 2005; Porter, 2010a).

Estudios en la Franja Ferrífera Chilena, sugieren un origen en común para los yacimientos IOCG e IOA en base a varias características similares tales como: mineralización de magnetita y sulfuros, alteración calco-sódica y una relación espaciotemporal con intrusivos de composición diorítica a granodiorítica. Los IOA suelen formarse a mayor profundidad en un contexto extensional relacionado a fallas mayores, mientras que los IOCG están vinculados a fallas secundarias más someras, donde los fluidos hidrotermales pueden precipitar magnetita, sulfuros de Cu-(Fe) y Au (Knipping et al., 2015; Reich et al., 2016; Barra et al., 2017, Rojas et al., 2018b) (Figura 2.6).

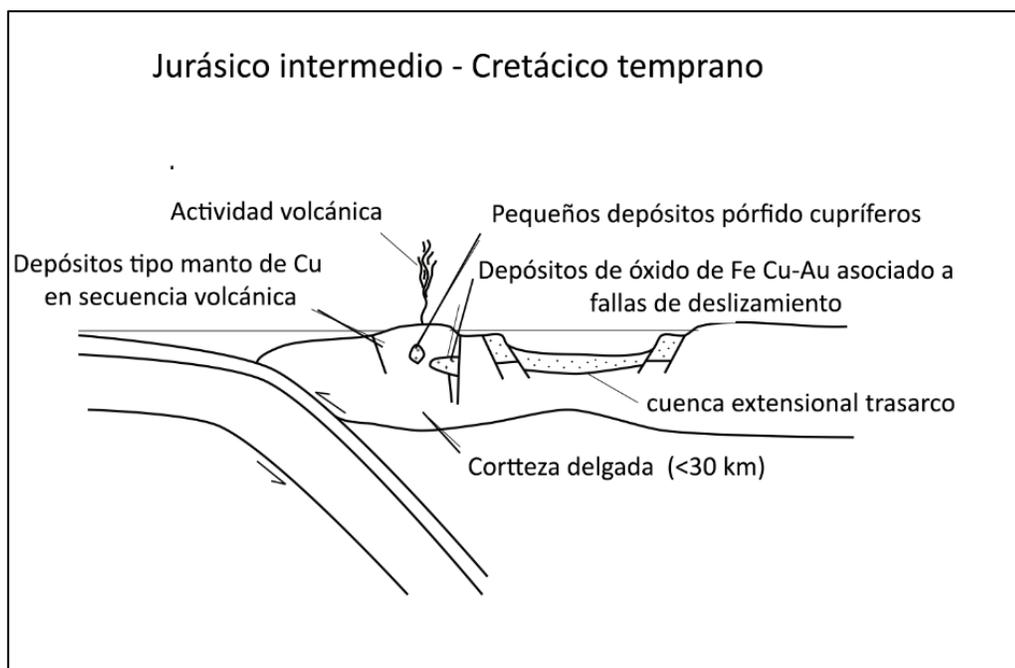


Figura 2.6: Sección tectonomagmática esquemática del margen central andino, del norte y centro de Chile. Transición del arco magmático extensional a transtensional del Cretácico temprano, con una subducción pronunciada, corteza delgada y un alto gradiente geotérmico, desarrollando un arco magmático asociado a abundante actividad volcánica y desarrollo de cuencas de arco. En este ambiente se forman depósitos de IOCG, Cu tipo manto y pequeños pórfidos de Cu. Modificado de Sillitoe y Perelló (2005) y Escolme (2016).

Espinoza et al. (1996) propuso una posible relación genética entre los depósitos tipo IOA e IOCG, a partir de una zonificación mineralógica vertical en varios depósitos tipo veta alojados por rocas plutónicas de la Cordillera de la Costa del norte de Chile. Esta zonación representa una transición de la mineralización de magnetita-apatita-actinolita en profundidad, transicionando a magnetita-calcopirita-pirita-bornita en niveles intermedios y hematita-calcopirita-calcosina-calcita en la parte superior. Modelo que fue posteriormente expandido y modificado basado en el fuerte control estructural de estos depósitos y la asociación espacial respecto a los primeros diques máficos (Sillitoe, 2003) (Figura 2.7).

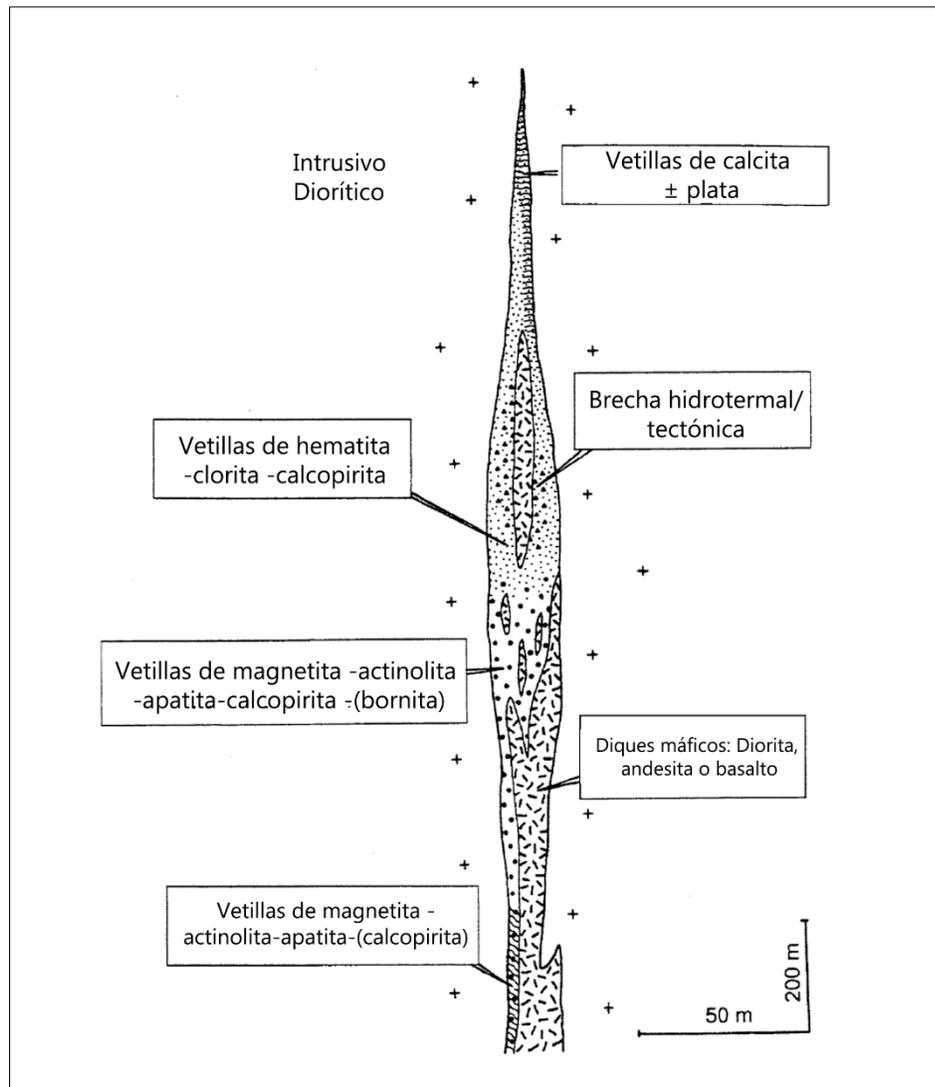


Figura 2.7: Sección idealizada de una veta IOCG en la Cordillera de la Costa que muestra una zonación ascendente de magnetita a dominación de hematita. Modificado de Espinoza et al. (1996).

Por otra parte, Groves et al. (2010) realizó una clasificación de estos depósitos según el tiempo en el cual se formaron. Postulando la existencia de dos dominios, uno pertenecientes al Precámbrico (Proterozoico) y el otro al Fanerozoico (Figura 2.8). El primero corresponde a grandes provincias formadas alrededor de 100 a 200 Ma después del montaje del supercontinente, Kenorland. Es importante destacar que los depósitos IOCG no se conocen antes del primer supercontinente y el depósito más grande conocido se encuentra en el supercontinente Columbia (Figura 2.8). Este momento es totalmente consistente con un entorno intracratónico para la mineralización, muy probablemente asociado con la asimilación del manto litosférico subcontinental y el manto (Groves et al., 2010). Por otra parte, la formación de depósitos IOCG del fanerozoico se restringe a entornos tectónicos extensionales, ligados a magmas derivados del manto, anómalos y ricos en volátiles, por debajo de la corteza continental lo cual condujo a intrusivos contemporáneos máficos y félsicos (Kerrick et al., 2005). Con la excepción de Candelaria, los depósitos IOCG fanerozoicos tienen leyes más bajas de cobre y oro que los pertenecientes al Precámbrico (Figura 2.8) (Groves et al.,

2010). Por lo tanto, la Franja Ferrífera Chilena corresponde a la franja metalogénica más joven a nivel mundial de este tipo de depósitos (Espinoza et al., 1996; Sillitoe, 2003).

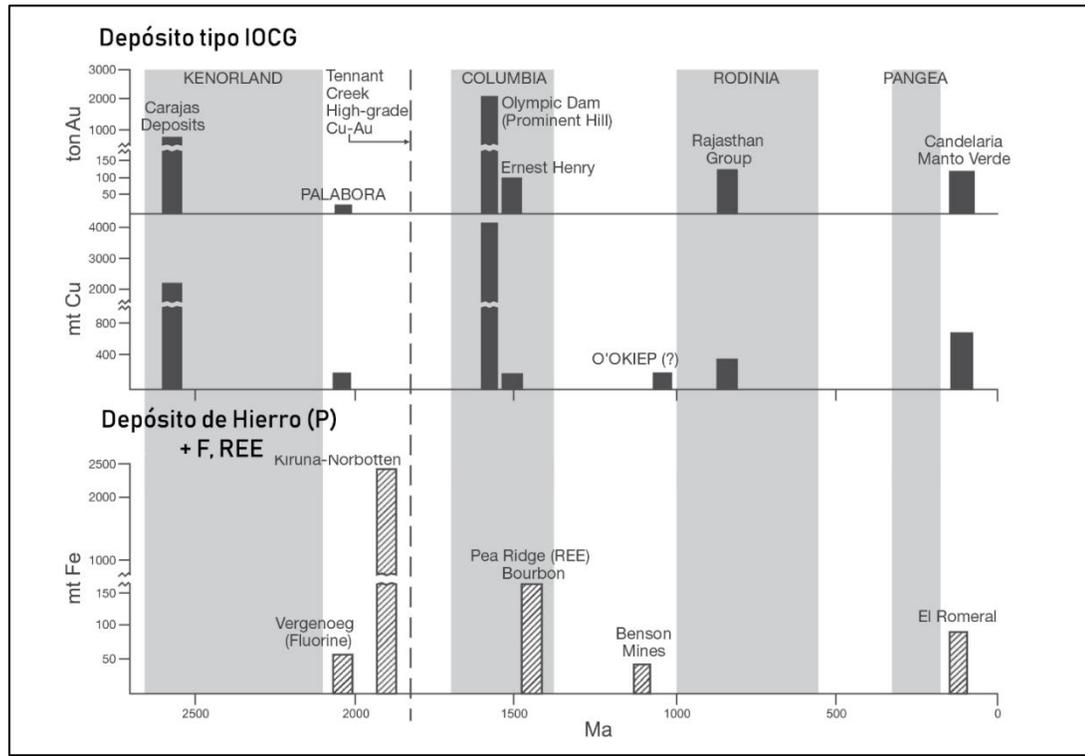


Figura 2.8: Distribución temporal de depósitos de IOCG sensu stricto y de óxido de hierro (P, F, REE) (> 100 t de recursos) en términos del ciclo de supercontinentes. Se grafican los recursos totales de cobre y oro, con la fuente pertenecientes a Williams et al. (2005) y Groves et al. (2010). Los períodos más comúnmente aceptados están sombreados y los supercontinentes relevantes nombrados, en base a Rogers y Santosh (2004). Modificado de Groves et al. (2010).

2.4.2 Trabajos Anteriores

La información preexistente del área de estudio a escala local es muy acotada, gran parte ha sido desarrollada en el proyecto Productora ubicado al norte del depósito La Estrella, por Fox (2000), Ray y Dick (2002), Escolme (2016) y Escolme y Cooke (2020), mientras que en La Estrella existen estudios realizados por South World-ENAMI (2011), Townley et al. (2018), Kuyvenhoven (2019) y Quevedo (2020).

2.4.2.1 Yacimiento Productora

El proyecto Productora de la empresa Hot Chili Limited, pertenece completamente a la Sociedad Minera El Águila SpA (SMEA). Este se encuentra ubicada a 17 km al SSW de la ciudad de Vallenar y a 2 km al norte de La Estrella. De acuerdo con la página web de Hot Chili (www.hotchili.net.au/projects/productora/), se interpreta el proyecto Productora como un pórfido cuprífero, con recursos estimados iniciales de 1,5 Mt de cobre fino y 1 Moz de oro (Townley et al., 2018).

La litología predominante en el área de estudio corresponde a lavas y rocas volcanoclásticas de la Formación Bandurrias del Cretácico Inferior y rocas intrusivas del Cretácico. Rocas que se ven afectadas por distintas alteraciones hidrotermales; sódica, calco-sódica, silícica, potásica y argílica. El control estructural de la zona presenta una orientación N y NW, el cual a su vez se encuentra subordinado al Sistema de Falla de Atacama (Fox, 2000) (Figura 2.9).

Fox (2000) realizó una documentación robusta sobre la geología de Productora, en la cual describe rocas volcánicas estratificadas que se encuentran intruidas por dos unidades de edad Cretácico; la diorita Cachiyuyito de 130 Ma ubicado al oeste y la granodiorita Ruta 5 de 96 Ma ubicado al este (Reyes, 1991). Se reconoce mineralización de magnetita-apatita, similar a los depósitos tipo pertenecientes a la Franja Ferrífera del Cretácico, alrededor del intrusivo Cachiyuyito. Por otra parte, alrededor del intrusivo Ruta 5 se presenta una alteración potásica con mineralización de cobre-oro-especularita, similar al depósito Candelaria. En base a lo anterior, Fox (2000) postuló una secuencia paragenética asociando los eventos intrusivos (Tabla 2.1).

Tabla 2.1: Secuencia paragenética del yacimiento Productora. Modificado de Fox (2000).

	Sistema	Sistema Productora		Sistema	Supérgeno
	Cachiyuyito	Silicificación	Potásica	Ruta 5	
Albita	—		---		
Actinolita	██		---	██	
Magnetita	██		██---	██	
Apatito	██				
Epidota	—		---	██	
Clorita	—		██---	██	
Cuarzo		██		██	██
Especularita		—			
Sericita		---	---	---	—
Muscovita			██	██	
Hematita			██	██	██
Biotita			██		
Feld K			██		
Turmalina					
Caolinita					—
Pirita		—	---	██	—
Calcopirita			██		
Alunita					██
Dumortierita					██
Digenita				
Calcosina				
Covelina				
Goethita					██
Óxidos de cobre					██
Calcita					██

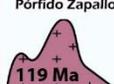
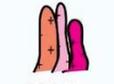
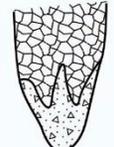
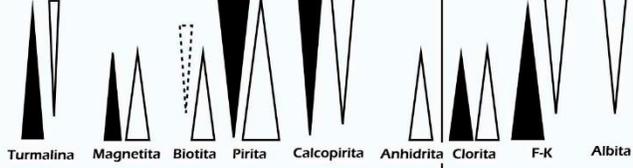
Fox (2000) interpreta a Productora como un depósito del tipo IOCG de magnetita dominante, similar a Candelaria, que tiene una mineralización de sulfuro significativa ligada a una alteración potásica.

Ray y Dick (2002) luego de realizar un estudio del prospecto, lo definieron al igual que Fox (2000) como un depósito tipo óxido de Fe-Cu-Au (IOCG) debido a la presencia abundante de óxido de Fe, mineralización de apatito-allanita y concentraciones anómalas de Au, REE y U.

Escolme y Cooke (2020) definen el depósito Productora como el resultado de una serie de eventos de brechización magmática-hidrotermal vinculados a un intrusivo profundo. La evidencia más convincente hacia esta conclusión incluye la mineralogía dominante de turmalina, alto contenido de Mo, baja magnetita (en relación con los depósitos tipo IOCG) y alto contenido de azufre, además de la presencia de alteración hidrolítica y abundante mineralización de sulfuro. Un origen magmático-hidrotermal es consistente con el modelo de pórfido, basado en la secuencia paragenética asociada a eventos intrusivos y de brechización propuesto por Escolme (2016) (Tabla

2.2) y al mapa geológico el cual abarca litología, mineralización, alteración y estructuras (Figura 2.9).

Tabla 2.2: Secuencia paragenética de Productora. La génesis del complejo de brechas se divide en cinco etapas. Las variaciones verticales en la mineralogía del cemento de brecha de la etapa 3 se muestran mediante triángulos con un ancho proporcional a la abundancia de minerales; los triángulos de distinto color; negro y blanco, corresponden a la sección 6822215 y 6820850 mN respectivamente. La intensidad relativa de la mineralización se muestra mediante líneas continuas (fuertes) o discontinuas (débiles). Modificado de Escolme (2016).

Evento	Vetas y brechas	Alteración	Mineralización Fe Cu Au Mo
 96 Ma	Epidota ± pirita ± calcopirita vetillas de cuarzo ± oro	Actinolita, magnetita, clorita, sericita	
 119 Ma	Diques máficos		
 121 Ma	↑ Joven Calcita Pirita, anhidrita, clorita, epidota-clorita Cuarzo-pirita ± calcopirita ± molibdenita Cuarzo-pirita ± calcopirita Cuarzo-feldespato	Clorita - sericita albita ± epidota ± sericita Potásica (biotita)	124-122 Ma 
Etapa 5	Vetas de calcita y brecha con cementación de calcita		
Etapa 4	4A - vetas de clorita 4B - vetillas de calcopirita y pirita 4C - vetas de illita y alteración 4D - vetas de epidota	4B - Moscovita 4C - Illita pervasiva 4D - Epidota irregular	
 130-128 Ma	 Turmalina Magnetita Biotita Pirita Calcopirita Anhidrita Clorita F-K Albita		
Etapa 2	Brecha caótica matriz soportada	Caolinita, moscovita pirita pervasiva	
Etapa 1	Brecha con cementación de cuarzo-pirita	Caolinita-moscovita pervasiva	
 130 Ma	Vetillas de Albita ± actinolita, magnetita y epidota	Albita, epidota, actinolita, clorita	 + Apatito

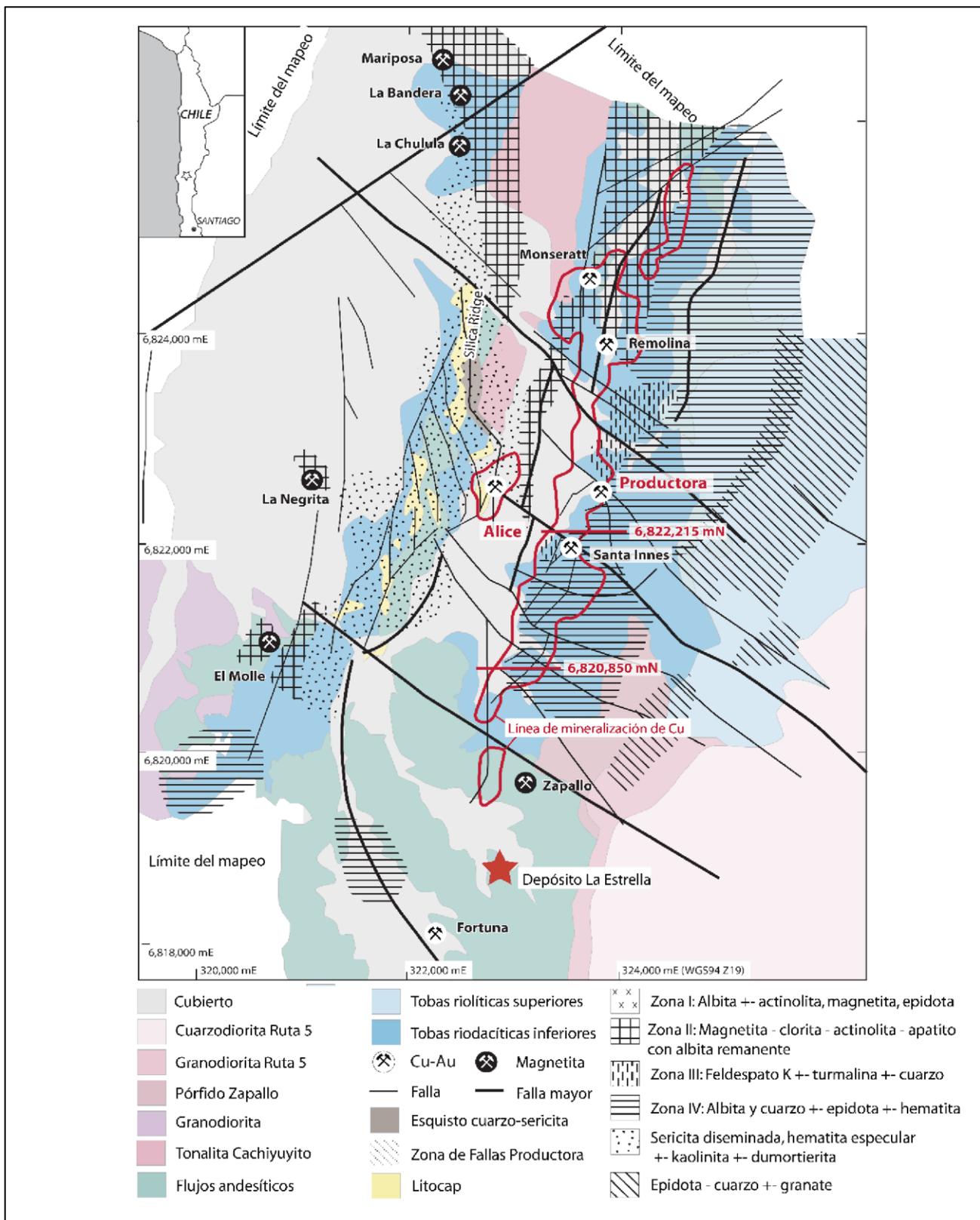


Figura 2.9: Mapa de alteración, geología local y estructuras principales del yacimiento Productora y La Estrella. Modificado de Escolme (2016).

2.4.2.2 *Yacimiento La Estrella*

El yacimiento mineral La Estrella corresponde a un depósito tipo IOCG (Townley et al., 2017; Kuyvenhoven 2019) el cual está ubicado en la Franja Ferrífera Chilena de la Región de Atacama, unos 2 kms al sur del depósito Productora. El depósito La Estrella, está compuesto principalmente por magnetita, pirita y calcopirita y, subordinadamente calcosina, covelina, hematita y pirrotina, asociada a abundante actinolita, apatito, cuarzo y, en menor proporción, albita, feldespatos potásico, clorita, biotita, sericita, arcillas, carbonatos, entre otros (Kuyvenhoven, 2019). Este depósito carece de estudios geológicos con respecto al modelo de depósito, recursos y reservas, geometalurgia, entre otros. La Estrella explota los sulfuros de cobre de forma artesanal vendiéndolo a la Empresa Nacional de Minería (ENAMI) los que son procesados en la planta concentradora de ENAMI ubicada en Vallenar (Quevedo, 2020).

La litología al interior mina corresponde a rocas volcánica con una penetrativa alteración y mineralización, principalmente alteración potásica biotítica y clorítica, con mineralización masiva de magnetita, calcopirita, pirita, y menor pirrotina (Townley et al., 2017).

Kuyvenhoven (2019) realizó estudios químicos-mineralógicos y metalúrgicos en quince muestras de fragmentos de roca de tres kilogramos aproximadamente, provenientes de acopios del depósito mineral La Estrella. En particular efectuó análisis ICP-MS, absorción atómica, ensayos a fuego, para determinar el contenido de oro, calcografía-petrografía y difracción de rayos X. Los análisis químicos entregaron valores de Fe (hasta 50% wt), Cu (0,1 a 1% wt), Au (0,03 a 0,54 g/t) y, además, altas concentraciones de Co (hasta 1.529 ppm) y Ni (hasta 2.815 ppm) indicando que estos últimos elementos podrían ser eventuales subproductos en un proceso productivo a nivel industrial con el Cu y Fe como productos principales.

Por otra parte, análisis geoquímicos mediante digestión agua regia y lectura ICP-OES, realizados por Townley et al. (2017) a diferentes muestras interior mina La Estrella, revelan valores de cobalto sobre los 1500ppm, valores de cobre que superan en promedio una concentración del 2,0% wt, destacan valores promedio de hierro sobre 35% wt, una concentración de azufre mayor al 20% wt en promedio; lo que corrobora junto a las altas concentraciones de cobre y hierro la presencia de sulfuros como pirita y calcopirita, concentraciones de níquel sobre 0,2% wt y, por último, bajas concentraciones de arsénico; lo que sugiere que la existencia de cobalto puede ser en forma de mineral sulfurado.

Quevedo (2020) postuló la existencia de siete eventos de mineralización. En base a los resultados de las descripciones macro y microscópicas, determinó que los primeros eventos de mineralización y alteración corresponden a un evento de mineralización temprana de magnetita dominante por sobre pirita y calcopirita, asociados a una alteración sódica-cálcica y potásica de altas temperaturas. En los eventos posteriores, las asociaciones mineralógicas varían a minerales de menor temperatura, tales como cuarzo, sericita y clorita. Finalmente, ocurre una alteración supérgena que reemplazan a minerales de alteraciones previas. Cabe mencionar que, hay tres eventos de alteración

en que no se han identificado su secuencialidad en el depósito La Estrella, los cuales corresponden a un evento de anfibolitización, epidotización y mushketovitización.

3 RESULTADOS

Se presenta en este capítulo los resultados del trabajo de mapeo en terreno, los cuales fueron integrados y elaborados en un mapa escala 1:5000 y son descritos en la Figura 3.1.

3.1 GEOLOGÍA

Se reconocieron tres unidades litológicas principales en la zona de estudio, la Formación Punta del Cobre (Segerstrom y Ruiz, 1962) en la cual se encuentra la mineralización de hierro. Un cuerpo intrusivo perteneciente al complejo plutónico Los Camarones (Arévalo et al., 2009) y una unidad sedimentaria correspondiente a Depósitos Aluviales (Arévalo et al., 2009) (Figura 3.1).

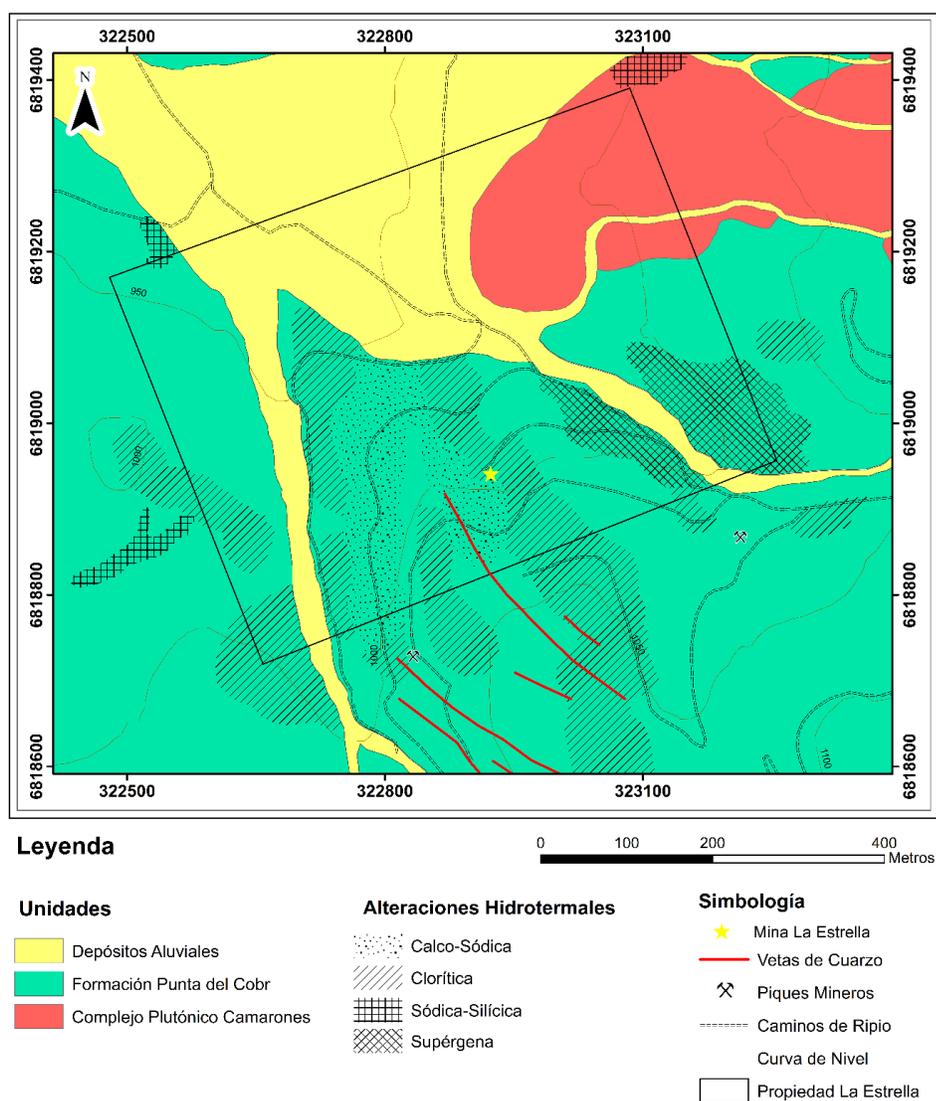


Figura 3.1: Mapa litológico y alteración hidrotermal yacimiento La Estrella.

3.1.1 Unidades Litológicas

3.1.1.1 Formación Punta del Cobre (Segerstrom y Ruiz, 1962)

Se encuentra presente predominantemente en la zona S, SW y W de la propiedad, y subyace los Depósitos Aluviales (Figura 3.1). Corresponde a una lava andesita porfídica color gris verde con fenocristales de plagioclasas euhedrales que alcanzan un tamaño de hasta 2 cm, en algunos casos se logra reconocer cristales subhedrales-anhedrales de biotita que van desde los 0,1 a 0,5 cm y cristales de anfíbol de hasta 0,2 cm de diámetro, mientras que la masa fundamental presenta una textura afanítica de color gris verde (Anexo I). En la zona suroeste, fuera de La Estrella, se reconocen clastos leucocráticos que alcanzan los 8 cm, contenidos en la lava andesita porfídica (Anexo I-20). Estas rocas se encuentran fuertemente afectadas por una alteración clorítica, la cual se intensifica en ciertas zonas próximas al depósito, otorgándole un color verde pálido a las lavas (Figura 3.2 A) (Figura 3.2 B).

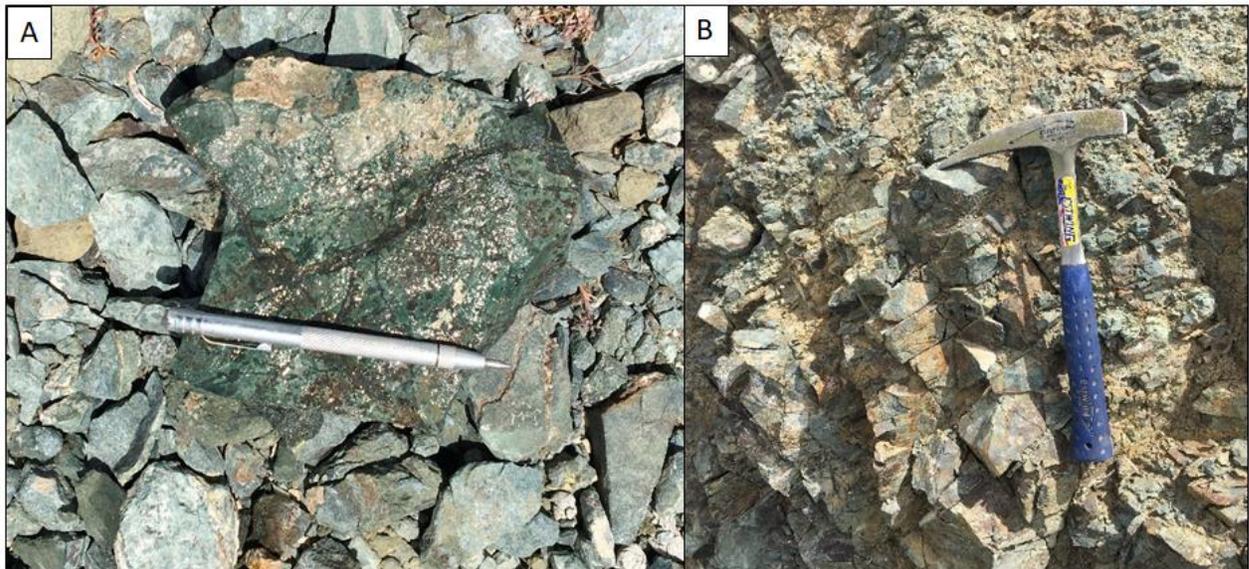


Figura 3.2: A) Roca andesítica porfídica, afectada por alteración clorítica intensa. B) Afloramiento de lavas andesíticas porfídicas, diaclasadas y cubiertos por material no consolidado

3.1.1.2 Complejo Plutónico Los Camarones (Arévalo et al.,2009)

Esta unidad se encuentra específicamente al NE de la zona estudiada, aflora cortando las rocas volcánicas de la Formación Punta del Cobre (Figura 3.1). Corresponde a una granodiorita de biotita y anfíbol, los minerales máficos se encuentran relativamente cloritizados y oxidados (Figura 3.3 A) (Anexo I-7, I-8 y I-9). En la zona SW del intrusivo se reconocen enclaves melanocráticos de hasta 8 cm, alterados moderadamente a clorita y epidota (Figura 3.3 B). En esta unidad, fuera del área de estudio, se obtuvieron edades 93 Ma a partir de datación Ar/Ar en biotita (Gipson et al.,2003) (Figura 3.3 C).

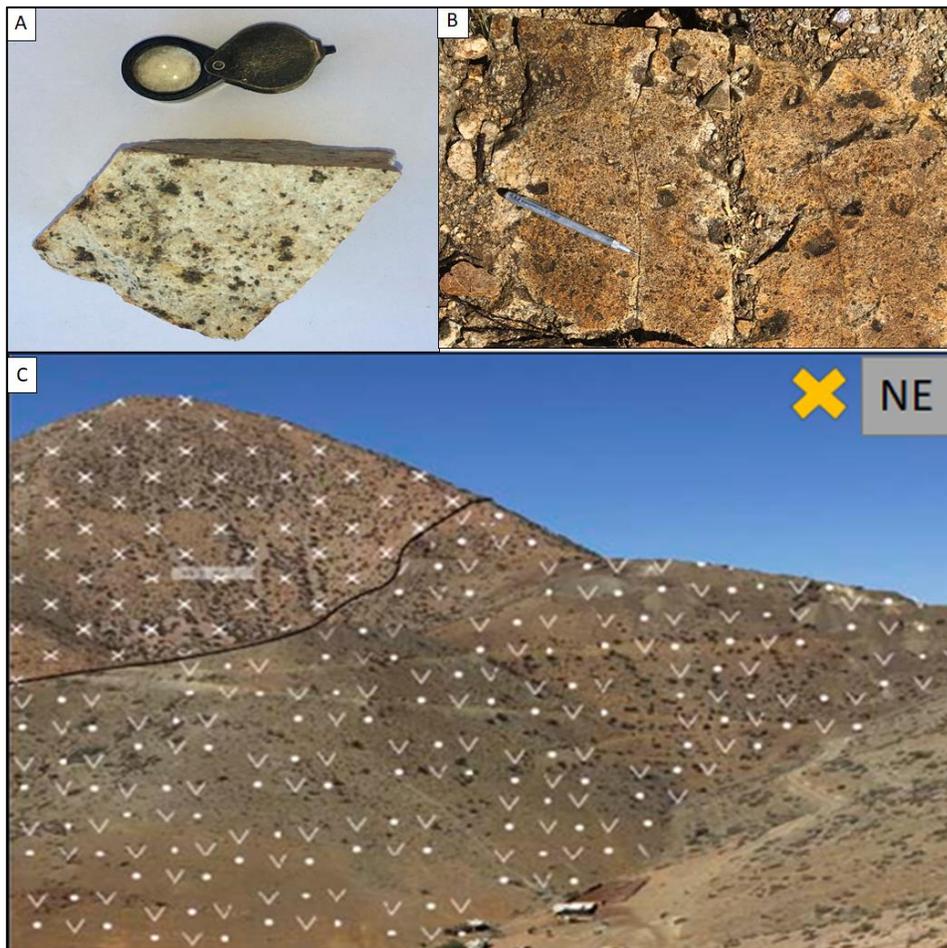


Figura 3.3: A) Granodiorita de anfíbol, biotita y anfíbol alterados a clorita, epidota, goethita y jarosita. B) Enclaves melanocráticos contenidos en la Unidad plutónica, alterados a clorita y epidota. C) Contacto entre el Complejo Plutónico Los Camarones (cruces) y la Formación Punta del Cobre (ves con punto), cruz amarilla corresponde a la orientación de la imagen.

3.1.1.3 Depósitos Aluviales (Arévalo et al., 2009)

Se encuentra ubicado predominantemente en el hemisferio NNE del área estudiada, el cual se reduce a pequeños cauces con orientación NW-SE (Figura 3.1). Corresponde a un depósito de material no consolidado clasto soportado, de naturaleza bimodal (con clastos andesíticos y graníticos), angulosos y de hasta 50 cm de largo (Figura 3.4 A). La matriz corresponde a una arena fina y se observa precipitación de carbonatos, como calcita, en los espacios entre clastos (Figura 3.4 B). Es el resultado de la interacción de procesos aluviales y gravitacionales, asociados a abanicos aluviales.

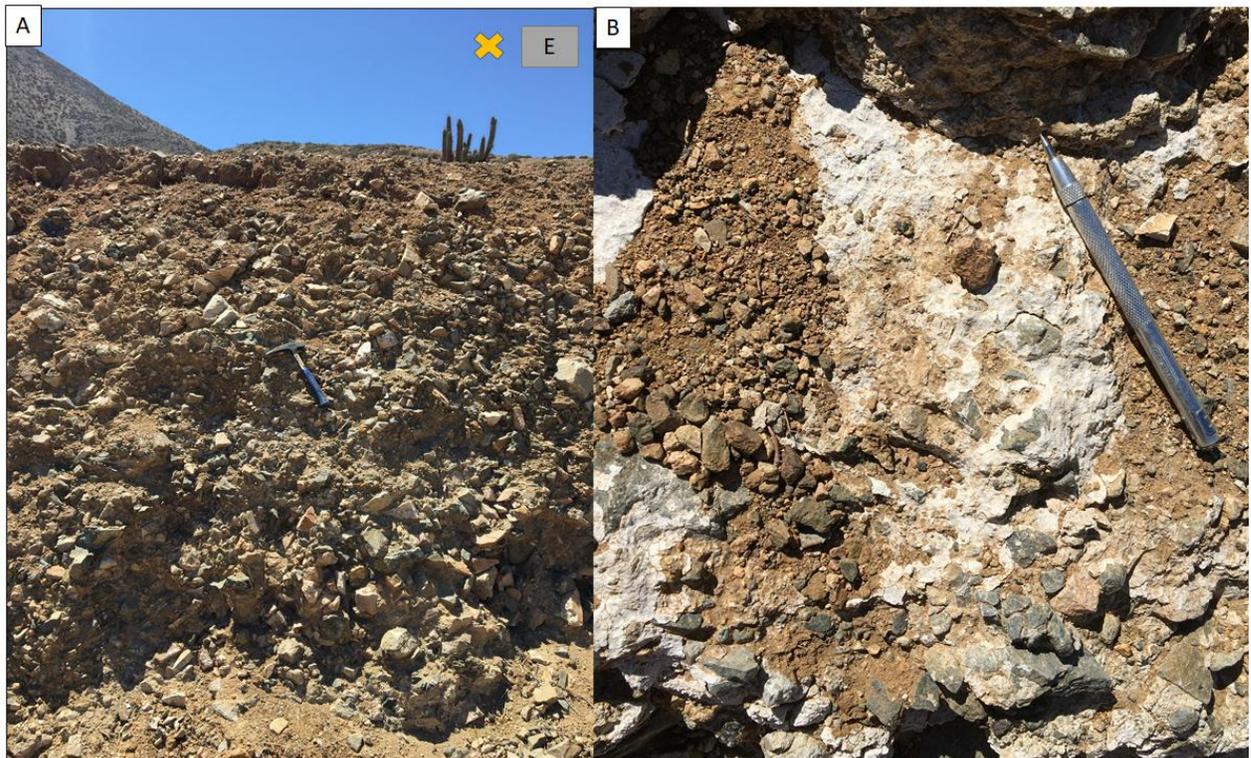


Figura 3.4: A) Depósito de material no consolidado clasto soportado, con una potencia de 2,5 m, cruz amarilla corresponde a la orientación de la imagen. B) Carbonatos precipitados en los espacios vacíos entre clastos, fracturas o porosidades.

3.1.2 Estructuras

Para este trabajo se reconocieron los principales lineamientos del área a través de observaciones en imágenes satelitales (DEM y fotografía) (Figura 1.3).

En la zona estudiada no se observaron evidencias de fallas ni afloramientos con buena estratificación. Sin embargo, estudios anteriores realizados en zonas aledañas al área de interés mencionan la existencia de 2 estructuras principales. Se presentan al N y SW de la propiedad con orientación NW-SE; Falla Sierra Zapallo (FSZ) y Falla Quebrada Productora (FQP) correspondientemente (Fox, 2000; Ray and Dick, 2002; Escolme, 2016) (Figura 2.9).

Por otra parte, Arévalo et al. (2009) indica que los estratos volcano sedimentarios son prácticamente subhorizontales, con azimut de manto de 308/12, 210/15 y 23/10 medidos en diferentes puntos cercanos a la propiedad.

Se reconoce en el área de interés antiguas trincheras para la explotación de vetas de oro. No se pudo tener acceso a estas debido a las malas condiciones en que se encontraban. Sin embargo, son visibles en imágenes satelitales y se estimó un rumbo de 30°NW aproximadamente. Son asociadas a las fallas mesocretácicas de alto ángulo y rumbo NW que desplazan de manera normal la Formación Punta del Cobre y Grupo Chañarcillo mencionadas en el informe de South World-ENAMI (2011) (Figura 3.5).



Figura 3.5: Imagen satelital Google Earth Pro, antiguos piques mineros auríferos para explotar vetas de cuarzo, menor pirita y oro diseminado, con disposición NNW (líneas amarillas punteada). Flecha amarilla indica la orientación de la imagen y flecha roja indica la entrada a la mina La Estrella.

3.1.3 Alteraciones Hidrotermales

A partir de la información levantada en terreno se definieron cuatro alteraciones en la zona de estudio, las cuales fueron descritas y caracterizadas. Se encuentra especificada su distribución espacial en el mapa elaborado (Figura 3.1), Las alteraciones se definieron a partir de una caracterización mineral representativa y diferencial (Tabla 3.1)

Tabla 3.1: Principales alteraciones reconocidas en el depósito La Estrella

Tipo de Alteración	Caracterización Mineral	Metasomatismo
Calco-Sódica	Clorita ±albita ±magnetita ±hematita -epidota -actinolita	Na ⁺ Ca ²⁺
Clorítica	Clorita -epidota -albita ±magnetita -hematita	Mg ²⁺ Fe ²⁺ Al ³⁺
Sódica-Silícica	Sílice ±albita -pirita	Na ⁺ Si ⁺
Oxidación / Alteración Supérgena	Hematita ±jarosita ±sericita ±arcillas ±goethita	H ⁺

3.1.3.1 Alteración I: Calco-sódica

Esta se presenta como una franja con disposición NS al SW de la propiedad (Figura 3.1). Alteración moderada-intensa, la cual afecta lavas andesitas porfídicas, otorgándoles un color verde oscuro. La mineralogía que caracteriza a esta alteración corresponde a actinolita en vetillas y albita remplazando plagioclasas, acompañados de clorita, epidota y magnetita alterada a hematita (Figura 3.6). A pesar de que la actinolita se encuentre en menor proporción que los demás minerales, es un indicador clave para reconocer esta alteración.



Figura 3.6: Roca porfídica andesítica alterada penetrativamente por una alteración calco-sódica, con actinolita en vetillas y parches, clorita, albita y vetillas polidireccionales de magnetita alterada a hematita y jarosita.

3.1.3.1 Alteración II: Clorítica

Alteración moderada a fuerte, la cual ocurre en lavas andesíticas porfídicas preferencialmente, otorgándoles un color verde gris oscuro. Consiste principalmente en abundante clorita, menor epidota y albita; presente en gran parte de la zona de estudio (Figura 3.7 A), razón por lo cual, la presencia de magnetita y hematita es esencial para poder reconocer esta alteración (Figura 3.7 B). Se encuentra en la zona sur del área de estudio, rodeando principalmente a la alteración calco-sódica (Figura 3.1).



Figura 3.7: A) Roca porfídica andesita, alterada a clorita y epidota, con mineralización de magnetita con hematita y limonitas en pátinas. B) Afloramiento de roca porfídica andesita alterada a epidota, la cual presenta pátinas oscuras de hematita y jarosita. La cruz amarilla corresponde a la orientación de la imagen.

3.1.3.2 La alteración III: Sódica-silícica

Se encuentra en sectores puntuales al SW, NE y NW, fuera de la zona de estudio (Figura 3.1). Altera fuertemente tanto a rocas intrusivas leucocráticas como roca caja andesita porfídica, otorgándoles colores pardos, anaranjados, amarillentos y rojizos (Figura 3.8 A y B). Corresponde a una alteración sódica-silícica caracterizada por abundante sílice, plagioclasas albitizadas y pirita diseminada en algunos sectores, además de minerales tales como jarosita y hematita.

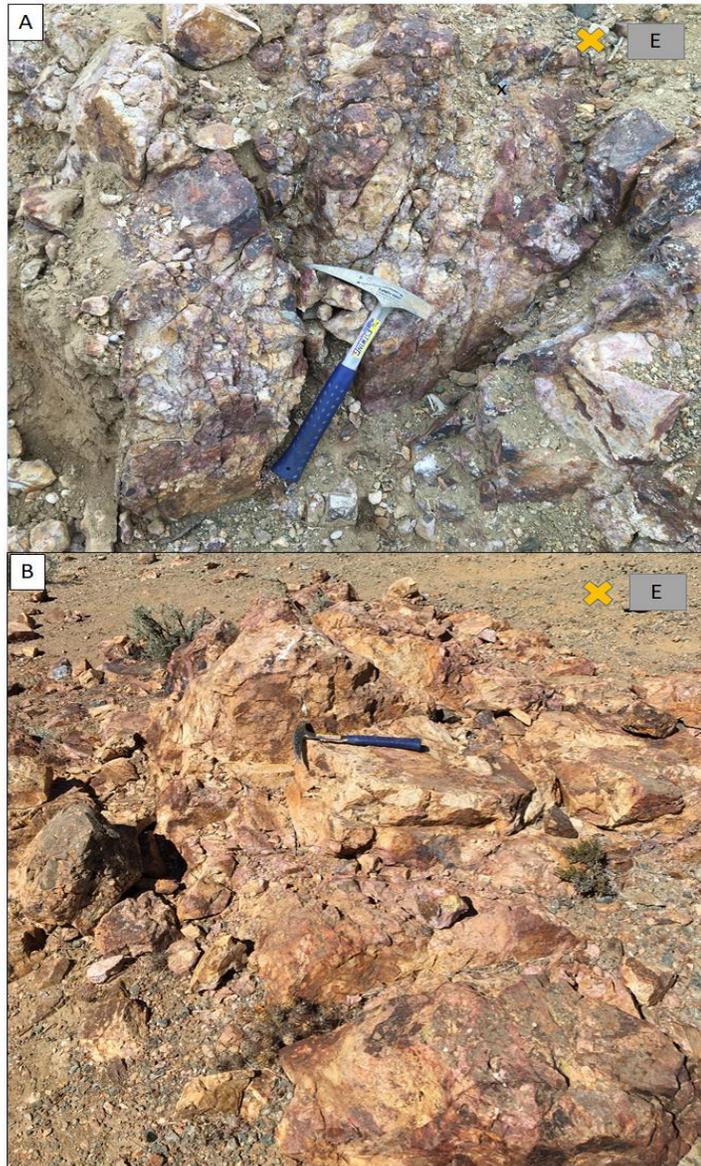


Figura 3.8: A) Afloramiento completamente obliterado, remplazado principalmente a sílice, presenta plagioclasas albitizadas, hematita y jarosita en pátinas. Protolito corresponde a la Unidad Intrusiva Este. B) Roca alterada penetrativamente, remplazada por abundante sílice, con plagioclasas albitizadas, hematita, jarosita y mineralización de pirita diseminada. Protolito corresponde a la Unidad Volcánica. La cruz amarilla corresponde a la orientación de la imagen

3.1.3.3 Alteración IV: Alteración Supérgena

Esta alteración está presente principalmente en la zona centro-este del área de estudio (Figura 3.1). Corresponde a una zona en la cual la roca se encuentra alterada penetrativamente; siendo imposible reconocer el protolito, adquiriendo tonos anaranjados, amarillentos y rojizo. Se caracteriza por una mineralización con abundante hematita, goethita, jarosita y escasa magnetita, junto con caolinita, yeso y minerales de arcillas. En algunos sectores es posible diferenciar dos dominios según los minerales presente; el superior corresponde a la mineralogía recién descrita mientras que el inferior está caracterizado por abundante caolinita y arcilla, adquiriendo tonalidades pálidas (Figura 3.9 A y B).

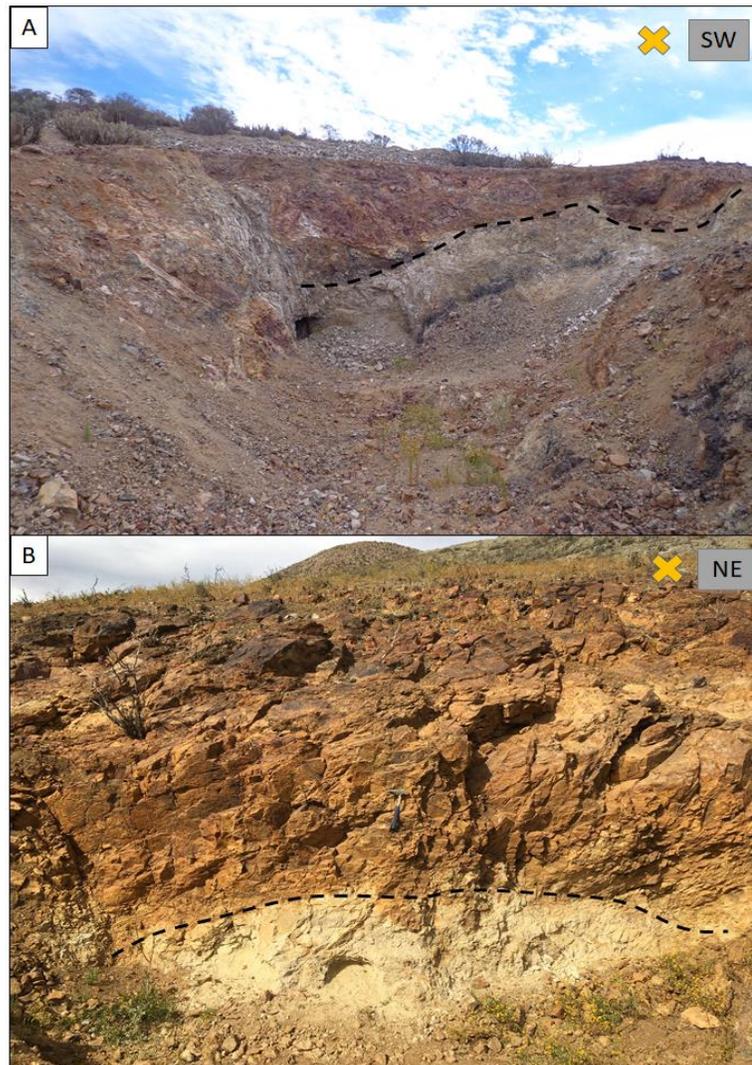


Figura 3.9: A) Alteración I. Línea punteada separa a ambos dominios minerales; zona superior con abundante hematita, goethita, jarosita, menor arcilla y caolinita, de una zona inferior completamente alterada a arcilla y caolinita. B) Alteración I. Dos dominios minerales separados por una recta punteada, el superior consta de a abundante hematita, goethita, jarosita, menor magnetita, arcillas, caolinita y yeso en vetillas, mientras que el inferior presenta abundante arcilla y caolinita. La Cruz amarilla corresponde a la orientación de la imagen.

3.1.4 Mineralización

La mineralización principal corresponde a vetillas de hasta 3 cm de espesor de magnetita con menor pirita alteradas a hematita y jarosita, con presencia de actinolita y albita alteradas a clorita y epidota respectivamente (Figura 3.8).

Existe la presencia puntual de oxidados de cobre formando pátinas, rellenando cavidades, fallas o porosidades. La mineralización corresponde a un agregado criptocristalino de crisocola, chalcantita y brocantita predominantemente (Figura 3.10).

La zona también es caracterizada por la presencia de placeres auríferos resultante de la acción erosiva fluvial-aluvial (Fritis 2020, comunicación verbal).

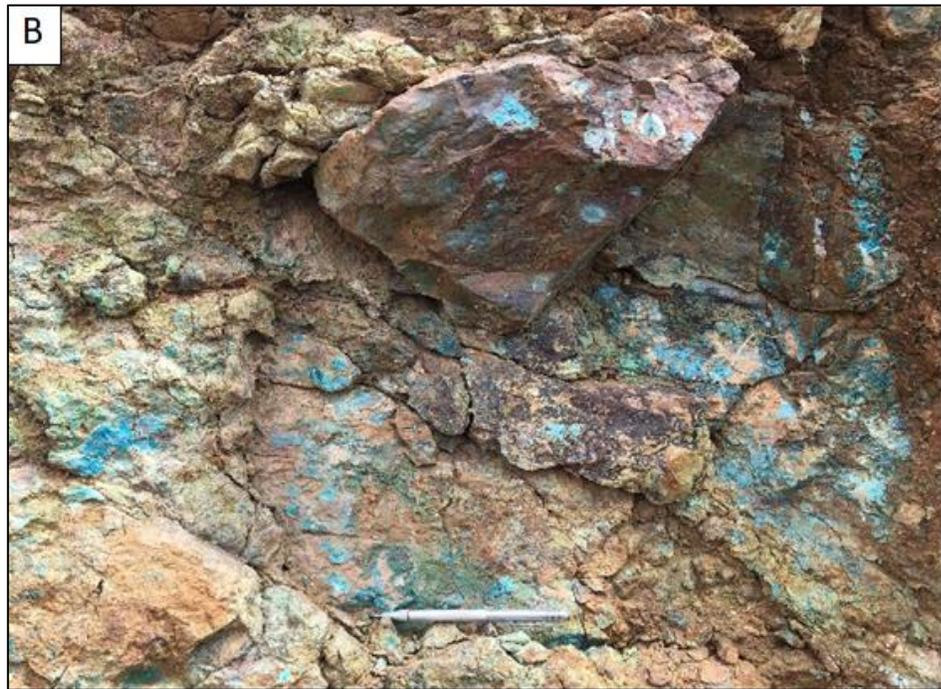


Figura 3.10: Remanente de un pique minero con pátinas de agregado criptocristalino de crisocola, chalcantita y brocantita.

3.2 GEOLOGÍA INTERIOR GALERÍA Y SONDAJES

Se realizó un mapeo de 400 m galería mina aproximadamente y de siete sondajes (SDH1, SDH2, SDH3, SDH04, SDH5, SDH7 y SDH8 (Anexo II)).

3.2.1 Litología

Se reconoce una roca de caja mono-litológica, correspondiente a lavas porfídicas andesíticas de la Formación Punta del Cobre, las cuales son cortadas por intrusivos hipabisales porfídicos de color oscuro, con un contenido de 3% de plagioclasas euhedrales frescas de hasta 3 mm en excelente estado y un 97% de masa fundamental, siendo definidos finalmente como intrusivos andesíticos porfídicos, los cuales cortan al cuerpo mineralizado. Además, presentan un ancho desde 0,1 a 5 m de espesor, la orientación preferencial de estos es desconocida ya que fueron avistados en galería subterránea (Figura 3.11 A) y en sondajes de exploración, siendo imposible determinar su orientación (Figura 3.11 B).



Figura 3.11: A) Foto interior mina. Contacto entre el cuerpo mineralizado de magnetita – pirita – calcopirita e intrusivo andesítico, la línea punteada negra marca zonas de caras frescas y la roja el límite aproximado entre las diferentes litologías. B) Intrusivo andesítico, alterado levemente a clorita – epidota, cortado por vetillas rectas de cuarzo.

3.2.2 Alteraciones hidrotermales

Las alteraciones hidrotermales determinadas en galerías y sondajes del yacimiento La Estrella son cuatro, (1) una alteración potásica, (2) una alteración calco-sódica, (3) una alteración clorita-sericita y (4) alteración supérgena. A continuación, se describe en detalle cada una de estas.

3.2.2.1 Alteración Potásica

Alteración hidrotermal moderada a intensa, con alto contenido de feldespato potásico, que en algunas ocasiones reemplaza totalmente al protolito y en otras altera selectivamente a los cristales de plagioclasas (Figura 3.12 A), con presencia de cuarzo y biotita secundaria; esta se presenta en parches o vetillas rectas de hasta 1 cm de espesor (Figura 3.12 B). Esta alteración presenta dos dominios, uno caracterizado por abundante feldespato potásico el cual se encuentra en zonas distales al cuerpo mineralizado y otro caracterizado por abundante biotita intercrecida con magnetita, característico de las zonas enriquecidas (Figura 3.12 C). Especialmente abarca grandes distancias en torno al cuerpo mineralizado, aparece generalmente a los 40 ms de profundidad alcanzando los 160 o 180 ms (fin del sondaje) (Anexo II).

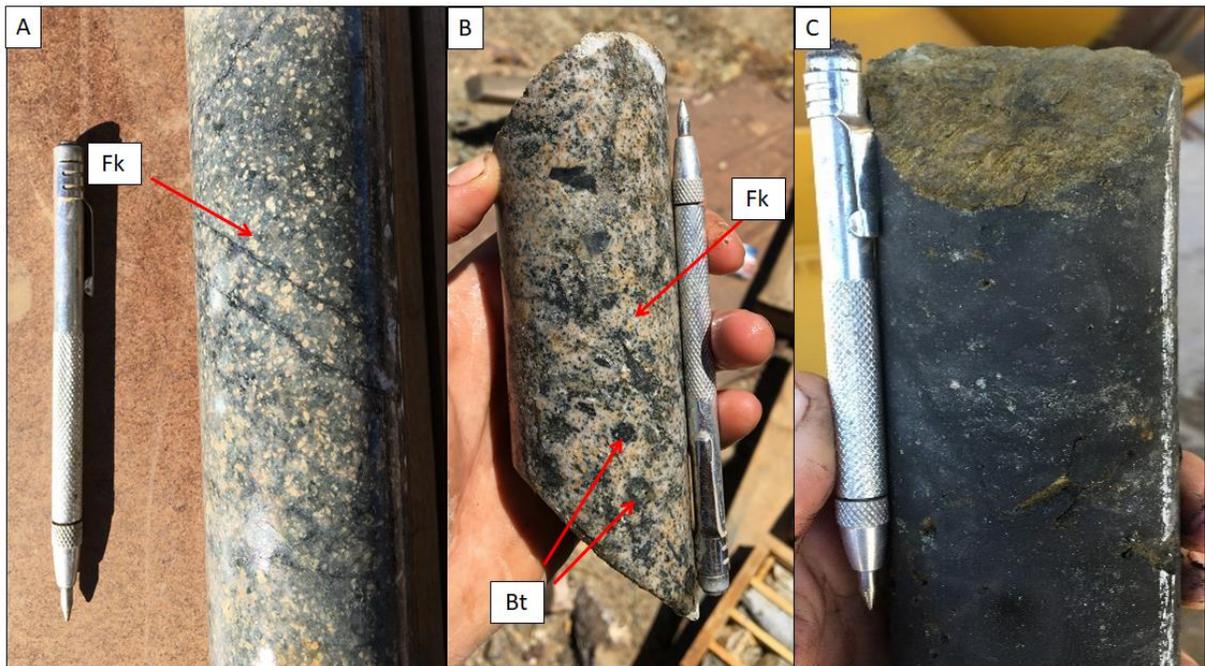


Figura 3.12: A) Alteración potásica selectiva, las plagioclasas del protolito andesita son reemplazadas selectivamente a feldespato potásico (Fk). B) Alteración potásica penetrativa, protolito reemplazado completamente a feldespato potásico (Fk) masivo y biotita (Bt) secundaria, la cual se presenta en parches y vetillas. C) Alteración potásica biotítica penetrativa intercrecida con magnetita.

3.2.2.2 Alteración Calco-Sódica

Alteración hidrotermal que ataca fuertemente al protolito. Se logra identificar cristales de actinolita subhedrales de hasta 0.8 nm, cristales de cuarzo anhedral de 0,2 nm y plagioclasas albitizadas de hasta 3 mm con presencia de escasos cristales subhedrales de apatito de hasta 2 nm (Figura 3.13 A). La mineralización corresponde a magnetita con pirita diseminada, intercrecida con actinolita en parche (Figura 3.13 B) o vetillas de 0,1 a 2 cm que cortan la alteración potásica (Figura 3.13 C). Cabe mencionar que esta alteración se encuentra preferencialmente asociada al cuerpo mineralizado y en su periferia en zonas relativamente someras (Anexo II).

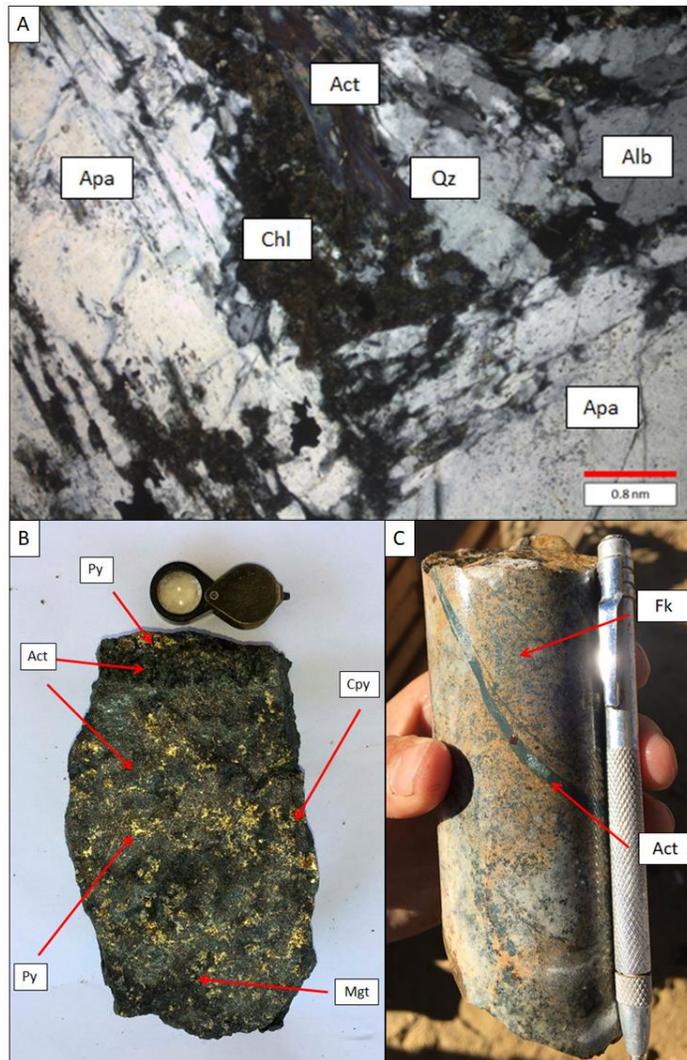


Figura 3.13: A) Corte transparente a nicoles cruzado. Vetilla de actinolita (Act) remplazada por clorita (Chl); conservando el hábito acicular, con cuarzo (Qz), albitas (Alb) y apatito (Apa). B) Mineralización masiva de magnetita (Mgt), pirita (Py) y calcopirita (Cpy) diseminada, con intercrecimiento de actinolita (Act) en parches. Vetilla de actinolita (Act), apatito y menor pirita (Py), corta la mineralización (hemisferio superior). C) Protolito remplazado fuertemente a feldespato potásico (FK), el cual es cortado por vetillas rectas de actinolita, las cuales alcanzan el centímetro de espesor. C)

3.2.2.3 Alteración Clorita-Sericita

Alteración tardía, destaca por el desarrollo de abundante clorita, la cual se encuentra alterando la masa fundamental de lavas andesíticas (Figura 3.14 A) y cristales de actinolita selectivamente, acompañada de carbonatos, cristales de cuarzo anhedral de hasta 0,5 nm y seritización moderada de cristales de albitas y feldespato potásico (Figura 3.14 B y C). Especialmente esta alteración se ve sobre impuesta en toda la roca presente en la zona de interés, pero disminuye su intensidad en zonas donde predomina la alteración potásica.

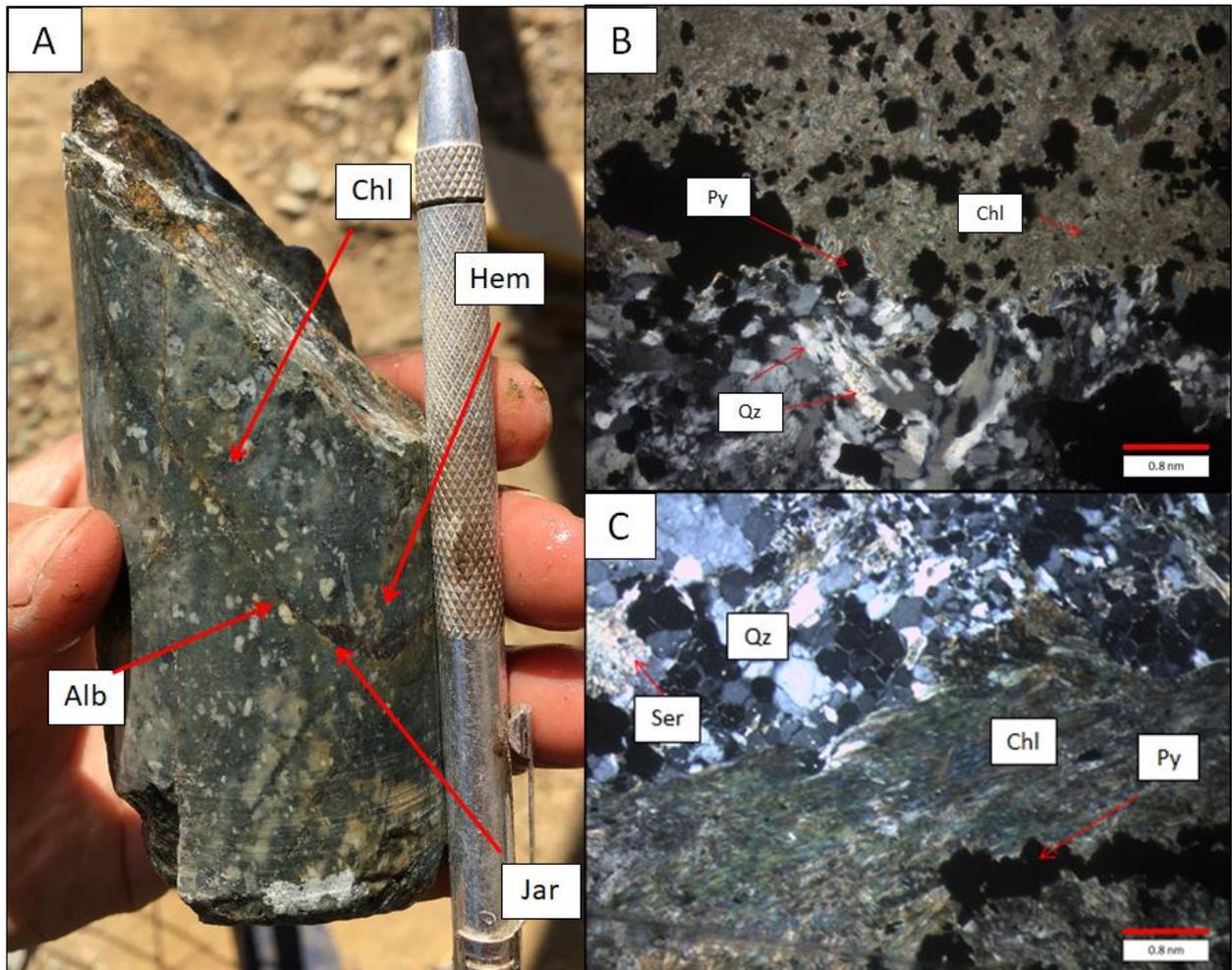


Figura 3.14: A) Protolito alterado a clorita (Chl) moderadamente, con presencia de plagioclasas albitizadas, con vetillas rectas de un milímetro de espesor, de magnetita alterada a hematita (Hem) y Jarosita (Jar). B) Corte transparente a nicoles cruzado. Vetilla de actinolita (Act) completamente alterada clorita (Chl), con cuarzo (Qz) y cristales subhedrales de pirita (Py). C) Corte transparente a nicoles cruzado. Vetilla de actinolita (Act) remplazada por clorita (Chl); conservando el hábito acicular, con cuarzo (Qz), sericita (Ser) y piritas (Py) subhedrales.

A continuación, se presentan cuatro perfiles que muestran la variación de la intensidad de las alteraciones hidrotermales observadas en planta según la distancia desde la entrada de la galería mina (Figura 3.15 A, B y C) (Figura 3.16).

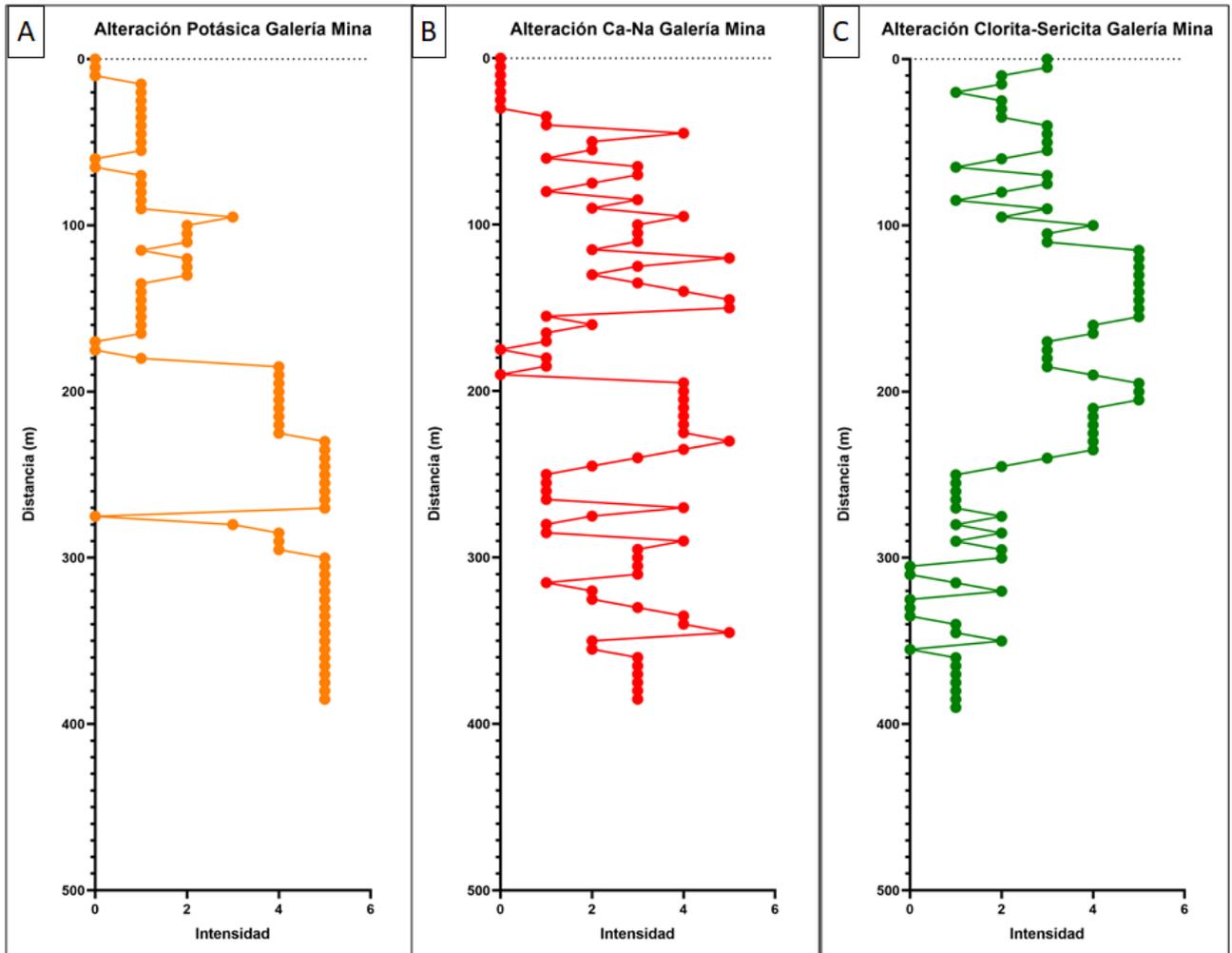


Figura 3.15: A) Intensidad alteración potásica según la distancia a la entrada galería mina. B) Intensidad alteración Ca-Na según la distancia a la entrada galería mina. C) Intensidad alteración clorita-sericita según la distancia a la entrada galería mina. Planta con proyección lineal de interior galería.

Según la Figura 4.5 se observa que la alteración potásica presenta baja a nula intensidad desde la entrada hasta los 200 m, disminuyendo desde este punto en adelante. En contra posición la alteración clorítica presenta una intensidad mediana a alta desde la entrada hasta los 230 m, ocurriendo una disminución de la intensidad desde este punto hasta el final de la galería. Por otra parte, la alteración calco-sódica está presente en toda la galería variando su intensidad de moderada a intensa predominantemente.

La relación de variación de intensidades de alteraciones potásicas y clorítica se describe en la figura 3.16, en la que se observa una relación inversa entre ambas alteraciones.

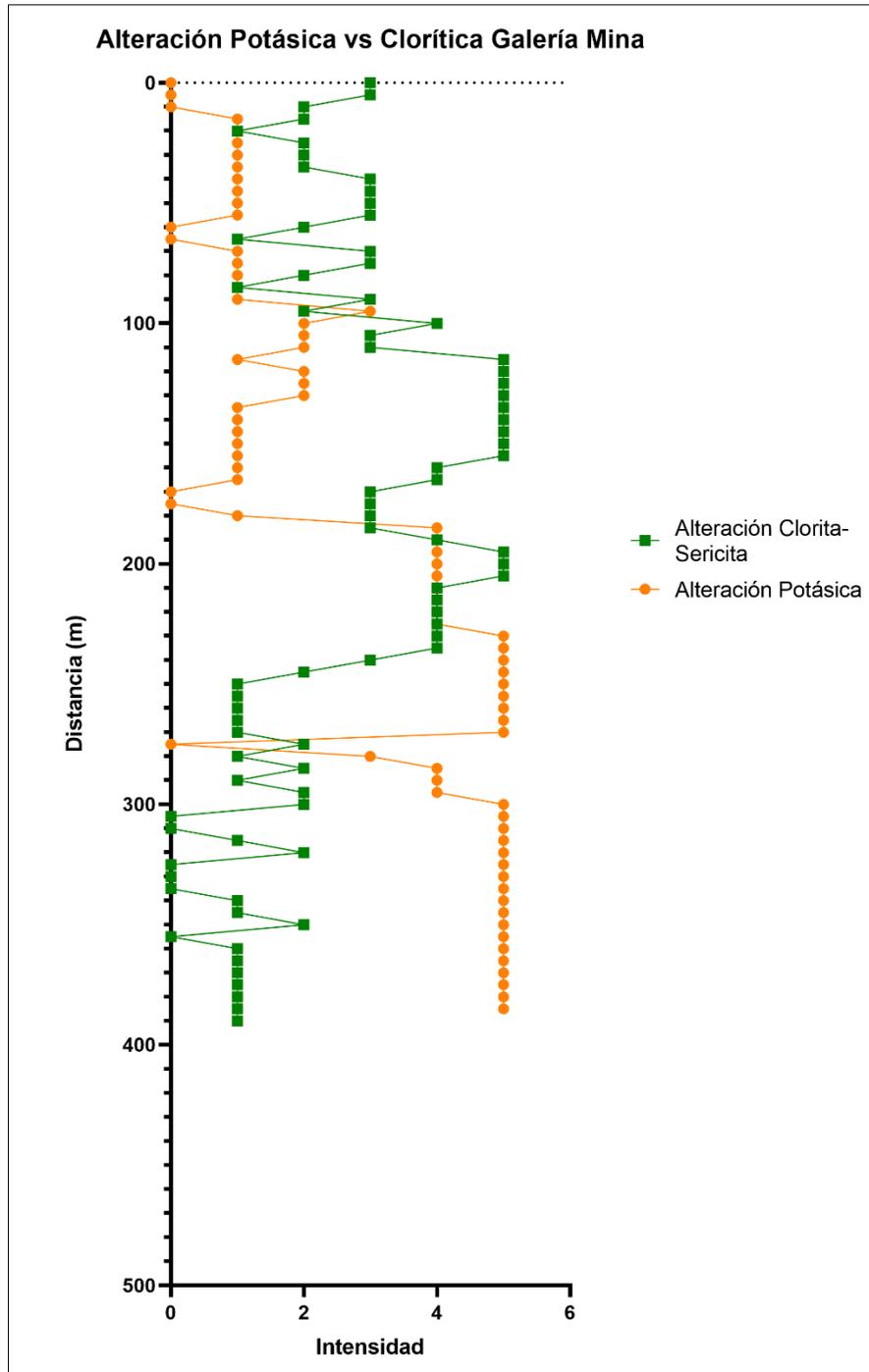


Figura 3.16: Comparación intensidad de alteración potásica y clorita-sericita según la distancia a la entrada galería mina. Planta con proyección lineal de interior galería.

Por otra parte, a partir de 7 sondajes mapeados se realizaron perfiles para los 4 sondajes más representativos. Para estos se realizó énfasis en las alteraciones potásicas y clorita sericita, mientras que la alteración calco-sódica no fue graficada (Figura 3.17).

Se puede observar que la alteración potásica es nula cercana a la superficie y que a partir de los 20-40 m comienza a aumentar su intensidad. La alteración clorita sericita varía de intermedia a intensa hasta el fin del sondaje.

La relación inversa entre la alteración potásica y clorita sericita se reconoce en ciertas secciones de los perfiles (Figura 3.17 B y C). Cabe mencionar que los rectángulos grises corresponden a zonas con mineralización importante, estas son tres franjas con distinto espesor.

Primera franja está ubicada a 20 – 40 m de profundidad con un espesor de hasta 20 m, la segunda se encuentra a 120-130 m de profundidad con una potencia de hasta 10 m y la tercera a 160 - 170 m de profundidad correspondiente a una franja de hasta 10 m de espesor.

Si bien la alteración calco sódica no está graficada, cabe mencionar que se encuentra presente en toda la galería variando su intensidad de moderada a intensa predominantemente (Anexo II).

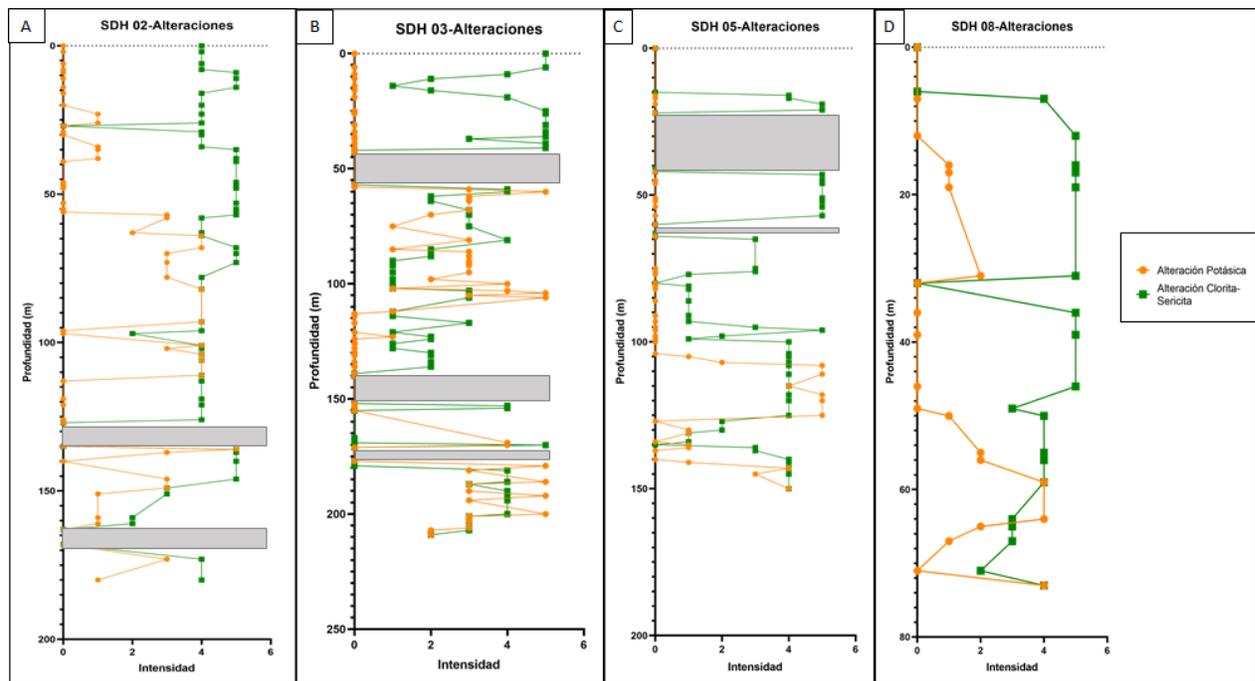


Figura 3.17: A) Comparación intensidad de alteración potásica y clorita-sericita en sondaje SDH-02 a partir de la superficie. B) Comparación intensidad de alteración potásica y clorita-sericita en sondaje SDH-03 a partir de la superficie. C) Comparación intensidad de alteración potásica y clorita-sericita en sondaje SDH-05 a partir de la superficie. D) Comparación intensidad de alteración potásica y clorita-sericita en sondaje SDH-08 a partir de la superficie. Bloques grises corresponden a zonas con vacíos de información, retirados por ENAMI anteriormente por ser secciones mineralizadas y potencialmente económicas.

3.2.2.4 Evento de Epidotización

Cabe destacar un evento menor y discreto, de epidotización tardía posterior a las alteraciones anteriormente descritas. Cristales remanentes de actinolita, clorita, feldespato potásico, plagioclasa y masa fundamental de las lavas son fuertemente alterados a epidota (Figura 3.18 A), presentándose como parches (Figura 3.18 B), vetillas (Figura 3.18 C) o como un remplazo total de la roca.

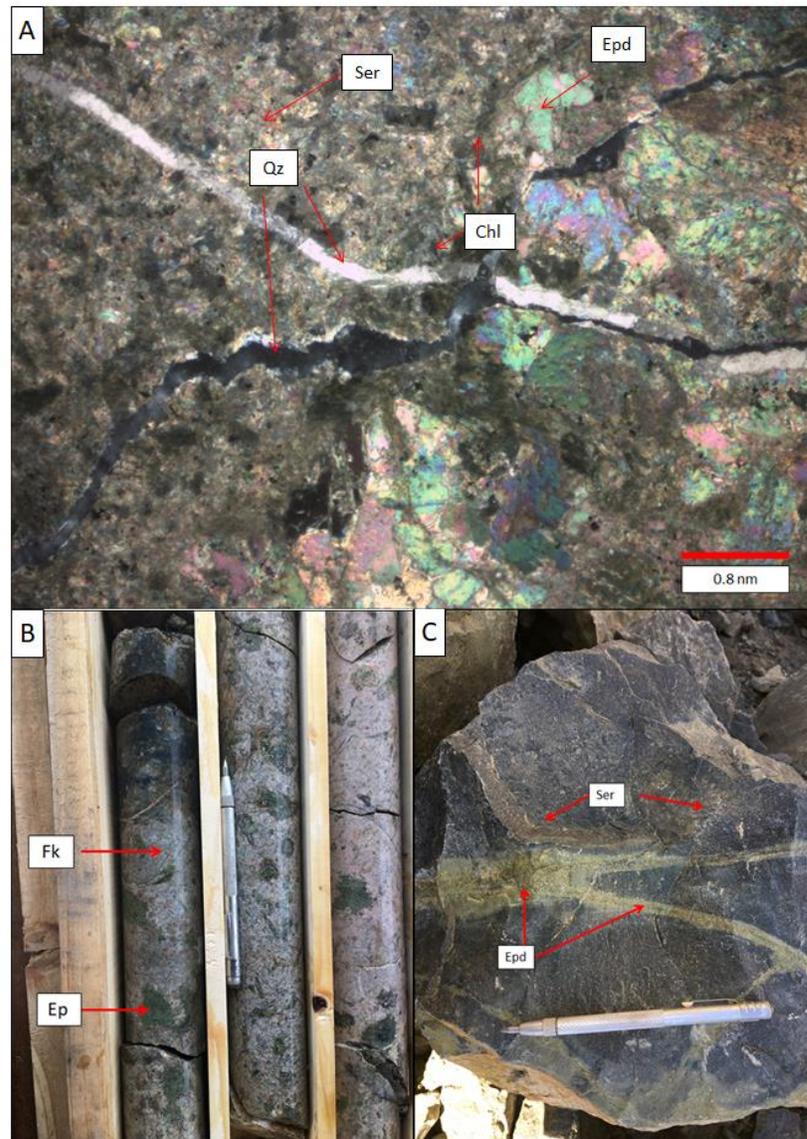


Figura 3.18: A) Alteración potásica que altera fuertemente al protolito. Esta a su vez, es remplazada por abundante epidota (Ep), reemplazando feldespatos potásicos (Fk), biotitas y remanentes de andesita porfídica; la cual se visualiza como parches color pistacho. B) Vetilla rectas de epidota que cortan la roca caja andesítica alterada a sericita. Evento de sericitación y epidotización tardía. C) Corte transparente a nicoles cruzado. Roca alterada fuertemente a clorita (Chl), la cual a su vez es alterada a epidota (Epd) con presencia de sericita (Ser). Vetilla de cuarzo cortan toda la mineralogía.

3.2.2.5 Alteración Supérgena

Evento de origen supérgeno que se superpone a las alteraciones hipógenas, con desarrollo de hematita y jarosita en pátinas; alterando a la magnetita o algunos sulfuros con contenido de hierro. Sericita y arcillas alterando cristales de feldespatos, plagioclasas, actinolita y masa fundamental del protolito (Figura 3.19). Carbonatos rellenan espacios vacíos o en vetillas. Por último, oxidados de cobre; crisocola, chalcantita y brocantita, precipitados en las fracturas preexistentes formando pátinas.



Figura 3.19: Roca alterada penetrativamente, presenta abundante hematita (Hem) y jarosita (Jar) alterando magnetita. Destaca la presencia de arcillas (Arc) alterando la roca remanente.

3.2.3 Mineralización

Se determinaron cuatro eventos de mineralización principales (Anexo II y III).

3.2.3.1 Primer Evento de Mineralización: Magnetita Masiva

Mineralización temprana de magnetita masiva con pirita, calcopirita y menor bornita diseminada (Figura 3.20 A y B). Este evento está asociado a una alteración potásica biotítica penetrativa, donde la magnetita esta intercrecida con cristales de biotita secundaria. Este evento reemplaza a la roca caja andesítica porfídica casi por completo, sin dejar rastro del protolito (Figura 3.21 A y B). La mineralización está subordinada a un control predominantemente estratigráfico, presentando mantos de reemplazo en la secuencia de rocas volcánicas, con potencias de 1 a 2 m abarcando todo el frente de la galería mina.

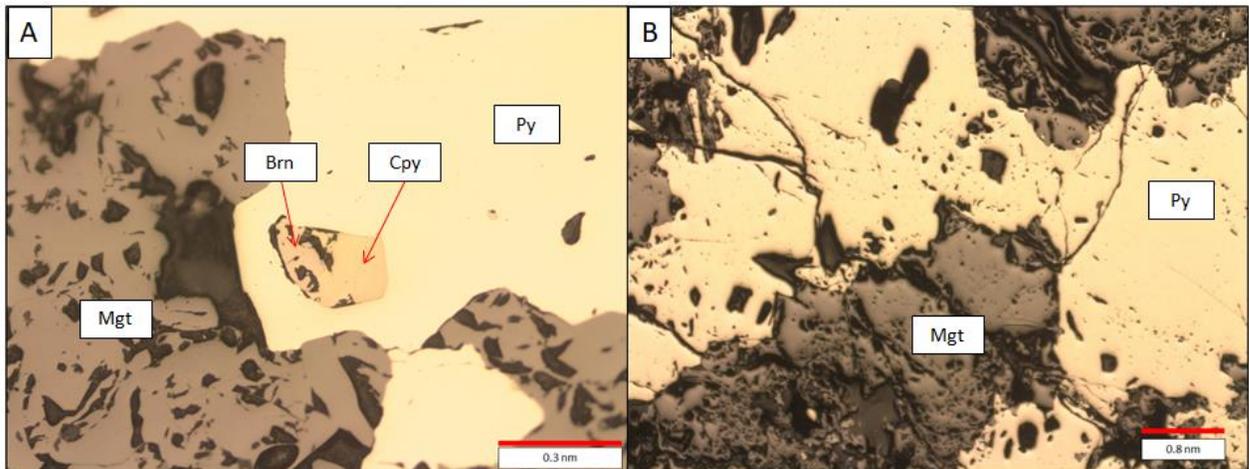


Figura 3.20: A) Cristal de pirita (Py) intercrecido con magnetita (Mgt), que contiene una inclusión de calcopirita (Cpy) y bornita (Brn). B) Cristales de pirita (Py) intercrecidos con magnetita (Mgt) y pirita (Py) diseminada.

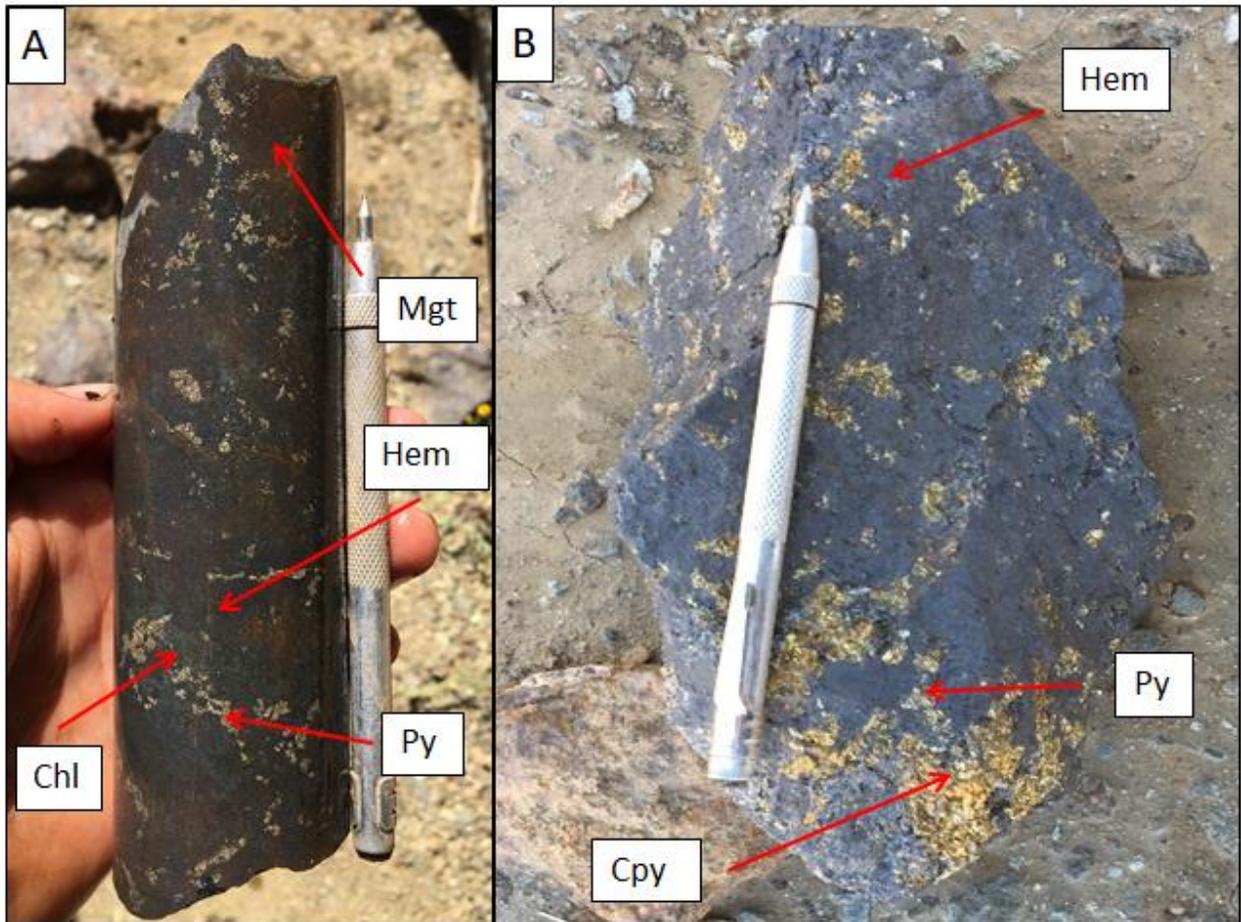


Figura 3.21: A) Mineralización masiva de magnetita (Mgt) con pirita (Py) diseminada, presencia de clorita (Chl) reemplazando remanentes de la roca caja y hematita (Hem) en pátina como alteración de magnetita (Mgt). B) Muestra extraída de acopio, presenta mineralización masiva de magnetita (Mgt), pirita (Py), calcopirita (Cpy) y menor bornita.

3.2.3.2 Segundo Evento de Mineralización: Enriquecimiento sulfuros masivos

Corresponde a un evento de mineralización de pirita, calcopirita y menor bornita (Figura 3.22 A), en bolsones enriquecidos de hasta 1 m de largo (Figura 3.22 B), que cortan y se encuentran en los cuerpos de magnetita masiva. Cabe mencionar que no se ha identificado el evento hidrotermal que originó esta mineralización.

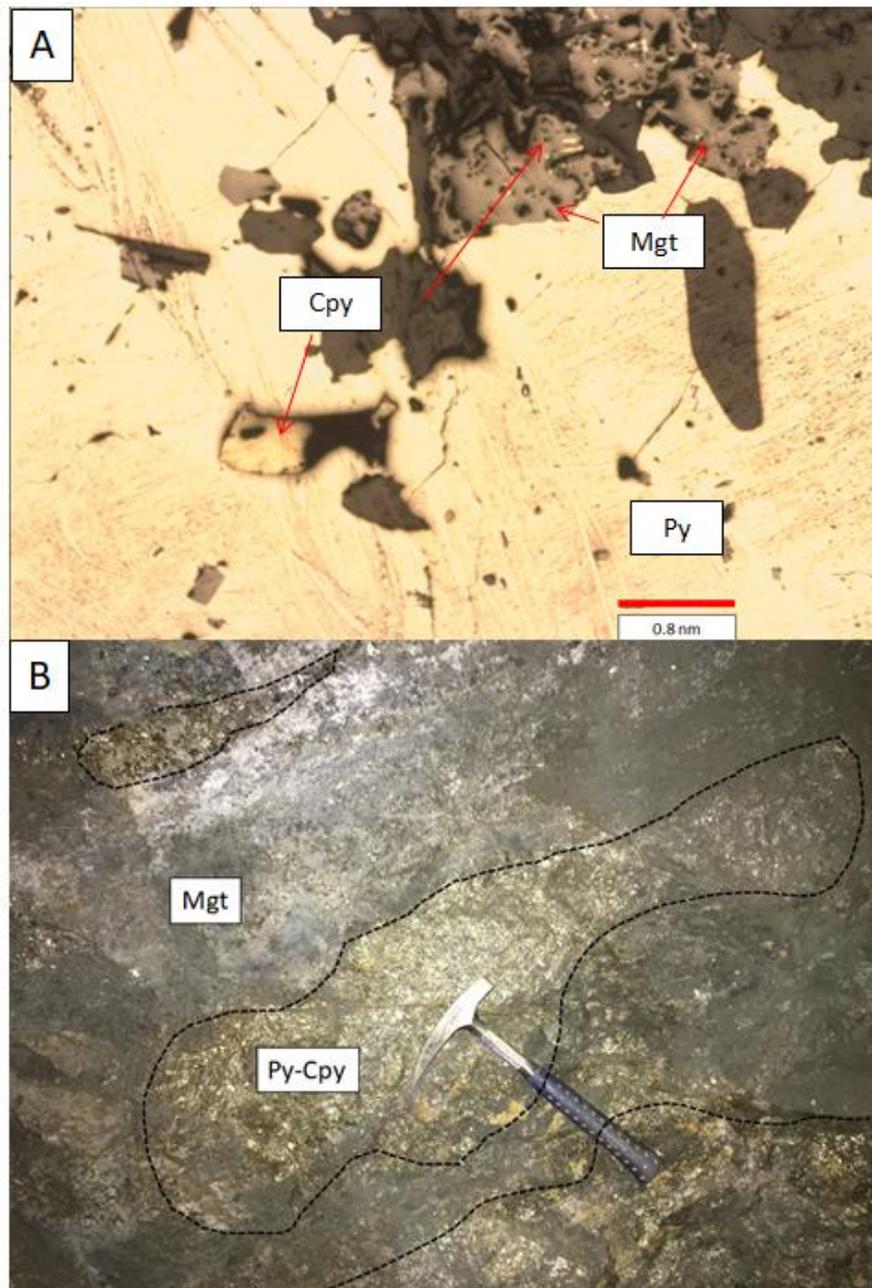


Figura 3.22: A) Cristal de pirita (Py) intercrecido con magnetita (Mgt), ambos contienen calcopirita (Cpy). B) Mineralización de pirita (Py) con menor calcopirita (Cpy) en bolsones enriquecidos (polígonos punteados). Evento de mineralización rica en sulfuros tales como pirita y calcopirita.

3.2.3.3 Tercer Evento de Mineralización: Magnetita y Pirita en Vetillas

Corresponden a vetillas de hasta 2 cm de espesor, con magnetita, cristales subhedrales y euhedrales de pirita diseminada, intercrecida con actinolita y albita (Figura 3.14 A y Figura 3.23). Estas cortan la mineralización masiva de magnetita y en zonas proximales a la superficie se alteran a hematita y jarosita (Figura 3.8). Está relacionado a un segundo evento calco sódico de mayor envergadura que el descrito anteriormente.

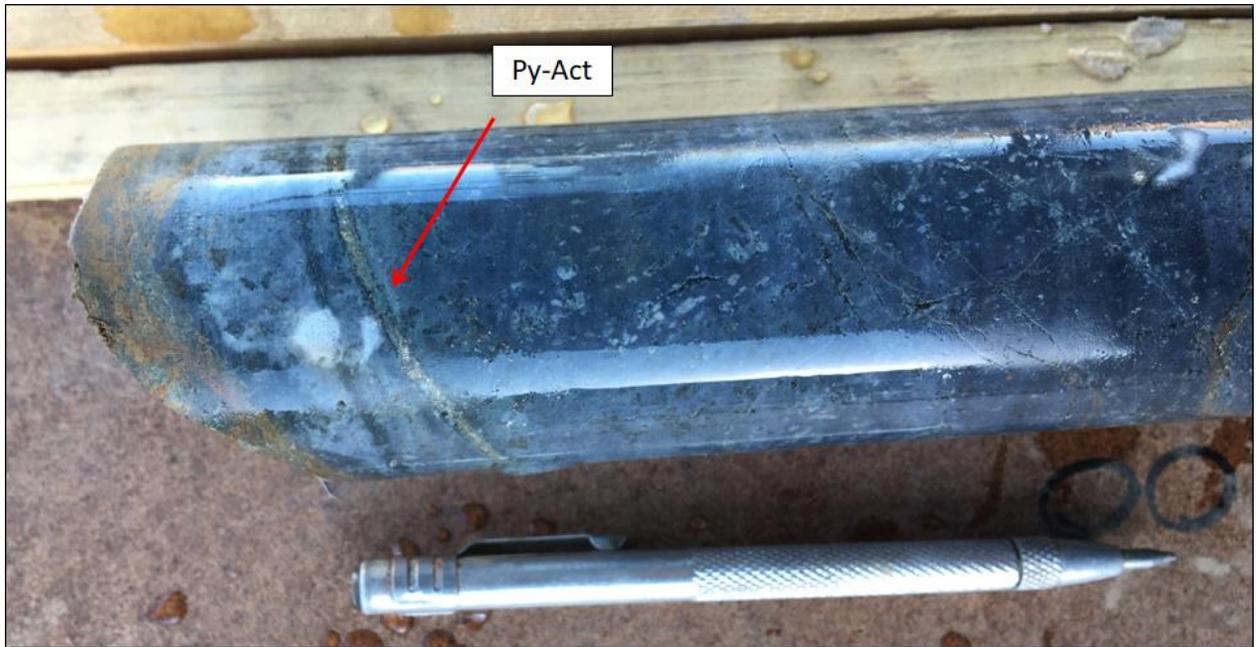


Figura 3.23: Roca andesita porfídica con plagioclasas albitizadas, cortada por una vetilla recta; de un centímetro de espesor, con por pirita (Py) y actinolita (Act).

3.2.3.4 Cuarto Evento de Mineralización: Vetillas de Cuarzo

Corresponden a un evento posterior, asociado a vetillas rectas que van del orden de los milímetros hasta los 8 cm de espesor (Figura 3.24 A), con cristales de cuarzo euhedrales que alcanzan los 4 cm de largo, con piritas subhedrales de hasta 2 mm, pequeños granos anhedral de calcopirita diseminados y concentraciones importantes de oro (Figura 3.24 B). Estas corresponden a las vetas de oro con rumbo 30°NW explotada de manera artesanal (Figura 3.5) (Figura 3.24 C).

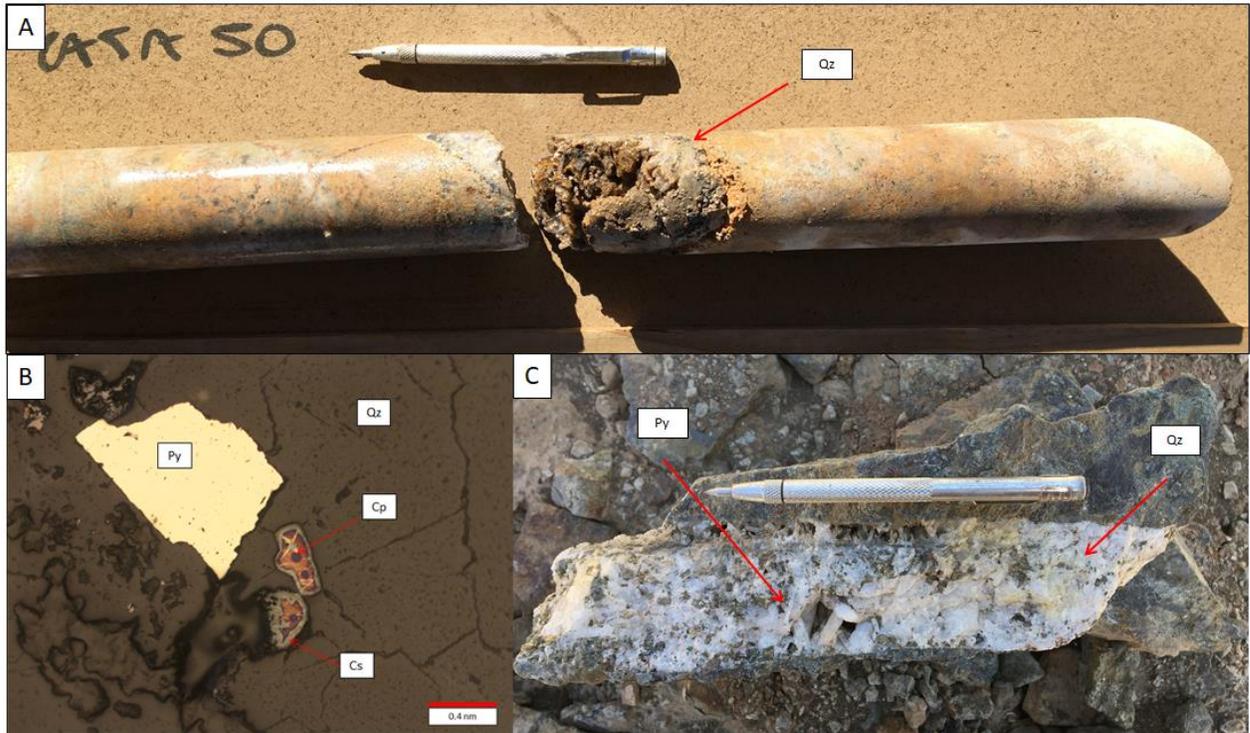


Figura 3.24: A) Vetilla recta de unos 5 cm de espesor, con cristales de cuarzo (Qz) euhedrales de hasta 4 cm y cristales de pirita subhedrales de hasta 2 mm. B) Corte pulido a luz reflejada de una Vetilla de cuarzo (Qz), con granos de pirita (Py) subhedrales y calcopirita (Cp) anhedral. Los granos de calcopirita (Cp) presentan bordes de reacción alterados a calcosina (Cs). C) Vetilla recta de 4 cm de espesor, con cristales de cuarzo (Qz) euhedrales de hasta 2 cm y cristales de pirita subhedrales de hasta 2 mm, proveniente de interior galería mina.

A continuación, se presentan cuatro perfiles que muestran la variación de la intensidad de las mineralizaciones de magnetita, pirita y calcopirita observadas, según la distancia en planta a la entrada de la galería mina (Figura 3.25 A, B y C) (Figura 3.26).

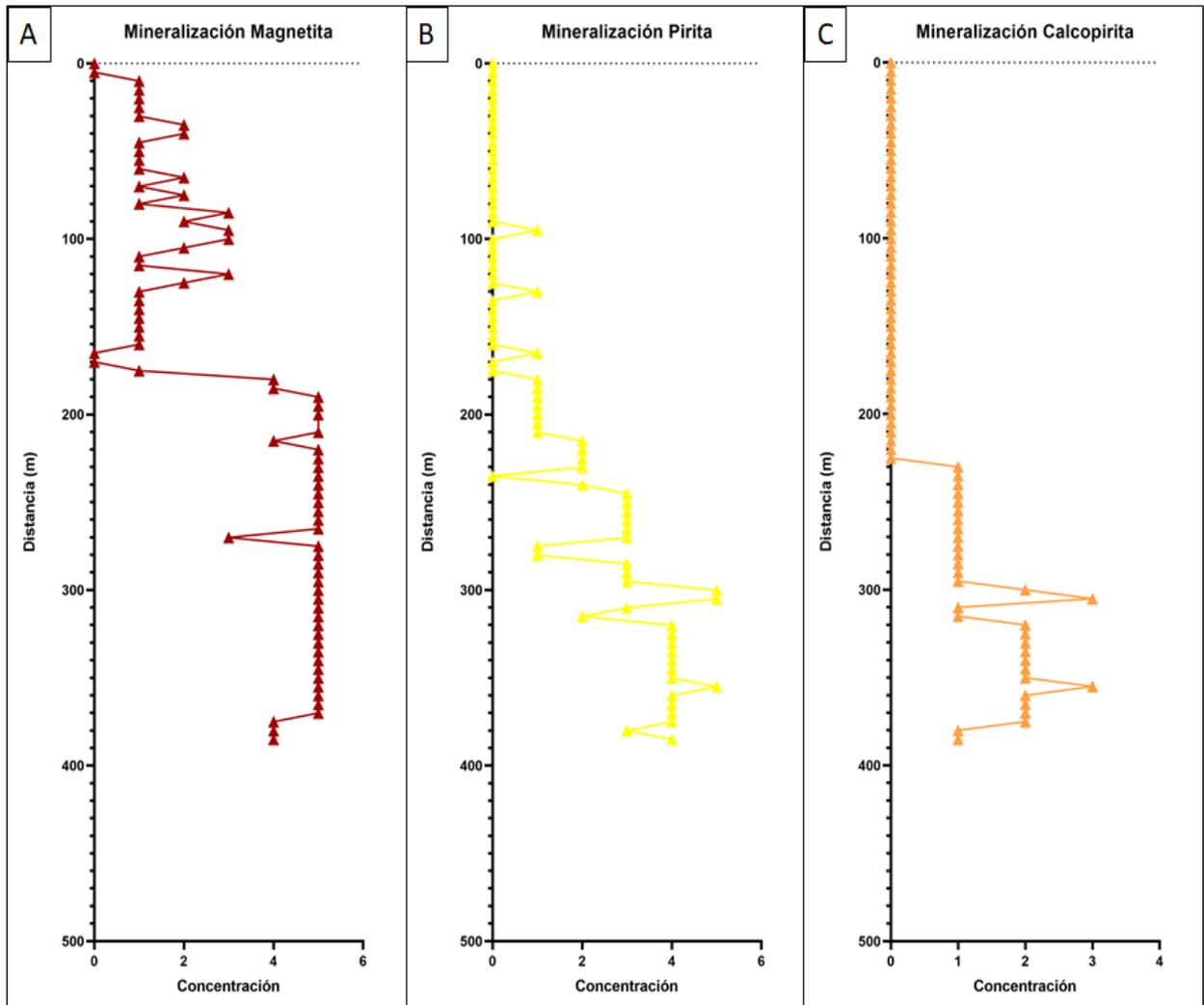


Figura 3.25: A) Concentración de magnetita según la distancia a la entrada galería mina. B) Concentración pirita según la distancia a la entrada galería mina. C) Concentración de calcopirita según la distancia a la entrada galería mina. Planta con proyección lineal de interior galería.

Según la Figura 3.25 se observa que la mineralización de magnetita es baja desde la entrada hasta los 190 m y nula a los 170 m, lugar donde se expone un dique andesítico que corta la alteración y mineralización. Posterior a los 190 m la mineralización de magnetita comienza a aumentar progresivamente alcanzando altas concentraciones, vinculado a un aumento del contenido de sulfuros tales como pirita y calcopirita.

La relación de la concentración mineral de magnetita, pirita y calcopirita se describe en la Figura 3.26, en la que se observa una relación proporcional entre ellas.

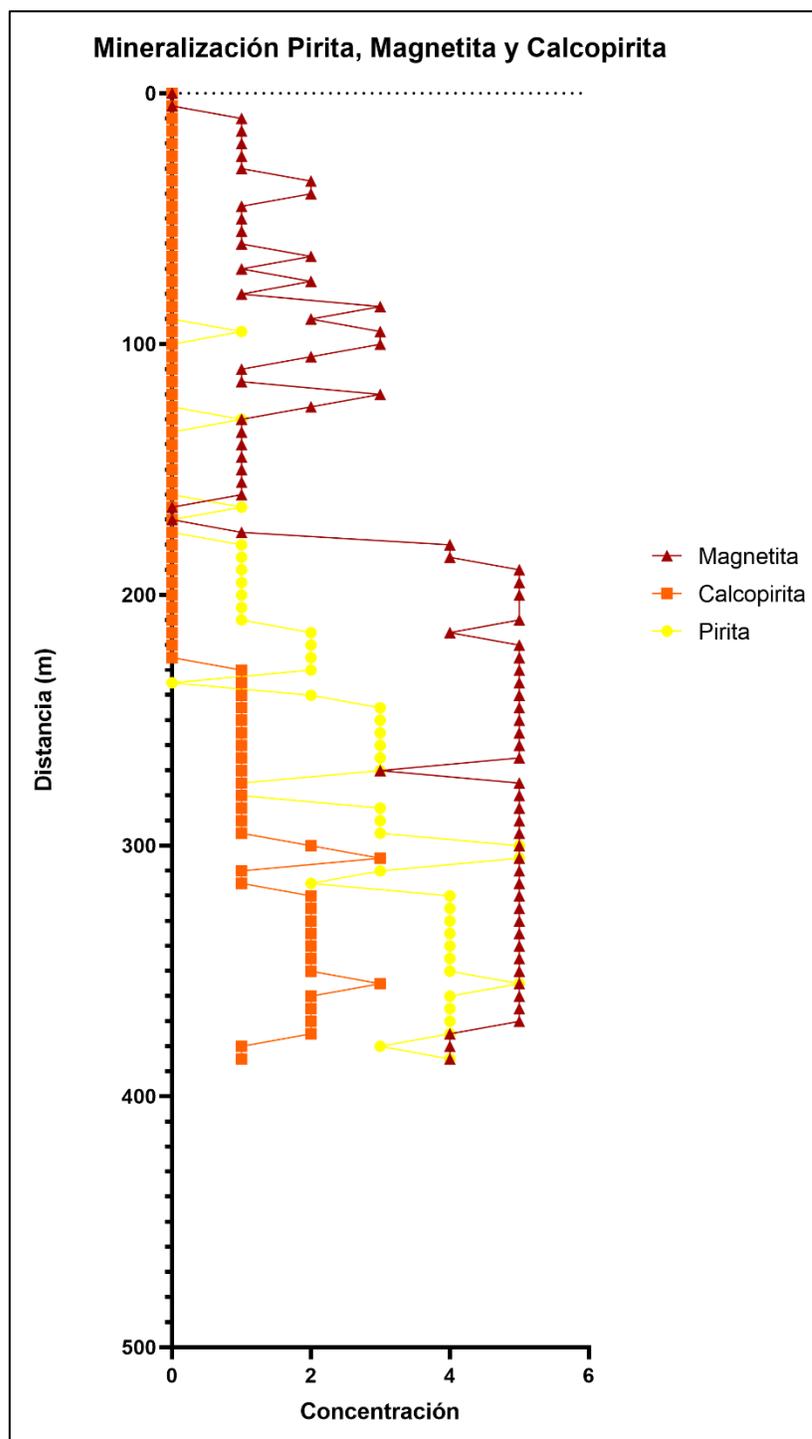


Figura 3.26: Concentración de magnetita, pirita y calcopirita según la distancia a la entrada galería mina. Planta con proyección lineal de interior galería.

En base a los eventos de alteración hidrotermal, mineralización y relaciones de corte se establece los siguientes ocho eventos paragenéticos que dieron origen al depósito La Estrella.

- I. Alteración potásica biotítica penetrativa temprana, con abundante magnetita y pirita, calcopirita y menor bornita diseminada. (Figura 3.12 A, B y C).
- II. Alteración calco sódica caracterizada por la presencia de actinolita y albita en parches con pirita y magnetita diseminada (Figura 3.13 A y B).
- III. Evento de mineralización, correspondiente a grandes cuerpos de sulfuros de hasta 1m de largo, caracterizados por un alto contenido de pirita, menor calcopirita y escasa bornita (Figura 3.20 A), alojados en el cuerpo de magnetita (Figura 3.22 B).
- IV. Evento de mineralización asociado a un segundo evento calco-sódico de mayor envergadura. Caracterizado por abundante actinolita, albita, cuarzo, carbonatos y escasa apatita con mineralización de magnetita y pirita, caracterizado por presentarse como vetillas de hasta 3 cm de espesor que cortan la mineralización anterior y al protolito remanente (Figura 3.6 B) (Figura 3.23).
- V. Alteración clorita-sericita, evento tardío caracterizado por una asociación mineral de menor temperatura; abundante clorita, sericita, cuarzo y carbonatos (Figura 3.14 C).
- VI. Evento de epidotización, caracterizado por abundante epidota, menor clorita, cuarzo y carbonatos (Figura 3.19 A y B).
- VII. Evento de vetillas de cuarzo con mineralización de pirita y calcopirita con contenidos importantes de oro (Figura 3.24 A).
- VIII. Alteración supérgena asociada hematita, jarosita, arcillas, yeso, clorita, epidota con mineralización de oxidados de cobre y calcosina vinculada a las calcopiritas (Figura 3.19) (Figura 3.24 B).

A continuación, se presente la secuencia paragenética definida para La Estrella a partir de las alteraciones y mineralizaciones observadas (Tabla 3.2).

Tabla 3.2: Secuencia paragenética mina La Estrella

	Evento I	Evento II	Evento III	Evento IV	Evento V	Evento VI	Evento VII	Evento VIII
Albita				—				
Actinolita				—				
Magnetita	—			—				
Apatito				- - - -				
Epidota				- - - -		—		- - - -
Clorita				- - - -	—	- - - -		- - - -
Cuarzo				- - - -	—	- - - -	—	- - - -
Sericita					- - - -		- - - -	
Hematita								—
Oro								- - - -
Jarosita								—
Biotita	—							
Feldespató K	—							
Pirita			—				—	
Calcopirita	- - - -		—				- - - -	
Bornita	- - - -		- - - -					
Calcosina								- - - -
Gohetita								—
Oxidos de Cu								- - - -
Carbonatos					- - - -	—		—
Yeso								- - - -

3.2.4 Geoquímica Preliminar

A continuación, se presentan los resultados de análisis geoquímico realizado a siete muestras extraídas de interior mina (Anexo IV). Estas muestras corresponden a la zona superior de paredes y frente de explotación, en las cuales se trazó una línea de 1 m de espesor y se extrajo 1 kg de muestra con ayuda de un cincel y combo.

Las muestras levantadas en la Mina La Estrella, Distrito El Zapallo, fueron trituradas, pulverizadas y divididas hasta una malla de 200, tomando una muestra final de 250 gr. Estas fueron analizadas mediante una digestión de cuatro ácidos y análisis ICP-MS (BV Chile Minerals Laboratories, Coquimbo), para un total de 59 elementos (Anexo IV) de los cuales se hicieron énfasis en 9 (Tabla 3.3).

Los valores de cobre reportados de las muestras obtenidas en la Mina La Estrella superan en promedio una concentración del 0,26 % wt reportando un valor máximo de 1% wt (Muestra Geoquímica 6) (Figura 3.27 A) (Tabla 3.3). Asociado a estas muestras se destacan valores promedio de hierro sobre el 27% wt, superando en una muestra los 40% wt de hierro (Muestra Geoquímica 7) (Figura 3.27 B) (Tabla 3.3). Los valores promedio de plata corresponden a 645 ppm con una concentración máxima de 2.150 ppm (Muestra Geoquímica 6) (Figura 3.27 C) (Tabla 3.3). Por otra parte, el valor promedio para el cobalto es 320 ppm con un pico de 1.214 ppm (Muestra Geoquímica 6) (Figura 3.27 D) (Tabla 3.3); para el níquel 1.276 ppm con un pico de 6.770 ppm (Muestra Geoquímica 6) (Figura 3.27 E) (Tabla 3.3), y para el manganeso un promedio de 2.197 ppm con un máximo de 2691 ppm (Muestra Geoquímica 4) (Figura 3.27 F) (Tabla 3.3) Las concentraciones de azufre son altas para las Muestras Geoquímicas 6 y 7 alcanzando un promedio de 8,0% wt (Figura 3.27 G) (Tabla 3.3), demostrando la presencia de pirita y calcopirita reconocidas en las muestras. Las concentraciones de arsénico son bajas, menores a 30 ppm (Figura 3.27 H) (Tabla 4.2). Los valores de fósforo no superan el 1,0% wt y presentan un promedio de 0,2% wt (Figura 3.27 I) (Tabla 3.3).

Tabla 3.3: Resultados analíticos de Cu, Fe, Co, Ni, P, Mn, As, S y Ag, para las muestras obtenidas de la Mina La Estrella Distrito Zapallo, el resto de los elementos reportados se presentan en el Anexo IV.

Muestra	Cu %	Fe %	Co ppm	Ni ppm	P %	Mn ppm	As ppm	S %	Ag ppm	Descripción Muestra
Muestra Geoquímica 1	0,076	35,42	71,4	221	0,19	2280	29,7	<0.04	226	Muestra interior mina, a 22 ms de la entrada. Muestra zona superior de 1 m de espesor. Con presencia de clorita, hematita, limonita, calcita y menor actinolita.
Muestra Geoquímica 2	0,088	30,34	172,5	235,5	0,28	2237	17,2	<0.04	185	Muestra interior mina, a 53 ms de la entrada. Muestra zona superior de 1 m de espesor. Con presencia de abundante actinolita, hematita, limonita, calcita y magnetita.
Muestra Geoquímica 3	0,159	29,81	100,8	114,6	0,02	2575	15,6	<0.04	233	Muestra interior mina, a 80.7 ms de la entrada. Muestra zona superior de 1 m de espesor. Con presencia de abundante actinolita, clorita, albita y magnetita.
Muestra Geoquímica 4	0,119	5,35	74,1	124,6	0,30	2691	19,5	<0.04	806	Muestra interior mina, a 151 ms de la entrada. Muestra zona superior de 1 m de espesor. Con presencia de abundante actinolita, clorita, albita y escasa magnetita.
Muestra Geoquímica 5	0,080	23,34	136,8	291,9	0,76	1628	14,3	1,61	455	Muestra interior mina, a 213 ms de la entrada. Muestra zona superior de 1 m de espesor. Con mineralización de magnetita, pirita y calcopirita asociada a mayor actinolita.
Muestra Geoquímica 6	1,000	34,1	1214,8	6770,3	1,64	2544	27	>10	2150	Muestra interior mina, a 245 ms de la entrada. Muestra zona superior de 1 m de espesor. Con mineralización de magnetita, pirita y calcopirita asociada a actinolita.
Muestra Geoquímica 7	0,302	40,4	475,3	1177,8	0,49	1428	9,1	6,22	462	Muestra interior mina, frente de explotación a 285 ms de la entrada. Muestra zona superior de 1 m de espesor. Con mineralización de magnetita, abundante pirita y calcopirita.

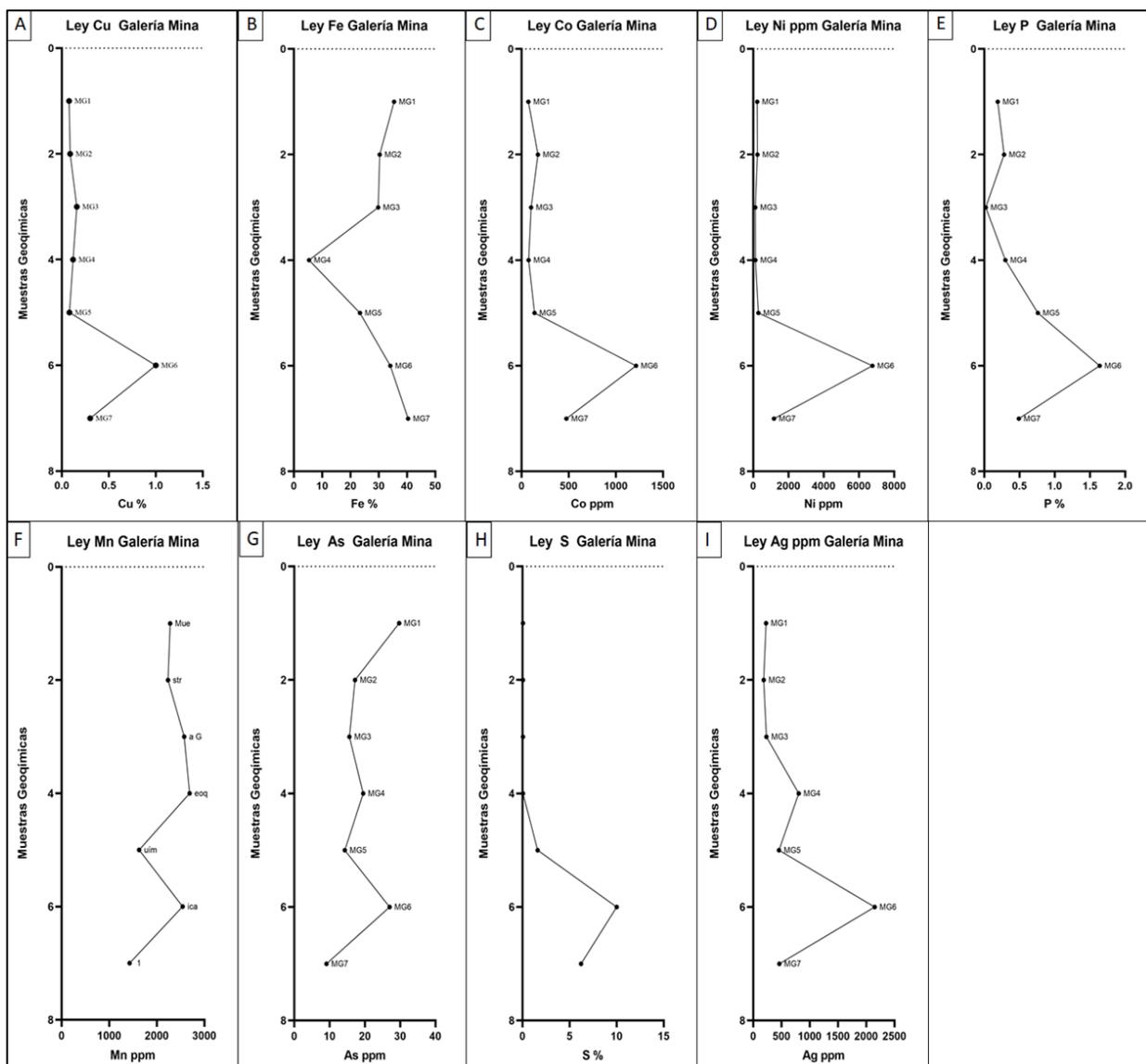


Figura 3.27: A) Ley de cobre para cada muestra geoquímica, galería mina. B) Ley de hierro para cada muestra geoquímica, galería mina. C) Ley de cobalto para cada muestra geoquímica, galería mina. D) Ley de níquel para cada muestra geoquímica, galería mina. E) Ley de fósforo para muestras geoquímicas, galería mina. F) Ley de manganeso para cada muestra geoquímica, galería mina. G) Ley de arsénico para cada muestra geoquímica, galería mina. H) Ley de azufre para cada muestra geoquímica, galería mina. I) Ley de plata para cada muestra geoquímica, galería mina.

Además, resultados obtenidos por ENAMI de análisis químicos realizados a tres secciones de los ocho sondajes, correspondientes a los primeros 81, 51 y 91 m de los sondajes SDH 1, SDH 4 y SDH 7 respectivamente, entregan valores de hierro DTT promedio de 67,5 % wt alcanzando un máximo de 71,1% wt (Figura 3.28 A). Por otra parte, para las secciones de los sondajes SDH 1 y SDH 7 la ley de cobre promedio corresponde a 0,24% wt con un pico de 1,15% wt (Figura 3.28 B), lo cual incluye la ley de cobre lixiviado con un promedio de 0,11% wt (Figura 3.28 C) y la ley de cobre insoluble que alcanza un promedio de 0,12% wt (Figura 3.28 D). Estas dos secciones presentan una concentración promedio de oro de 0,048 ppm alcanzando una concentración máxima de 0,29 ppm (Figura 3.28 E), por último, la concentración de cobalto promedio en estas dos

secciones corresponde a 256 ppm con un pico de 745 ppm (Figura 3.28 F). Cabe mencionar que en los reportes geoquímicos de ENAMI no se encontró un capítulo de control de calidad, por lo cual se desconoce esta información (Anexo V).

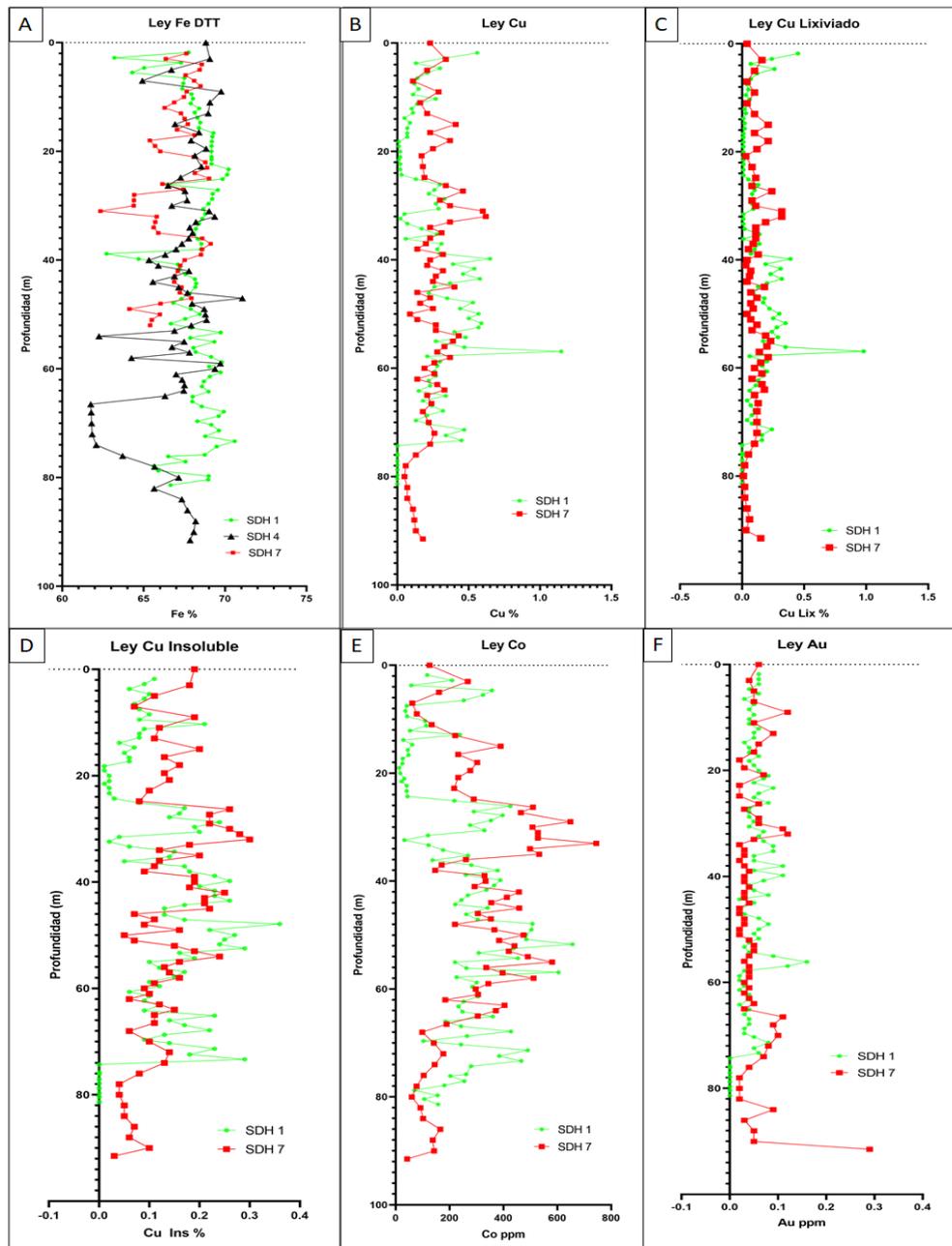


Figura 3.28: A) Ley de hierro para sección sondaje SDH 1, SDH 4 y SDH 7 según profundidad. B) Ley de cobre para sección sondaje SDH 1 y SDH 7 según profundidad. C) Ley de cobre lixiviado para sección sondaje SDH 1 y SDH 7 según profundidad. D) Ley de cobre insoluble para sección sondaje SDH 1 y SDH 7 según profundidad. E) Ley de oro para sección de sondaje SDH 1 y SDH 7 según profundidad. F) Ley cobalto para sección de sondaje SDH 1 y SDH 7 según profundidad.

3.3 RECURSOS

Conociendo las dimensiones estimadas en planta, las estimaciones verticales en galería mina y los espesores cortados en sondajes, se calcula un tonelaje inferido de la potencial mineralización existente dentro de la propiedad minera.

En planta se tiene una superficie para el cuerpo mineralizado de 155 m de largo con 120 m de ancho (Anexo II) y un espesor inferido; a partir de los sondajes hechos por ENAMI, de 60 m de profundidad (Anexo V). Esto correspondería a un volumen de 1.116.000 m³ cúbicos. Estimando un peso específico de 4,2 t/m³ dada la asociación principal de óxidos de hierro y sulfuros de hierro cobre, se obtiene un tonelaje final del orden de 4,69 millones de toneladas.

Teniendo en cuenta esta información y asociándola a la ubicación, geología y mineralización de La Estrella, se puede dimensionar de forma preliminar el potencial exploratorio que presenta este depósito metalífero. Si bien no se conoce una estimación de recurso precisa para la concentración Fe o Cu, a partir de la información recopilada en terreno, sondajes, galería mina y muestras geoquímicas, sugiere la presencia de un depósito de pequeña a mediana minería con contenido de Fe y Cu, el cual acusa un potencial exploratorio preliminar importante.

Se necesita el desarrollo de campañas de perforación adicionales a las existentes, de tal forma de caracterizar y dimensionar de mejor forma el o los cuerpos mineralizados existentes.

4 DISCUSIONES

4.1 EVOLUCIÓN FLUIDO HIDROTHERMAL LA ESTRELLA

A partir de las alteraciones hidrotermales reconocidas en el presente trabajo, se realizó una descripción preliminar de la paragénesis y de la evolución de los fluidos hidrotermales que dieron origen a este depósito. Las alteraciones; potásica, calco-sódica y clorita-sericita, están caracterizadas por asociaciones minerales específicas, a partir de las cuales se deduce temperaturas y condiciones de pH para cada etapa relacionado a la génesis de este depósito.

El cambio de temperatura es un aspecto importante en la precipitación mineral, ya que la rápida disminución térmica puede llevar a los fluidos hidrotermales a la sobresaturación y precipitación de minerales de mena y ganga (Hemley et al., 1980). El margen de temperatura de los sistemas magmático-hidrotermales activos varía desde los 750° - 600° C hasta temperaturas menores a 200° C (Seedorff et al., 2005). Los rangos de estabilidad de temperatura para los minerales identificados en La Estrella se estiman en relación a los rangos de temperatura propuestos en la clasificación de asociaciones de alteración propuestas por Corbett & Leach (1998) (Figura 4.1) en los siguientes rangos: 400 - 600° C alta temperatura, 300 - 400° temperatura moderada y menor a 300° C temperatura baja.

Inicialmente se reconoce una alteración potásica biotítica penetrativa asociada a una mineralización importante de magnetita con menor pirita y calcopirita diseminada, caracterizada por fluidos de alta temperatura de composición alcalino; como indica la biotita, feldespato potásico, magnetita, calcopirita y pirita (Figura 4.1). Posteriormente el fluido hidrotermal se enfría progresivamente y mantiene una composición alcalina generando una alteración calco-sódica, caracterizada por una temperatura moderada; basado en la presencia de actinolita, albita, clorita y epidota (Figura 4.1). Finalmente, un evento clorita-sericita posterior está relacionado a fluidos de baja temperatura neutro-alcalino que disminuye progresivamente, tal como indica la asociación clorita, epidota, calcita y sericita (Figura 4.1), en las etapas menguantes de la actividad hidrotermal (Figura 4.2). Estas alteraciones corresponden a los eventos I, II y IV respectivamente y son descritas en el capítulo 3.2 a cabalidad.

Minerales	pH	Rango de Temperatura (°C)				
		100	200	300	400	500
Biotita	>270			---	----->	
Epidota	> 200			----->		
Feldespato K	>160		----->			
Actinolita	>280			----->		
Tremolita				----->		
Albita	130-330	----->				
Clorita	>200		----->			
Esmectita	20-200	----->				
Illita	220-310		----->			
Anhidrita	>180		----->			
Montmorillonita	100-175	----->				
Moscovita	200-360		----->			
Turmalina	200-450		----->			
Cuarzo	>100	----->				
Caolinita	20-200	----->				
Dickita	120-280		----->			
Alunita	40-320	----->				
Pirofilita	160-360		----->			
Magnetita ± Calcopirita	425-500 °C					----->
Pirita-Calcopirita	<425 °C				----->	

Figura 4.1: Rangos comunes de estabilidad de temperatura en sistemas geotérmicos para minerales hidrotermales. Modificada de Masterman (2003), Pass (2010) y Escolme (2016).

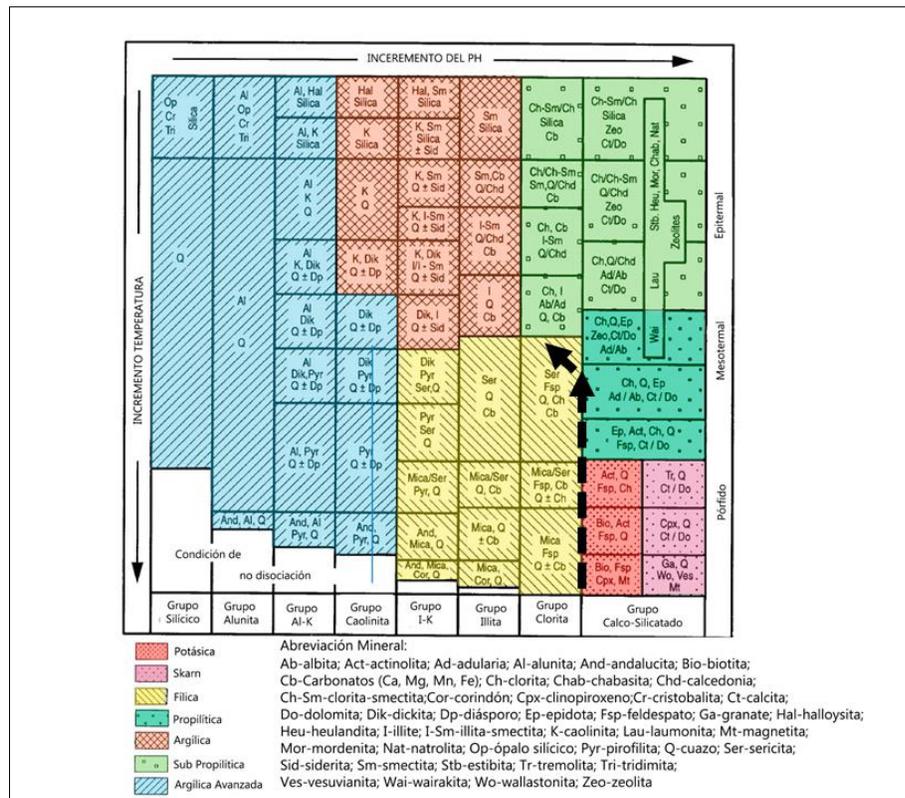


Figura 4.2: Minerales de alteración comunes en sistemas hidrotermales, la flecha negra punteada marca la evolución del fluido hidrotermal y mineralogía asociada al depósito La Estrella. Modificado de Corbett y Leach (1998).

4.2 CLASIFICACIÓN DEPÓSITO LA ESTRELLA

A continuación, con la información recopilada en el presente trabajo, y en base a los antecedentes descritos y revisiones bibliográficas se discute sobre la clasificación de tipo de yacimiento al cual corresponde La Estrella, basado y argumentado en su ubicación regional, mineralogía mena y ganga, geoquímica, y principales alteraciones hidrotermales.

La Estrella se encuentra ubicado en la Cordillera de la Costa, entre los paralelos 28 y 29°S. Vivallo y Henríquez (1997) afirman que las rocas volcánicas del Jurásico y del Cretácico Inferior (Neocominao), en particular aquellas del ámbito de la Cordillera de la Costa, representan un ambiente especialmente favorable para la ocurrencia de depósitos de Fe tipo Kiruna (magnetita-apatita), Cu – Fe \pm Au y depósitos estratoligados de Cu, comúnmente denominados tipo manto. Los yacimientos de Fe presentan una amplia distribución desde Taltal al sur, a lo largo de la Cordillera de la Costa, dando origen a la provincia metalogénica conocida como la Franja Ferrífera de la Cordillera de la Costa (FFCC).

Las alteraciones hidrotermales ligadas al depósito La Estrella están caracterizadas por metasomatismo de K, Ca y Na principalmente, con alteración potásica y calco-sódica correspondientemente, y a eventos posteriores de alteración clorítica y supérgena. Esto se ve reflejado en una mineralogía estéril compuesta principalmente por feldespatos potásico, biotita, actinolita, albita, epidota, clorita y arcillas.

Especialmente La Estrella se encuentra principalmente a una profundidad somera; sondajes realizados en la campaña exploratoria de ENAMI cortan al cuerpo mineralizado al metro perforado, a los 20-40 m, a 120-130 m y a los 160-170 m de profundidad, estos tienen potencias que van desde los 10 m a los 60 m de espesor (Anexo II y Anexo V). Se identificó un evento potásico penetrativo caracterizado por feldespatos potásico y biotita, presente en todos los sondajes, que generalmente aparece a los 40 m de profundidad hasta los 150-180 m (final del sondaje). Cabe destacar que la alteración potásica en las zonas mineralizadas predomina la biotita, mientras que en las zonas distales al cuerpo mineralizado predomina el feldespatos potásico. Este a su vez, se encuentra sobreimpuesto por una alteración calco-sódica, caracterizada por la presencia de actinolita, albita, - epidota, - cuarzo y -calcita, ubicada principalmente en la periferia y en el cuerpo mineralizado.

Como se ha mencionado anteriormente, todos los sistemas IOCG exhiben un amplio metasomatismo de Na-Ca-K (-Fe) junto con ganancias y pérdidas en Fe, Si y elementos menores. Los ensamblajes de Na-Ca tienden a ser profundos y periféricos. En tales casos, tienden a carecer de metales con pérdida de hierro y metales base. Sin embargo, en algunos distritos, los conjuntos de Na-Ca acompañan la mineralización rica en magnetita (típicamente pobres en Cu) (Johnson y Barton, 2000; Perring et al., 2000). Mientras que, por otra parte, la alteración K se subdivide en dos grupos (Barton y Johnson, 2000). El primer tipo es próximo a la mineralización y está ligado a ella. Consiste en ensamblajes de minerales discordantes, de temperatura moderada a alta (>300° C). Un segundo tipo de baja temperatura es una alteración generalizada, regionalmente extensa y

típicamente ligada a estratos que comúnmente es deficiente en metales y no coincide con los cuerpos mineralizados (Barton, 2014).

Con respecto a la sericita-hematita-cuarzo se forma en muchos sistemas hospedados en rocas félsicas; como por ejemplo Olympic Dam y Pea Ridge (Einaudi y Oreskes, 1990), mientras que la clorita sericita es más común en sistemas intermedios a máficos (Sillitoe, 2003; Kreiner y Barton, 2009; Rieger et al., 2010; Torresi et al., 2012). Además, En muchos casos, la hidrólisis de feldespatos es incompleta, lo que produce una mezcla de sericita o clorita más K-feldespato o albita.

Por otra parte, los muestreos geoquímicos preliminares realizados en la Mina La Estrella mostrados en el capítulo 4, acusan altos contenidos de Fe con concentraciones importantes de Cu, Co, Ni, Ag y Au, y con bajas concentraciones de As. Esto es concordante con las anomalías geoquímicas vinculadas al clan IOCG (Groves et al., 2010; Barton, 2014). Cabe destacar que entre los elementos siderófilos, el Co y el Ni para los depósitos IOCG están documentados en pequeñas cantidades, típicamente asociados a pirita (0.1-2% wt), en pirrotina (cuando está presente) y localmente, en sulfuros y arseniuros discretos de Ni y Co (Monteiro et al., 2008b; Pal et al., 2009; Rusk et al., 2010). Son poco los depósitos ricos en magnetita relacionados con IOCG que presentan alto contenido en cobalto (Slack et al., 2011).

El conjunto diverso de metales traza en los depósitos de IOCG probablemente esté relacionado tanto con la participación directa variable de magmas ultra básicos como básicos derivados del manto (elementos como Ni y Co) y la lixiviación de metales de grandes volúmenes de material de la corteza (elementos como U y Zn) (Hitzman y Valenta, 2005).

La Estrella se caracteriza por abundante mineralización de magnetita masiva con sulfuros hipógenos, tales como pirita, calcopirita y bornita en menor abundancia. Townley et al. (2017) describe una mineralización masiva de magnetita, calcopirita, pirita y menor pirrotina para La Estrella, la cual asocia a un manto de remplazo en la secuencia de roca volcánica. La mineralogía impresa en este cuerpo permite asociarlo, en primera instancia, a los yacimientos que conforman al Clan IOCG.

La ubicación geográfica regional, las alteraciones hidrotermales y las concentraciones anómalas geoquímicas de La Estrella, apuntan a que el depósito pertenece al clan IOCG. No obstante, la mineralogía descrita no calza con ninguno de los dos primeros subgrupos descritos por Groves et al. (2010); el primero corresponde a un ensamblaje dominado por hematita con mineralización importante de sulfuros, acompañado de cuarzo, carbonatos de Ca-Fe-Mg, clorita, sericita y apatita. Por otro lado, el segundo se caracteriza por un ensamblaje dominado por magnetita, con contenidos de apatita, actinolita y escasos sulfuros, a veces ausentes (pirita predomina por sobre la calcopirita) (Barton, 2014).

Sin embargo, Espinoza et al. (1996) propuso una posible relación genética entre los depósitos tipo IOA e IOCG. Este permite definir a La Estrella, según su mineralogía, como parte del clan IOCG,

el cual corresponde a un depósito transitorio entre un tipo IOCG propiamente tal y uno IOA (Figura 4.3). Barton (2014) indica que la biotita y / o el feldespato K también son productos de alteración comunes en los sistemas de transición magnetita-hematita que se alojan en rocas intermedias a félsicas.

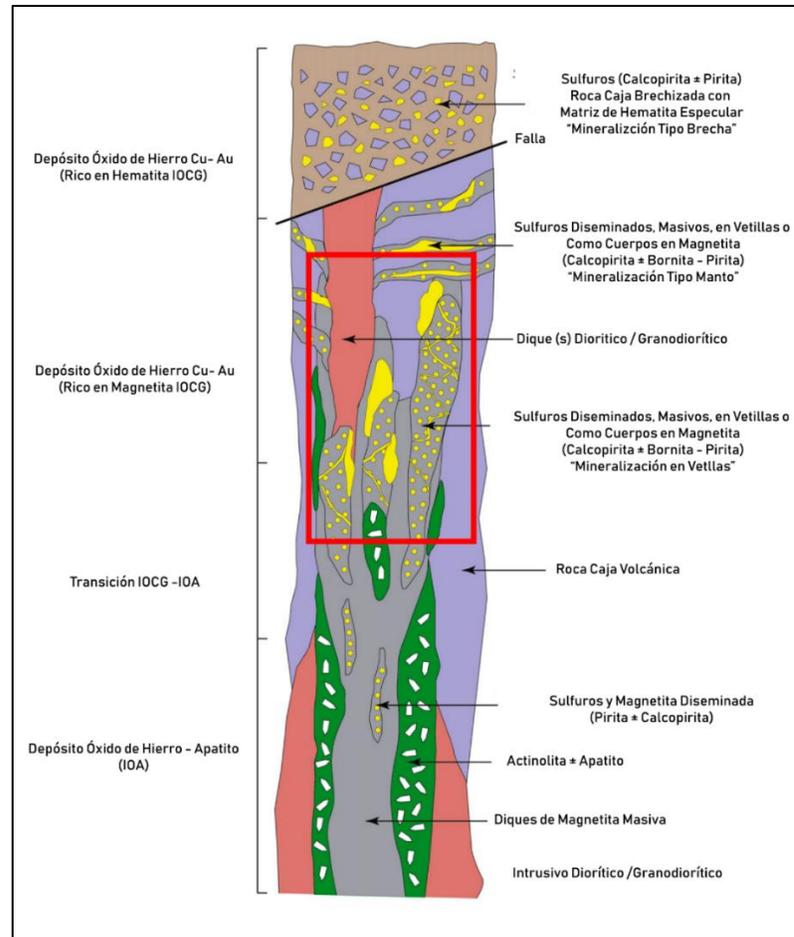


Figura 4.3: Zonificación mineral vertical que muestra la transición del depósito de óxido de hierro-apatita (IOA) en profundidad, hacia un IOCG rico en magnetita a niveles intermedios e IOCG rico en hematita en la parte superior. Se muestran los diferentes estilos de mineralización observados para los depósitos IOCG andinos. Rectángulo rojo indica la posible ubicación para el prospecto La Estrella. Modificado de Barra et al. (2017) y de Espinoza et al. (1996).

Finalmente, La Estrella se define como un depósito de óxido de hierro (IOCG) asociado a Cu, Ag, Au, Ni y Co, con abundante mineralización de magnetita y sulfuros hipógenos tales como pirita, ± calcopirita y – bornita.

Por otra parte, los depósitos IOCG, en su gran mayoría, se caracterizan por tener una relación espacial y temporal con eventos magmáticos significativos (Hitzman, 2000). Para el caso de La Estrella este evento podría estar vinculado al Complejo Plutónico Camarones (96 -91Ma) (Arévalo et al., 2009). Sin Embargo, estudios realizados por Ray y Dick (2002), definen un cuerpo intrusivo presente en La Estrella, el cual corresponde a un stock leucocrático, equigranular, de grano medio

a grueso, compuesto por 60-90% de plagioclasa con hornblenda, piroxenos y cuarzo bajo el 10%. Escolme (2016) nombra a este intrusivo como Pórfido Zapallo y mediante datación U-Pb en zircón le asigna una edad de 118.87 ± 1.19 Ma (Tabla 1.2). Esto podría significar que el cuerpo intrusivo asociado a La Estrella no sea el Complejo Plutónico Camarones, sino que el Pórfido Zapallo o ambos.

4.3 COMPARACIÓN CON DEPÓSITOS METALÍFEROS COLINDANTES

La Estrella corresponde a un depósito del clan IOCG perteneciente al dominio Fanerozoico, caracterizados por ser yacimientos generados bajo un contexto tectónico extensional (Figura 2.8). Del Real et al. (2018) indica que los depósitos IOCG más relevantes de esta zona y con mayor importancia económica, debido a su alta ley de cobre, corresponden a Candelaria con reservas totales estimadas de 408 Mt con leyes de Cu de 0,6% wt y Au 0.1 g / t (<http://www.lundinmining.com/s/Candelaria.asp>) y Mantoverde con 42,7 Mt promediando 0,58% wt Cu en óxidos y alrededor de 440 Mt al 0,56% wt Cu y Au 0.12 g / t en sulfuro (Rieger et al., 2012).

Candelaria corresponde a un depósito tipo IOCG el cual se emplaza en rocas volcánicas y volcanosedimentarias del Jurásico – Cretácico; Formación Punta del Cobre (Segerstrom y Ruiz, 1962), bajo un contexto de cuenca de tras arco. Presenta mineralización hipógena caracterizada por magnetita, calcopirita, pirita y especularita, en el cual se reconocen metales base tales como Fe, Cu, Au, Ag, Zn y LREE. Por otra parte, las alteraciones presentes en el sistema corresponden a un evento potásico; asociado a feldespatos potásico y biotita, sobreimpuesto por una alteración sódica; con presencia de albita y escapolita sódica, y una alteración cálcica; vinculada a actinolita, epidota y diópsido. La mineralización se encuentra principalmente subordinada a un control estratigráfico y a fallas con rumbo NW y NE. Por último, la mineralización de este depósito según Del Real et al. (2018) basado en datación U-Pb en circones, ocurre entre los 122 a 110 Ma (Ryan et al., 1995; Ullrich and Clark, 1998; Marschik et al., 2000; Mathur, 2002; Del Real et al., 2018).

Mantoverde, por otra parte, corresponde a un depósito IOCG hospedado en rocas volcánicas del jurásico; Formación La Negra (Gelcich et al., 2005), bajo un ambiente de arco volcánico sedimentario. La mineralización corresponde a magnetita, especularita, calcopirita y pirita, con elementos tales como Fe, Cu, Au y LREE. La alteración hidrotermal predominante en el sistema corresponde a un evento potásico y clorítico con carbonatos. El depósito se encuentra albergado entre dos estructuras principales de la Falla de Atacama con orientación NS y NW-SE que mantienen hacia el este. Mediante la datación K-Ar realizada en sericita, se determinó un periodo de mineralización que va entre a 121 ± 3 a 117 ± 3 Ma. (Vila et al., 1996; Mathur, 2002; Del Real et al., 2018).

La Estrella y Candelaria se diferencian principalmente de Mantoverde, por la edad más avanzada de la roca hospedante, la falta de una secuencia sedimentaria suprayacente, la ausencia de mineralización controlada por la litología dentro de un intervalo estratigráfico discreto, falta de una alteración calco-sódica importante y una extensión limitada de la alteración sódica. Por otra parte, estos tres depósitos presentan una naturaleza estructural relativamente similar, asociados a fallas principales con orientación NW. La mineralogía hipógena predominante para estos tres depósitos corresponde a magnetita, pirita y calcopirita, cabe mencionar que la presencia de especularita es común entre Mantoverde y Candelaria a diferencia de La Estrella; en la cual se encuentra ausente, esto podría deberse a diferentes variaciones de las condiciones redox.

Cabe mencionar que estudios realizados por Barra et al. (2016) basado en las concentraciones geoquímica de Re - Os, para diferentes depósitos que forman parte del clan andino IOCG; entre ellos Candelaria y Mantoverde, concluyeron que los depósitos IOCG (e IOA) andinos en el norte de Chile se formaron principalmente por procesos magmático-hidrotermales relacionados con la formación y emplazamiento de rocas plutónicas con contribución moderada de la lixiviación de basamento y / o rocas volcánicas hospedantes, donde los sedimentos parecen jugar sólo un papel menor en la formación del clan IOCG chileno.

4.4 CONTEXTO POTENCIAL EXPLORATORIO

La Estrella está ubicada en la Franja Ferrífera de la Cordillera de la Costa y se encuentra colindante al yacimiento Productora, correspondiente a un yacimiento de gran minería. El cuerpo mineralizado corresponde a mantos de remplazo en la secuencia de rocas volcánicas, con potencias de 1 a 2 m. Presenta mineralización importante de hierro con leyes que alcanzan el 66 % wt, con sulfuros de cobre tales como calcopirita y bornita alcanzando concentraciones de Cu de un 0,3% wt. Además, destacan concentraciones relevantes y de posible interés económico para los elementos Co, Ni, Ag y Au.

Si bien La Estrella guarda importantes similitudes con Candelaria como se ha mencionado anteriormente, esta no presenta una impronta superficial similar a la de Candelaria con una menor dimensión, por lo que esta guarda una relación más cercana con los depósitos que conforman el distrito Candelaria-Punta del Cobre, el cual corresponde al distrito más grande e importante de depósitos de óxidos de hierro Cu y Au en el cinturón IOCG chileno, donde Candelaria es el yacimiento más importante del distrito, que incluye a los otros ocho productores más pequeños (Carola, Punta del Cobre, Mantos de Cobre, Candelaria Norte, Granate, Alcaparrosa, Atacama Kozan, Las Pintadas) (Del Real et al., 2018).

La mineralización en la mayoría de los depósitos está vinculada a secciones estratigráficas de la Formación Punta del Cobre. Esta se produce en dos estilos principales, mineralización de sulfuro diseminado y en parches comúnmente alojados en horizontes estratigráficos y, en contraste, en vetas y brechas transversales que albergan la mineralización en corredores estructurales, fallas y zonas de fracturas (Del Real et al., 2018).

Las reservas minerales subterráneas totales probadas y probables para estos depósitos son las siguientes (Tabla 4.1).

Tabla 4.1: Tonelaje y Ley de cobre roca total para los depósitos que conforman el distrito de IOCG Candelaria-Punta del Cobre (Del Real et al., 2018)

Depósito	Tonelaje	Ley Cu roca total	Referencia
Carola	60.7 Mt	1.16%	Personal de Carola; comunicación personal
Punta del Cobre	180 Mt	0.9%	Personal de Pucobre; comunicación personal
Mantos de Cobre	16 Mt	0.85%	Personal de Pucobre; comunicación personal
Candelaria Norte	65.697 Mt	0.89%	Couture et al., 2017
Granate	15 Mt	0.8%	Personal de Pucobre; comunicación personal
Alcaparrosa	10.215Mt	0.77%	Couture et al., 2017
Atacama Kozan	30 Mt	1.5%	Ichii et al., 2007
Las Pintadas	4 Mt	1.0–1.5%	Marschik y Fontbote, 2001a
Candelaria	408 Mt	0.6%	http://www.lundinmining.com/s/Candelaria.asp

5 CONCLUSIONES

Las alteraciones hidrotermales presentes en el depósito La Estrella están caracterizadas inicialmente por metasomatismo de K, Ca y Na y eventos posteriores de alteración clorita-sericita y supérgena. La alteración potásica se reconoce principalmente a profundidades mayores a 40 m rodeando al cuerpo mineralizado, abarcando grandes extensiones y caracterizado por abundante feldespato potásico y biotita, también acompaña la mineralización de magnetita caracterizándose por abundante biotita intercrecida con magnetita. La alteración calco-sódica, se manifiesta colindante con el cuerpo mineralizado a niveles relativamente somero, con presencia de actinolita y albita principalmente.

En base a la distribución espacial de la alteración calco-sódica y al mapa de alteraciones, se propone esta alteración como un indicador de potencial exploratorio. La presencia abundante de limonitas (hematita, goethita y jarosita) en superficie es también un buen indicador de zonas ricas en Fe. La Estrella Corresponde a un depósito de 4,69 millones de toneladas con altos contenidos de Fe promedio total (66% wt); asociada a magnetita, con concentraciones de Cu importantes (~0,3% wt) como sulfuros hipógenos; calcopirita y bornita, y de enriquecimiento secundario; calcosina. Además, cuenta con elementos de potencial económico como Au, Ag, Ni y Co. Por lo cual, corresponde a un depósito polimetálico variado y valioso.

La mineralización esta hospedada en rocas volcánicas andesíticas del Cretácico Superior, en particular en rocas de la Formación Punta del Cobre y esta flanqueada por un conjunto de intrusivos andesíticos y rocas granodioríticas por el este. La Estrella corresponde a un depósito tipo IOCG rico en magnetita con contenido de Cu – Au. Basado en el modelo planteado por Espinoza et al. (1996), corresponde a la zona intermedia-somera del modelo de zonación vertical IOA-IOCG. Esto debido principalmente a la asociación magnetita, pirita, actinolita, calcopirita, bornita, escasa hematita y apatito en muy baja proporción. La mineralización de hierro y sulfuros se encuentra subordinada principalmente a un control estratigráfico, presentándose en forma de mantos mineralizados. También se reconoce un control estructural para vetas de cuarzo-Au y vetillas polidireccionales de magnetita de menor importancia.

En base a estudios realizados en los depósitos más sustanciales del clan IOCG Andino de la Cordillera de la Costa; Mantoverde, Candelaria y distrito Candelaria-Punta del Cobre, se concluye que La Estrella guarda una íntima relación con el depósito del distrito Candelaria-Punta del Cobre. Presentando múltiples similitudes, tales como, roca huésped correspondiente a la formación Punta del Cobre, un control estructural subordinado al Sistema de Falla de Atacama ligado a fallas con orientación NW principalmente, un estilo de mineralización dominado por la estratigrafía, alteración potásica y calco-sódica importante, y una mineralogía similar caracterizada por magnetita, calcopirita y pirita, con concentraciones importantes de Au y Ag.

Finalmente, en base a los estudios realizados y aquí presentados, se plantea que el yacimiento La Estrella si bien es pequeño, presenta un relevante potencial exploratorio que ameritan trabajos de exploración en profundidad, que permitan realizar una mejor estimación de los recursos existentes.

6 BIBLIOGRAFÍA

1. **Aguirre-Urreta, M.B.; Mourgues, F.A.; Rawson, P.F.; Bulot, L.G.; Jaillard, E.** (2007). The Lower Cretaceous Chañarcillo and Neuquén Andean basins: ammonoid biostratigraphy and correlations. *Geological Journal* v.42, p. 143-173.
2. **Arévalo, C.; Grocott, J.; Welkner, D.** (2003). The Atacama Fault System in the Huasco Province, Southern Atacama Desert, Chile. In Congreso Geológico Chileno, No. 10, CD-ROM. Concepción.
3. **Arévalo, C., Welkner, D.** (2008). Geología del Área Carrizal Bajo-Chacritas Región de Atacama. Carta Geológica de Chile. Servicio Nacional de Geología y Minería. Escala: 1:100.000. Serie Geológica Básica, p.111.
4. **Arévalo, C., Mourgues, O., Chávez, R.** (2009). Geología del área Vallenar-Domeyko. Región de Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica No. 120, mapa escala 1:100.000. p. 7-20.
5. **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, p.23-25.
6. **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*, v.81, p.62–78.
7. **Barton, M.D., Johnson, D.A.** (1996). Evaporitic source model for igneous related Fe oxide-(REE-Cu-Au-Au) mineralization: *Geology*, v. 24, p. 259–262.
8. **Barton, M.D., Johnson, D.A.** (2000). Alternative brine sources for Fe-oxide (Cu–Au) systems: Implications for hydrothermal alteration and metals. In: Porter TM (ed.) *Hydrothermal Iron Oxide Copper–Gold and Related Deposits: A Global Perspective*, p. 43–60. Glenside, SA: Australian Mineral Foundation
9. **Barton, M.D.** (2014). Iron Oxide(-Cu-Au-REE-P-Ag-U-Co) Systems, *Treatise on Geochemistry*, Elsevier, v. 13, p. 515–541.

10. **Berg, K. and Breitzkreuz, C.** (1983). Mesozoische Plutone in der nordchilenischen Küstenkordillere: Petrogenese, Geochronologie, Geochemie und Geodynamik mittelbetonter Magmatite. *Geotektonische Forschungen*, v. 66, p. 107.
11. **Brown, M., Díaz, F., Grocott, J.** (1993). Displacement history and tectonic significance of the El Salado segment of the Atacama Fault System, Northern Chile. *GSA Bulletin*, v.105, p.1165–1174.
12. **Camus, F.** (2003). Geología de los sistemas Porfíricos en los Andes de Chile. SERNAGEOMIN. p.267. Santiago
13. **Charrier, R.; Pinto, L.; Rodriguez, M.** (2007). Tectonostratigraphic evolution of the Andean Orogen in Chile. *The Geology of Chile* (Moreno, T.; Gibbons, W. editors). The Geological Society: p.21-114. Londres.
14. **Charrier, R.; Farías, M.; Maksaev, V.** (2009). Evolución tectónica, paleogeográfica y metalogénica durante el Cenozoico en los Andes de Chile Norte y Central e implicaciones para las regiones adyacentes de Bolivia y Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*. v. 65, (1), p.5-35.
15. **Corbett, G.J., Leach, T.M.** (1998). Chapter 4 Controls on Hydrothermal Alteration and Mineralisation, in Corbett, G.J., and Leach, T.M., eds., *Southwest Pacific Rim Gold-Copper Systems: Structure, Alteration, and Mineralization*, Special Publication: Littleton, Colorado, Society of Economic Geologists, 236p.
16. **Couture, J.F., Cole, G., Zhang, B., Nilsson, J., Dance, A., Scott, C., Vidal, M.I.** (2017), Technical Report for the Candelaria Copper Mining Complex, Atacama Province, Region III, Chile: 43-101 Report Prepared for Lundin Mining Corporation.
17. **Creixell, C., Fuentes, J., Bierma, H., Salazar, E.** (2015). Tectónica regional y metalogénesis asociada al emplazamiento de la franja de pórfidos cupríferos cretácicos del norte de Chile (28°-30°S). *XIV Congreso Geológico Chileno*. p. 134.
18. **Dallmeyer, D., Brown, M., Grocott, J., Taylor, G. and Treloar, P. J.** (1996). Mesozoic magmatic and tectonic events within the Andean Plate boundary zone, 26°–27°30pS, North Chile: constraints from $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ mineral ages. *The Journal of Geology*, v. 104, p. 19–40.

19. **Del Rey, A., Deckart, C., Arriagada, C. Martínez, F.** (2016). Resolving the paradigm of the late Paleozoic–Triassic Chilean magmatism: Isotopic approach. *Gondwana Research*. V.37, p. 172–181.
20. **Einaudi, M.T., Oreskes, N.** (1990). Progress towards an occurrence model for Proterozoic iron-oxide (Cu, U, REE, Au) deposits – A comparison between the ore provinces of South Australia and SE Missouri. In: Pratt WP and Sims PK (eds.) *The Mid-continent; Permissive Terrain for an Olympic Dam Deposit*, U.S. Geological Survey Bulletin, v. 1932, p. 58–69.
21. **Escolme, A.**, 2016, *Geology, geochemistry and geometallurgy of the Productora Cu-Au-Mo deposit, Chile*: Ph.D. thesis, Hobart, Tasmania, University of Tasmania, p. 313.
22. **Escolme, A., and Cooke, D.R.** (2020). The Productora Cu-Au-Mo Deposit, Chile: A Mesozoic Magmatic-Hydrothermal Breccia Complex with Both Porphyry and Iron Oxide Cu-Au Affinities, *Society of Economic Geologists*, v.115, no. 3, p. 543-580.
23. **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*. Springer, Berlin, p. 353–364.
24. **Espinoza, R.S., Véliz, G.H., Esquivel, L.J., Arias, F.J., Moraga, B.A.** (1996). The cupriferous province of the Coastal Range, northern Chile. In: Camus, F., Sillitoe, R.H., Petersen, R. (Eds.), *Andean Copper Deposits: New Discoveries, Mineralization Styles and Metallogeny*. *Society of Economic Geologist* 5, p. 19–32.
25. **Fox, K.A.** (2000). Fe-oxide (Cu-U-Au-REE) Mineralization and Alteration at the Productora Prospect. *Colorado School of Mines*, p.144.
26. **García, C.** (1991). *Geología del sector de quebrada El Teniente, Región de Coquimbo*. Memoria, Departamento de Geología, Universidad de Chile, Santiago.
27. **Gelcich, S., Davis, D.W., Spooner, E.T.C.** (2005). Testing the apatite-magnetite geochronometer: U-Pb and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology of plutonic rocks, massive magnetite-apatite tabular bodies, and IOCG mineralization in Northern Chile: *Geochimica Cosmochimica, Acta* 69, p. 3367–3384.
28. **Gipson, M.; Taylor, G.K.; Grocott, J.** (2003). New palaeomagnetic results and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology from the Vallenar region (29°S), N. Chile. In *General Assembly*

of the European Geophysical Society, No. 27, Actas 4, Abstract No. EGS02- A-06020. Nice, France.

29. **Grocott, J., Brown, M., Dallmeyer, R. D., Taylor, G. K. & Treloar, P. J.** (1994). Mechanism of continental growth in extensional arcs: An example from de Andean plate-boundary zone. *Geology*, v. 22, p. 391–394.
30. **Grocott, J. and Taylor, G. K.** (2002). Magmatic arc fault systems, deformation partitioning and emplacement of granitic complex in the Coastal Cordillera, north Chilean Andes (25°30p to 27°00pS). *Journal of the Geological Society, London*, v.159, p.425–442.
31. **Groves, D.I., Bierlein, F.P., Meinert, L.D., Hitzman, M.W.** (2010). Iron oxide copper-gold (IOCG) deposits through earth history: implications for origin, lithospheric setting, and distinction from other epigenetic iron oxide deposits. *Economic Geology*, v. 105, p. 641–654.
32. **Hemley, J.J., Montoya, J.W., Marinenko, J.W., Luce, R.W.** (1980). Equilibria in the system Al₂O₃ SiO₂-H₂O and some general implications for alteration/mineralization processes: *Economic Geology*, v. 75, p. 210–228.
33. **Henriquez, G.** (2013). Antecedentes Climáticos III Región de Atacama. Centro de Información de Recursos Naturales.
34. **Hervé, M.** (1987a). Movimiento normal de la falla Paposo, Zona de Falla de Atacama, en el Mioceno, Chile. *Revista Geológica de Chile*, v. 31, p. 31–36.
35. **Hervé, F., Godoy, E., Parada, M. A., Ramos, V., Rapela, C., Mpodozis, C. Davidson, J. A.** (1987). A general view of the Chilean-Argentine Andes, with emphasis on their early history. In: MONGER, J. W. H. & FRANCHETEAU, J. (eds) *Circum-Pacific Orogenic Belts and the Evolution of the Pacific Ocean Basin*. *Geodynamics Series* v.18, p.97–113.
36. **Hitzman, M.W., Oreskes, N., Einaudi, M.T.** (1992). Geological characteristics and tectonic setting of Proterozoic iron oxide (Cu-U-Au-REE) deposits: *Precambrian Research*, v. 58, p. 241–287.
37. **Hitzman, M.C.** (2000). Iron oxide–Cu–Au deposits: What, where, when, and why? In: Porter TM (ed.) *Hydrothermal Iron Oxide Copper–Gold and Related Deposits: A Global Perspective*, v. 1, p. 9–25. Adelaide: PGC Publishing

38. **Hitzman, M.W., Valenta, R.K.** (2005). Uranium in iron oxide copper–gold (IOCG) systems. *Economic Geology* 100: 1657–1661.
39. **Hoffstetter, R.; Fuenzalida, H.; Cecioni, G.** (1957). *Lexique Stratigraphique International Amérique Latine*. Paris. Centre National de la Recherche Scientifique 5 (7), p. 444.
40. **Ichii, Y., Abe, A., Ichige, Y., Matsunaga, J., Miyoshi, M.** (2007). Copper exploration of the Atacama Kozan Mine, Region III, Chile: *Shigen-Chishitsu*, v. 57, p. 1–14.
41. **J.J.W., Santosh, M.** (2004). *Continents and supercontinents*: Oxford, Oxford University Press, p. 328.
42. **Johnson, D.A., Barton, M.D.** (2000). Time-space development of an external brine-dominated, igneous-driven hydrothermal system; Humboldt mafic complex, western Nevada. *Society of Economic Geologists Guidebook* 32: p.127–143
43. **Juliá, C., Montecinos, S., Maldonado, A.** (2008). Característica Climática de la Región de Atacama. En *Libro Rojo de la Flora Nativa y de los Sitios Prioritarios para su Conservación: Región de Atacama*. Edición Universidad de La Serena, La Serena, Chile. v. 3, p. 35-42.
44. **Kerrich, R., Goldfarb, R.J., Richards, J.P.** (2005). Metallogenic provinces in an evolving dynamic framework: *ECONOMIC GEOLOGY 100TH ANNIVERSARY VOLUME*, p. 1097–1136.
45. **Kuyvenhoven, R.** (2019). Caracterización química-mineralógica y definición de rendimiento metalúrgico de mezclas de mineral de La Estrella. Informe final interno SMI-ICE Chile. p. 2-23.
46. **Knipping, J.L., Bilenker, L.D., Simon, A.C., Reich, M., Barra, F., Deditius, A.P., Lundstrom, C., Bindeman, I., Munizaga, R.** (2015). Giant Kiruna-type deposits form by efficient flotation of magmatic magnetite suspensions. *Geology* v.43, p.591–594.
47. **Kreiner, D.C., Barton, M.D.** (2009). Hydrothermal Alteration and Mineralization Zoning in Iron-Oxide (-Cu-Au) Vein Deposits , near Copiapó , Chile: 10th Biennial SGA Meeting, extended abstract, p. 635–639.

48. **Maksaev, V., Townley, B., Palacios, C., Camus, F.** (2007). Metallic ore deposits, in Moreno, T., and Gibbons, W., eds., *The Geology of Chile*, The Geological Society, London, p. 179–199.

49. **Maksaev, V., Almonacid, T., Munizaga, F., Valencia, V.** (2010). Geochronological and thermochronological constraints on porphyry copper mineralization in the Domeyko alteration zone, northern Chile: *Andean Geology*, v. 37, p. 144–176.

50. **Marinovic, N., Smoje, I., Maksaev, V., Hervé, M., Mpodozis, C.** (1995). Hoja Aguas Blancas, Región de Antofagasta. Servicio Nacional de Geología y Minería, Santiago, Carta Geológica de Chile, p.70.

51. **Marschik, R., Leveille, R. A., Martin, W.** (2000). La Candelaria and the Punta del Cobre district, Chile: Early Cretaceous iron oxide Cu-Au (-Zn- Ag) mineralization, in Porter, T.M., ed., *Hydrothermal Iron-Oxide Copper- Gold and Related Deposits: A Global Perspective*: Adelaide, Australian Mineral Foundation, p. 163–175.

52. **Marschik, R., Fontbote, L.** (2001a). The Candelaria-Punta del Cobre Iron Oxide Cu-Au (- Zn-Ag) deposits, Chile: *Economic Geology*, v. 96, p. 1799–1826.

53. **Masterman, G.** (2003). Structural and geochemical evolution of the Rosario Cu-Mo porphyry deposit and related Cu-Ag veins, Collahuasi district, northern Chile: Unpublished PhD thesis, Hobart, Australia, University of Tasmania, p. 253.

54. **Mathur, R., Marschik, R., Ruiz, J., Munizaga, F., Leveille, R.A., Martin, W.** (2002). Age of mineralization of the Candelaria Fe oxide Cu-Au deposit and the origin of the Chilean iron belt, based on Re-Os isotopes. *Econ. Geol.* 97, p.59–71.

55. **Monteiro, L.V.S., Xavier, R.P., Hitzman, M.W., Juliani, C., de Souza Filho, C.R., and Carvalho, E.** (2008b). Mineral chemistry of ore and hydrothermal alteration at the Sossego iron oxide–copper–gold deposit, Carajas mineral province, Brazil. *Ore Geology Reviews* 34: p.317–336.

56. **Mourgues, F.A.** (2007a). Paléontologie stratigraphique (Ammonites) et évolution tectono-sédimentaire du bassin d’arrière arc de Chañarcillo (Berriasien-Albien, Nord du Chili). Thèse de doctorat (Inédit), Université de Toulouse III, p. 295.

57. **Mourgues, F.A.** (2007b). *Sabaudiella Vasicek & Hoedemaeker* (Ancyloceratidae, Ammonoidea) in the Andean Lower Cretaceous Chañarcillo back-arc basin, northern Chile.

In Proceedings of 4th European Meeting on the Palaeontology and Stratigraphy of Latin America. Cuadernos del Museo Geominero, Instituto Geológico y Minero de España (Díaz-Martínez, E.; Rabano, I.; editors) 8: p.267-271. Madrid.

58. **Naranjo, J. A.** (1987). Interpretación de la actividad cenozoica superior a lo largo de la Zona de Falla de Atacama, norte de Chile. *Revista Geológica de Chile*, v. 31, p.43–55.
59. **Nyström, J. O. & Henríquez, F.** (1994). Magmatic features of iron ores of the Kiruna type in Chile and Sweden. Ore textures and magnetite geochemistry. *Economic Geology*, v. 89, p. 820–839.
60. **Pal, D.C., Barton, M.D., and Sarangi, A.K.** (2009). Deciphering a multistage history affecting U–Cu–Fe mineralization in the Singbhum Shear Zone, eastern India, using pyrite textures and compositions in the Turamdih U–Cu–Fe deposit. *Mineralium Deposita* 44: p.61–80.
61. **Pass, H.E.** (2010). Breccia-hosted chemical and mineralogical zonation patterns of the Northeast Zone, Mt. Polly Cu-Ag-Au alkalic porphyry deposit, British Columbia, Canada: Unpublished PhD thesis, Hobart, Tasmania, University of Tasmania, p. 276.
62. **Perring, C.S., Pollard, P.J., Dong, G., Nunn, A.J., Blake, K.L.** (2000). The Lightning Creek Sill Complex, Cloncurry District, Northwestern Queensland: A source of fluids for the Fe oxide Cu–Au mineralization and sodic–calcic alteration. *Economic Geology* 95: p.1067–1089.
63. **Porter, T.M.** (2010a). Current understanding of iron oxide associated-alkali altered mineralised systems: Part II, a review. In: Porter TM (ed.) *Hydrothermal Iron Oxide Copper–Gold and Related Deposits: A Global Perspective*, v. 3, p. 33–106. Adelaide: PGC Publishing.
64. **Quevedo, J.** (2020). Concentración y distribución de cobalto en piritas del depósito mineral IOCG La Estrella, Región de Atacama, Chile. Thesis, Santiago, Chile, Universidad Mayor.
65. **Ray, G.E., and Dick, L.A.** (2002). The Productora prospect in north-central Chile: An example of an intrusion-related, Candelaria type Fe-Cu-Au hydrothermal system, in Porter, T.M., ed., *Hydrothermal Iron Oxide, Copper-Gold & Related Deposits A Global Perspective*, v.2: Adelaide, PGC Publishing, p. 131-151.

66. **Real, I.D., Thompson, J.F.H., Carriedo, J.** (2018). Lithological and structural controls on the genesis of the Candelaria-Punta del Cobre Iron Oxide Copper Gold district, Northern Chile. *Ore Geology Reviews*.
67. **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.* v.111, p.743–761.
68. **Reyes, M.** (1991). The Andacollo strata-bound gold deposit, Chile, and its position in a porphyry copper-gold system, *Economic Geology*, v.8, no.6, p. 1301-1316.
69. **Rieger, A.A., Marschik, R., Díaz, M., Hölzl, S., Chiaradia, M., Akker, B., Spangenberg, J.E.** (2010). The hypogene iron oxide copper-gold mineralization in the Mantoverde district, northern Chile: *Economic Geology*, v. 105, p. 1271–1299.
70. **Rieger, A.A., Marschik, R., Diaz, M.** (2012). The evolution of the hydrothermal IOCG system in the Mantoverde district, northern Chile: New evidence from microthermometry and stable isotope geochemistry: *Mineralium Deposita*, v. 47, p. 359–369.
71. **Rogers, J.J.W., and Santosh, M.** (2004). *Continents and supercontinents*: Oxford, Oxford University Press, p. 328.
72. **Rojas P., Barra F., Reich M., Deditius A., Simon A., Uribe F., Romero R. Rojo M.** (2018b). A genetic link between magnetite mineralization and diorite intrusion at the El Romeral iron oxide-apatite deposit, northern Chile. *Miner. Deposita*, p.1–20.
73. **Ruiz, C., Aguirre, L., Corvalan, J., Klohn, C., Klohn, E., and Levi, B.** (1965). *Geología y Yacimientos Metalíferos de Chile*: Instituto de Investigaciones Geológicas de Chile: Santiago, v. 1.
74. **Rusk, B.G., Oliver, N.H.S., Cleverley, J.S., et al.** (2010) Physical and chemical characteristics of the Ernest Henry iron oxide copper gold deposit, Australia; implications for IOCG genesis. In: Porter TM (ed.) *Hydrothermal Iron Oxide Copper–Gold and Related Deposits: A Global Perspective*, v. 3, p. 201–218. Adelaide: PGC Publishing.
75. **Ryan, P.J., Lawrence, A.L., Jenkins, R.A., Matthews, J.P., Zamora, J.C., Marino, E., Urqueta, I.** (1995). The Candelaria copper-gold deposit, Chile, *in* Pierce, F.W., and Bolm,

J.G., eds., *Porphyry Copper Deposits of the American Cordillera: Arizona Geological Society Digest*, v. 20, p. 625–645.

76. **Scheuber, E., Andriessen, P.A.M.** (1990). The kinematic and geodynamic significance of the Atacama fault zone, northern Chile. *Journal of Structural Geology*, v. 12, p. 243–257.
77. **Scheuber, E., Reutter, K. J.** (1992). Magmatic arc tectonic in the central. Andes between 21° and 25°S. *Tectonophysics*, v. 205, p. 127–140.
78. **Seedorff, E., Dilles, J., Proffett, J., Einaudi, M., Zurcher, L., Stavast, W., Johnson, D., Barton, M.** (2005). Porphyry deposits: Characteristics and origin of hypogene features: *Economic Geology 100th Anniversary Volume*, p. 251–298.
79. **Segerstrom, K.** (1959). Cuadrángulo Los Loros. Instituto de Investigaciones Geológicas, Santiago, *Carta Geológica de Chile*, 1, no. 1, 1:50.
80. **Segerstrom, K.** (1962). Regional geology of the Chañarcillo silver mining district and adjacent areas, Chile. *Economic Geology*, v. 57, p. 1247–1261.
81. **Sillitoe.** (2003). Iron oxide-copper-gold deposits: an Andean view. *Mineralium Deposita*. v.38, p.787-812.
82. **Sillitoe, R.H.; Perelló, J.** (2005). Andean copper province: tectonomagmatic settings, deposit types, Metallogeny, exploration, and discovery. *In Economic Geology One Hundredth Anniversary Volume* (Hedenquist, J.W.; Thompson, J.F.H.; Goldfarb, R.; Richards, J.; editors). Society of Economic Geologists: 845-890. Littleton, Colorado, USA.
83. **Slack, J.F., Johnson, C.A., Lund, K.I., Schulz, K.J., Causey, J.D.** (2011). A new model for Co–Cu–Au deposits in metasedimentary rocks: An IOCG connection? In: *Proceedings of the 11th Biennial Meeting of the Society for Geology Applied to Ore Deposits*, p. 491–493. Antofagasta, Chile: Society for Geology Applied to Ore Deposits
84. **SW-ENAMI.** (2011). ESTUDIO DE DIAGNÓSTICO GEOLÓGICO DISTRITAL, DISTRITO “EL ZAPALLO”, REGIÓN DE ATACAMA, INFORME FINAL, South World Minning S.A

85. **Taylor, G. K., Grocott, J., Pope, A. & Randall, D. E.** (1998). Mesozoic fault systems, deformation and fault block rotation in the Andean forearc: a crustal scale strike-slip duplex in the Coastal Cordillera of northern Chile. *Tectonophysics*, v. 299, p. 93–109.

86. **Thiele, R., Hervé, F.** (1984). Sedimentación y Tectónica de antearco en los terrenos preandinos del Norte Chico, Chile. *Revista Geológica de Chile*, v. 22, p. 61–75.

87. **Thiele, R., Pincheira, M.** (1987). Tectónica transpresiva y movimiento de desgarre en el segmento sur de la Falla de Atacama, Chile. *Revista Geológica de Chile*, v. 31, p. 77–94.

88. **Torresi, I., Xavier, R.P., Bortholoto, D.F.A., Monteiro, L.V.S.** (2012). Hydrothermal alteration, fluid inclusions and stable isotope systematics of the Alvo 118 iron oxide–copper–gold deposit, Caraja´s mineral province (Brazil). Implications for ore genesis. *Mineralium Deposita* 47: p.299–323.

89. **Townley, B., Díaz A., Luca, R.** (2017). Evaluación de potenciales recursos primarios o subproductos de Co y Mn en Chile. CORFO, AMTC, Universidad de Chile, p. 45-50.

90. **Ullrich, T. D., and Clark, A. H.** (1998). Evolution of the Candelaria Cu-Au deposit, III Region, Chile: Geological Society of America Abstracts with Program, v. 30, p. A-75.

91. **Valenzuela, J.** (2002). Caracterización, geocronología y mecanismos de emplazamiento del Batolito de la Costa en Vallenar (28°22'-28°41'S y 70°45'-71°7'W), III Región, Chile. Memoria de Título (Inédito), Universidad de Concepción: p. 118.

92. **Vila, T.** (1996). Geology of the Manto Verde copper deposit, northern Chile: a specularite rich, hydrothermal-tectonic breccia related to the Atacama fault zone: *Economic Geology Special Publication*, v. 5, p. 157–169.

93. **Vivallo, W., Henríquez, F.** (1997). Relación genética entre los yacimientos estratoligados de Cu (“Tipo Manto”), de Cu-Fe±Au y hierro de Tipo Kiruna. *Actas de VIII Congreso Geológico Chile, V. II*, p.1189-1193.

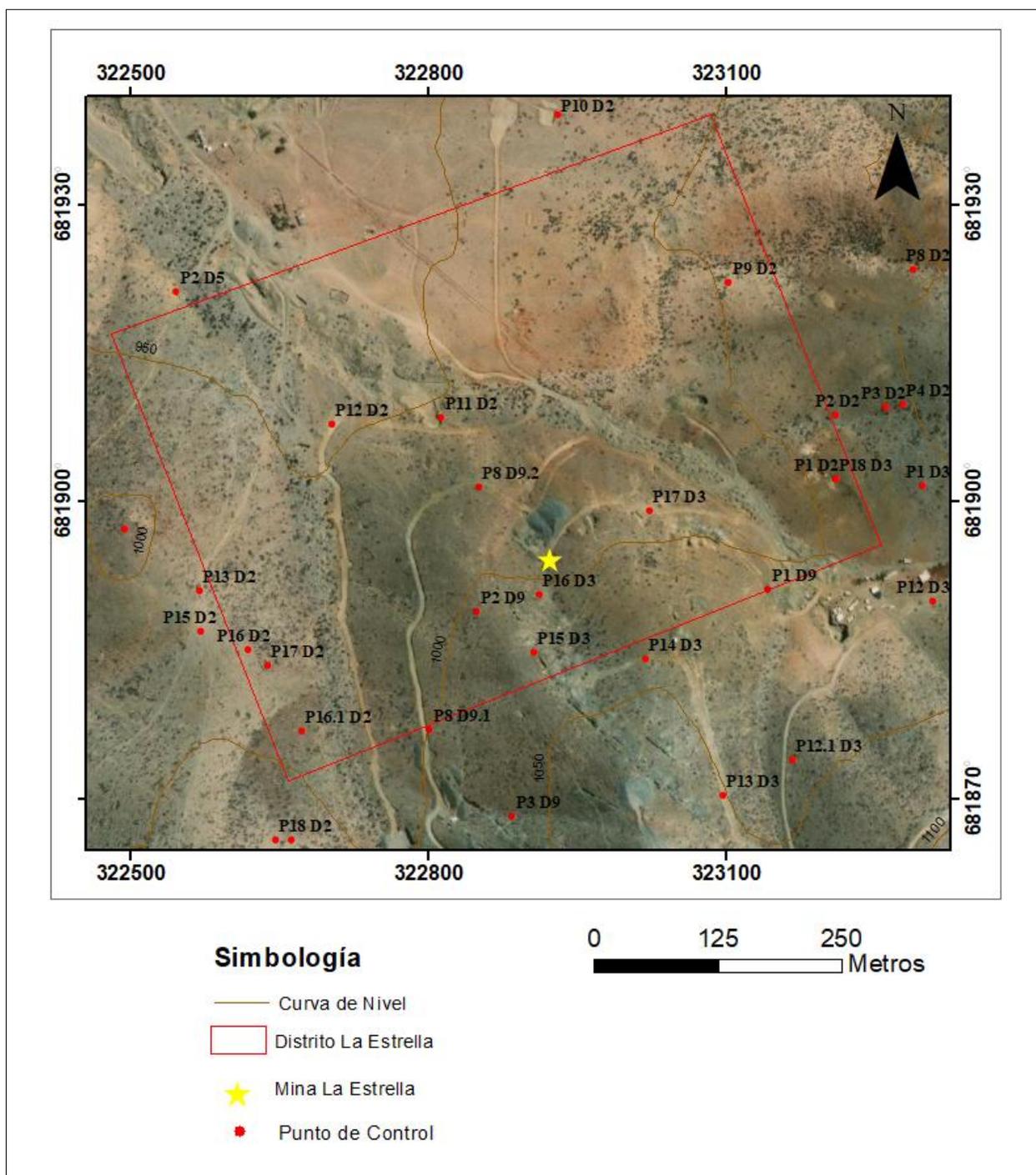
94. **Williams, P.J., Barton, M.D., Fontbote, L., et al.** (2005). Iron-oxide–copper–gold deposits: Geology, space–time distribution, and possible modes of origin. *Economic Geology 100th Anniversary Volume*, p. 371–406.

95. **Williams, P.J.** (2010a). Classifying IOCG Deposits. *Short Course Notes*, v.20, p.23–38. Canada: Geological Association of Canada.

Anexo I: Descripción muestra de mano

A continuación, se presentan las 36 muestras recopiladas en superficie, con las cuales se levantó la información para generar el mapa geológico y de alteraciones.

En el siguiente mapa se visualizan los puntos de control en superficie, en los cuales se realizó toma de muestras, descripción de afloramientos e interpretación.



1. Muestra D2M1

Muestra:	D2 M1	
Ubicación:	323211/6819023	
Tipo de Roca:	Mineralizada	
Alteración:	Pervasiva	
Mineralogía:	Arcillas (85%), caolinita (10%) y limonita (5%)	
Observaciones:	Roca fácilmente disgregable	
Nombre:	Roca alterada penetrativamente	

2. Muestra D2M2

Muestra:	D2 M2	
Ubicación:	323211/6819023	
Tipo de Roca:	Mineralizada	
Alteración:	Pervasiva	
Mineralogía:	Goethita (70%), jarosita (20%) y goethita (10%)	
Observaciones:		
Nombre:	Roca alterada penetrativamente	

3. Muestra D2M3

Muestra:	D2 M3	
Ubicación:	322245/6819088	
Tipo de Roca:	Volcánica	
Alteración:	Alteración propilitica moderada-débil y selectiva	
Mineralogía:	Plagioclasa (40%), cuarzo (15%), biotita (5%) y masa fundamental (40%).	
Observaciones:	Textura porfídica. Masa fundamental propilitizada. Cristales de biotita alterados a clorita y epidota.	
Nombre:	Andesita porfídica / alteración potásica	

4. Muestra D2M4

Muestra:	D2 M4	
Ubicación:	323262/6819096	
Tipo de Roca:	Mineralizada	
Alteración:	Pervasiva	
Mineralogía:	Magnetita (75%), hematita (15%), goethita (5%) y jarosita (5%)	
Observaciones:	Se reconoce un protolito andesítico alterado fuertemente a clorita (alteración propilítica)	
Nombre:	Magnetita masiva	

5. Muestra D2M5

Muestra:	D2 M5	
Ubicación:	323279/6819099	
Tipo de Roca:	Volcánica / mineralizada	
Alteración:	Alteración propilítica moderada y selectiva. Alteración sódica y selectiva	
Mineralogía:	Plagioclasa (40%), cuarzo (15%) y masa fundamental (45%).	
Observaciones:	Textura porfídica. Masa fundamental está alterada a clorita. Presencia de pátinas de goethita, jarosita y limonita. Plagioclasas albitizadas.	
Nombre:	Andesita porfídica / alteración potásica	

6. Muestra D2M6

Muestra:	D2 M6	
Ubicación:		
Tipo de Roca:	Volcánica / mineralizada	
Alteración:	Alteración propilítica moderada y selectiva. Alteración sódica selectiva	
Mineralogía:	Plagioclasa (40%), cuarzo (15%) y masa fundamental (45%).	
Observaciones:	Textura porfídica. Masa fundamental está alterada a clorita. Presencia de pátinas de goethita y jarosita. Plagioclasas albitizadas	
Nombre:	Andesita porfídica / alteración potásica	

7. Muestra D2M7

Muestra:	D2 M7	
Ubicación:	323499/6819232	
Tipo de Roca:	Volcánica (plutónica)	
Alteración:	Alteración propilítica débil y selectiva. seritización débil y selectiva.	
Mineralogía:	Plagioclasa (60%), cuarzo (30%), feldespato potásico (5%) y biotita (5%).	
Observaciones:	Biotitas se encuentran alteradas a goethita y jarosita (oxidadas). Cristales de biotita alterados a clorita y epidota. Cristales de plagioclasa alterado a arcillas.	
Nombre:	Granodiorita de biotita	

8. Muestra D2M8

Muestra:	D2 M8	
Ubicación:	323499/6819232	
Tipo de Roca:	Volcánica (plutónica)	
Alteración:	Alteración propilítica débil y selectiva. seritización débil y selectiva.	
Mineralogía:	Plagioclasa (60%), cuarzo (15%), feldespato potásico (20%) y biotita (5%).	
Observaciones:	Biotitas se encuentran alteradas a goethita y jarosita (oxidadas). Cristales de biotita alterados a clorita y epidota. Cristales de plagioclasa alterado a arcillas.	
Nombre:	Granodiorita de biotita	

9. Muestra D2M9

Muestra:	D2 M9	
Ubicación:	323366/6819308	
Tipo de Roca:	Volcánica (plutónica)	
Alteración:	Alteración propilítica débil y selectiva. seritización débil y selectiva.	
Mineralogía:	Plagioclasa (60%), cuarzo (22%), feldespato potásico (8%) y biotita (10%).	
Observaciones:	Biotitas se encuentran alteradas a goethita y jarosita (oxidadas). Cristales de biotita alterados a clorita y epidota. Cristales de plagioclasa alterado a arcillas.	
Nombre:	Granodiorita de biotita	

10. Muestra D2M10

Muestra:	D2 M10	
Ubicación:	322813/6819085	
Tipo de Roca:	Mineralizada	
Alteración:	Alteración propilítica pervasiva, alteración potásica selectiva y alteración cálcica pervasiva	
Mineralogía:	Clorita (65%), epidota (10%), feldespato potásico (20%) y actinolita (5%).	
Observaciones:	Protolito andesítico porfídico prácticamente no conservado, con matriz fundamental propilitizada.	
Nombre:	Intercrecimiento de clorita/epidota/feldespato potásico/actinolita	

11. Muestra D2M11

Muestra:	D2 M11	
Ubicación:	322813/6819085	
Tipo de Roca:	Volcánica / mineralizada	
Alteración:	Alteración propilítica pervasiva, alteración sódica fuerte y selectiva	
Mineralogía:	Plagioclasa (30%), cuarzo (10%) y masa fundamental (60%).	
Observaciones:	Textura porfídica. Masa fundamental alterada a clorita-epidota. Plagioclasas albitizadas. Presencia de jarosita. Roca presenta magnetismo débil	
Nombre:	Andesita porfídica / alteración propilítica	

12. Muestra D2M12

Muestra:	D2 M12	
Ubicación:	322570/6818911	
Tipo de Roca:	Volcánica / Mineralizada	
Alteración:	Alteración propilítica pervasiva, alteración sódica fuerte y selectiva, alteración sódica pervasiva.	
Mineralogía:	Plagioclasa (35%), cuarzo (12%) y masa fundamental (50%).	
Observaciones:	Textura porfídica. Masa fundamental alterada a clorita-epidota. Plagioclasas albitizadas. Presencia de jarosita y hematita. Roca presenta magnetismo débil	
Nombre:	Andesita porfídica / alteración propilítica	

13. Muestra D2M13

Muestra:	D2 M13	
Ubicación:	322813/6819085	
Tipo de Roca:	Volcánica / mineralizada	
Alteración:	Alteración propilítica pervasiva, alteración sódica fuerte y selectiva	
Mineralogía:	Plagioclasa (35%), cuarzo (5%) y masa fundamental (60%).	
Observaciones:	Textura porfídica. Masa fundamental alterada a clorita-epidota. Plagioclasas albitizadas. Presencia de jarosita y hematita en pátinas. Roca presenta magnetismo débil	
Nombre:	Andesita porfídica / alteración propilítica	

14. Muestra D2M14

Muestra:	D2 M14	
Ubicación:	322571/6818870	
Tipo de Roca:	Mineralizada	
Alteración:	Pervasiva. Alteración sódica selectiva. Silificación fuerte	
Mineralogía:	Plagioclasa (20%), cuarzo (60%), hematita (10%) jarosita (8%) y pirita (2%)	
Observaciones:	Presencia de jarosita y hematita. Plagioclasas albitizadas.	
Nombre:	Roca alterada penetrativamente	

15. Muestra D2M15

Muestra:	D2 M15	
Ubicación:	322638/6818835	
Tipo de Roca:	Volcánica / mineralizada	
Alteración:	Alteración propilítica pervasiva	
Mineralogía:	Plagioclasa (20%), cuarzo (5%) y masa fundamental (75%).	
Observaciones:	Textura porfídica. Masa fundamental alterada a clorita-epidota. Presencia de jarosita, hematita y goethita en pátinas. Roca presenta magnetismo moderado	
Nombre:	Andesita porfídica / alteración propilítica	

16. Muestra D2M16

Muestra:	D2 M16	
Ubicación:	322646/6818638	
Tipo de Roca:	Volcánica / mineralizada	
Alteración:	Alteración propilítica moderada-débil. Alteración sódica débil	
Mineralogía:	Plagioclasa (40%), cuarzo (10%), Biotita (5%) y masa fundamental (45%).	
Observaciones:	Textura porfídica. Masa fundamental alterada a clorita-epidota. Plagioclasas albitizadas.	
Nombre:	Andesita porfídica / alteración propilítica	

17. Muestra D3M1

Muestra:	D3 M1	
Ubicación:	323460/6819047	
Tipo de Roca:	Mineralizada	
Alteración:	Pervasiva. Alteración propilítica pervasiva	
Mineralogía:	Magnetita (80%), clorita (15%) y epidota (5%)	
Observaciones:	Presencia de hematita y jarosita en pátinas. Alto peso específico. Magnetismo fuerte	
Nombre:	Magnetita masiva	

18. Muestra D3M2

Muestra:	D3 M2	
Ubicación:	323616/6819003	
Tipo de Roca:	Mineralizada	
Alteración:	Pervasiva. Alteración propilítica pervasiva	
Mineralogía:	Magnetita (70%), clorita (20) y epidota (10%)	
Observaciones:	Presencia de hematita y jarosita en pátinas. Alto peso específico. Magnetismo fuerte	
Nombre:	Magnetita masiva	

19. Muestra D3M3

Muestra:	D3 M3	
Ubicación:	323562/6818875	
Tipo de Roca:	Volcánica / mineralizada	
Alteración:	Alteración propilítica moderada-fuerte	
Mineralogía:	Plagioclasa (20%), cuarzo (10%) y masa fundamental (70%)	
Observaciones:	Textura porfídica. Masa fundamental alterada a clorita-epidota. Presencia de jarosita y hematita en patinas.	
Nombre:	Andesita porfídica / alteración propilítica	

20. Muestra D3M4

Muestra:	D3 M4	
Ubicación:	322985/6818344	
Tipo de Roca:	Volcánica / mineralizada	
Alteración:	Alteración propilítica moderada-fuerte. Alteración sódica selectiva moderada	
Mineralogía:	Plagioclasa (40%), cuarzo (10%) y masa fundamental (50%)	
Observaciones:	Textura porfídica. Masa fundamental alterada a clorita-epidota. Contiene clastos melanocráticos que van desde 0.5-5 cm. Albitización de plagioclasas	
Nombre:	Andesita porfídica / alteración propilítica	

21. Muestra D3M5

Muestra:	D3 M5	
Ubicación:	323022/6818644	
Tipo de Roca:	Mineralizada	
Alteración:	Pervasiva. Alteración propilítica moderada-fuerte.	
Mineralogía:	Magnetita (60%), clorita (30%) y epidota (10%)	
Observaciones:	Presencia de jarosita y hematita en patinas. Magnetismo fuerte. Alto peso específico	
Nombre:	Magnetita masiva / alteración propilítica	

22. Muestra D3M6

Muestra:	D3 M6	
Ubicación:	323309/6818900	
Tipo de Roca:	Mineralizada	
Alteración:	Pervasiva. Alteración propilítica moderada-fuerte	
Mineralogía:	Magnetita (70%), clorita (25%) y epidota (5%)	
Observaciones:	Presencia de jarosita y hematita en pátinas. Magnetismo fuerte. Alto peso específico	
Nombre:	Magnetita masiva	

23. Muestra D3M7

Muestra:	D3 M7	
Ubicación:	323097/6818704	
Tipo de Roca:	Volcánica / mineralizada	
Alteración:	Alteración propilítica moderada-fuerte. Alteración sódica selectiva moderada	
Mineralogía:	Plagioclasa (30%), cuarzo (10%) y masa fundamental (60%)	
Observaciones:	Textura porfídica. Masa fundamental alterada a clorita- epidota. Albitización de plagioclasas	
Nombre:	Andesita porfídica / alteración propilítica	

24. Muestra D3M8

Muestra:	D3 M8	
Ubicación:	322907/6818849	
Tipo de Roca:	Mineralizada	
Alteración:	Pervasiva. Alteración propilítica moderada-fuerte. Alteración sódica selectiva moderada	
Mineralogía:	Magnetita (70%), clorita (20%), epidota (5%), actinolita (3%) y plagioclasas (2%)	
Observaciones:	Presencia de jarosita y hematita en pátinas. Magnetismo fuerte. Alto peso específico. Oxidados de cobre tales como brocantita y crisocola en pátina. Albitización de plagioclasas	
Nombre:	Magnetita masiva	

25. Muestra D3M9_A

Muestra:	D3 M9_A	
Ubicación:	323211/6819023	
Tipo de Roca:	Mineralizada	
Alteración:	Pervasiva	
Mineralogía:	Hematita (60%), goethita (6%), jarosita (32%), y plagioclasas (2%)	
Observaciones:	Seritización de plagioclasas y caolinización	
Nombre:	Roca alterada penetrativamente	

26. Muestra D3M9_B

Muestra:	D3 M9_B	
Ubicación:	323211/6819023	
Tipo de Roca:	Mineralizada	
Alteración:	Pervasiva	
Mineralogía:	Hematita (60%), goethita (5%) y limonita (35%)	
Observaciones:	Presencia de vetillas de yeso. Arcillas y caolinita escasa	
Nombre:	Roca alterada penetrativamente	

27. Muestra D5M1

Muestra:	D5 M1	
Ubicación:	323054/6819457	
Tipo de Roca:	Mineralizada	
Alteración:	Pervasiva. Alteración sódica selectiva. Silificación fuerte	
Mineralogía:	Plagioclasa (15%), cuarzo (65%), Hematita (15 %) y jarosita (5%).	
Observaciones:	Presencia de jarosita y hematita. Plagioclasas albitizadas.	
Nombre:	Roca alterada penetrativamente	

28. Muestra D5M2

Muestra:	D5 M2	
Ubicación:	322546/6819212	
Tipo de Roca:	Mineralizada	
Alteración:	Pervasiva. Alteración sódica selectiva. Silificación fuerte	
Mineralogía:	Plagioclasa (15%), cuarzo (65%) y Hematita (15 %) y jarosita (5%).	
Observaciones:	Presencia de jarosita y hematita. Plagioclasas albitizadas.	
Nombre:	Roca alterada penetrativamente	

29. Muestra D5M3

Muestra:	D5 M3	
Ubicación:	322546/6819212	
Tipo de Roca:	Volcánica/ mineralizada	
Alteración:	Alteración propilítica moderada-fuerte. Alteración sódica selectiva moderada	
Mineralogía:	Plagioclasa (20%), cuarzo (10%), Biotita (2%) y masa fundamental 68%	
Observaciones:	Textura porfídica. Albitización plagioclasas. Magnetita en vetillas asociada a hematita y jarosita. Magnetismo moderado. Biotitas y matriz fundamental alteradas a clorita-epidota	
Nombre:	Andesita porfídica reemplazada por magnetita/clorita/epidota/albita	

30. Muestra D5M4

Muestra:	D5 M4	
Ubicación:	322203/6819351	
Tipo de Roca:	Mineralizada	
Alteración:	Pervasiva. Albitización pervasiva	
Mineralogía:	Albita (80%), jarosita (10%), hematita (5%) y goethita (5%)	
Observaciones:	Presencia de jarosita y hematita. Plagioclasas albitizadas.	
Nombre:	Roca alterada penetrativamente	

31. Muestra D5M5

Muestra:	D5 M5	
Ubicación:	322203/6819351	
Tipo de Roca:	Mineralizada	
Alteración:	Alteración propilítica moderada-fuerte. Alteración sódica selectiva moderada	
Mineralogía:	Plagioclasa (20%), cuarzo (10%), actinolita (5%) y masa fundamental 65%	
Observaciones:	Textura porfídica. Albitización plagioclasas. Presencia de hematita y jarosita en pátinas. Matriz fundamental alteradas a clorita-epidota	
Nombre:	Andesita porfídica reemplazada por actinolita/clorita/epidota/albita	

32. Muestra D9M1

Muestra:	D9 M1	
Ubicación:	323143/6818912	
Tipo de Roca:	Mineralizada	
Alteración:	Pervasiva. Alteración propilítica fuerte	
Mineralogía:	Magnetita (30%), clorita (50%) y epidota (20%)	
Observaciones:	Magnetita se presenta en pequeñas vetillas asociadas a hematita y jarosita. Magnetismo moderado	
Nombre:	Intercrecimiento de magnetita/clorita/epidota	

33. Muestra D9M2

Muestra:	D9 M2	
Ubicación:	322849/6818889	
Tipo de Roca:	Mineralizada	
Alteración:	Pervasiva. Alteración propilítica fuerte	
Mineralogía:	Magnetita (40%), clorita (40%), epidota (15%) y actinolita (5%)	
Observaciones:	Magnetita se presenta de forma disseminada. Magnetismo moderado	
Nombre:	Intercrecimiento de magnetita/clorita/epidota/actinolita	

34. Muestra D9M3

Muestra:	D9 M3	
Ubicación:	322885/6818683	
Tipo de Roca:	Volcánica/mineralizada	
Alteración:	Pervasiva. Alteración propilítica fuerte. Alteración sódica selectiva fuerte	
Mineralogía:	Plagioclasa (15%), Magnetita (30%), masa fundamental (50%) y actinolita (5%)	
Observaciones:	Textura porfídica. Masa fundamental alterada a clorita-epidota. Plagioclasas albitizadas. Magnetismo fuerte. La magnetita se presenta en vetas de 3-4 cm asociada a hematita y jarosita.	
Nombre:	Andesita porfídica reemplazada por magnetita/clorita/epidota/actinolita/albita	

35. Muestra D9M4

Muestra:	D9 M4	
Ubicación:	323095/6818569	
Tipo de Roca:	Volcánica/mineralizada	
Alteración:	Pervasiva. Alteración propilítica fuerte. Alteración sódica selectiva fuerte	
Mineralogía:	Plagioclasa (5%), Magnetita (40%), masa fundamental (50%) y actinolita (5%)	
Observaciones:	Textura porfídica. Masa fundamental alterada a clorita-epidota. Plagioclasas albitizadas. Magnetismo fuerte. La magnetita se presenta diseminada asociada a hematita y jarosita.	
Nombre:	Andesita porfídica reemplazada por magnetita/clorita/epidota/actinolita/albita	

36. Muestra D9M6

Muestra:	D9 M6	
Ubicación:	322801/6818770	
Tipo de Roca:	Volcánica/mineralizada	
Alteración:	Pervasiva. Alteración propilítica fuerte. Alteración sódica selectiva fuerte	
Mineralogía:	Plagioclasa (5%), Magnetita (35%), masa fundamental (50%) y actinolita (10%)	
Observaciones:	Textura porfídica. Masa fundamental alterada a clorita-epidota. Plagioclasas albitizadas. Magnetismo fuerte. La magnetita se presenta diseminada asociada a hematita y jarosita.	
Nombre:	Andesita porfídica reemplazada por magnetita/clorita/epidota/actinolita/albita	

Anexo II: Mapeo de sondajes, fichas adjuntas y digitalizadas

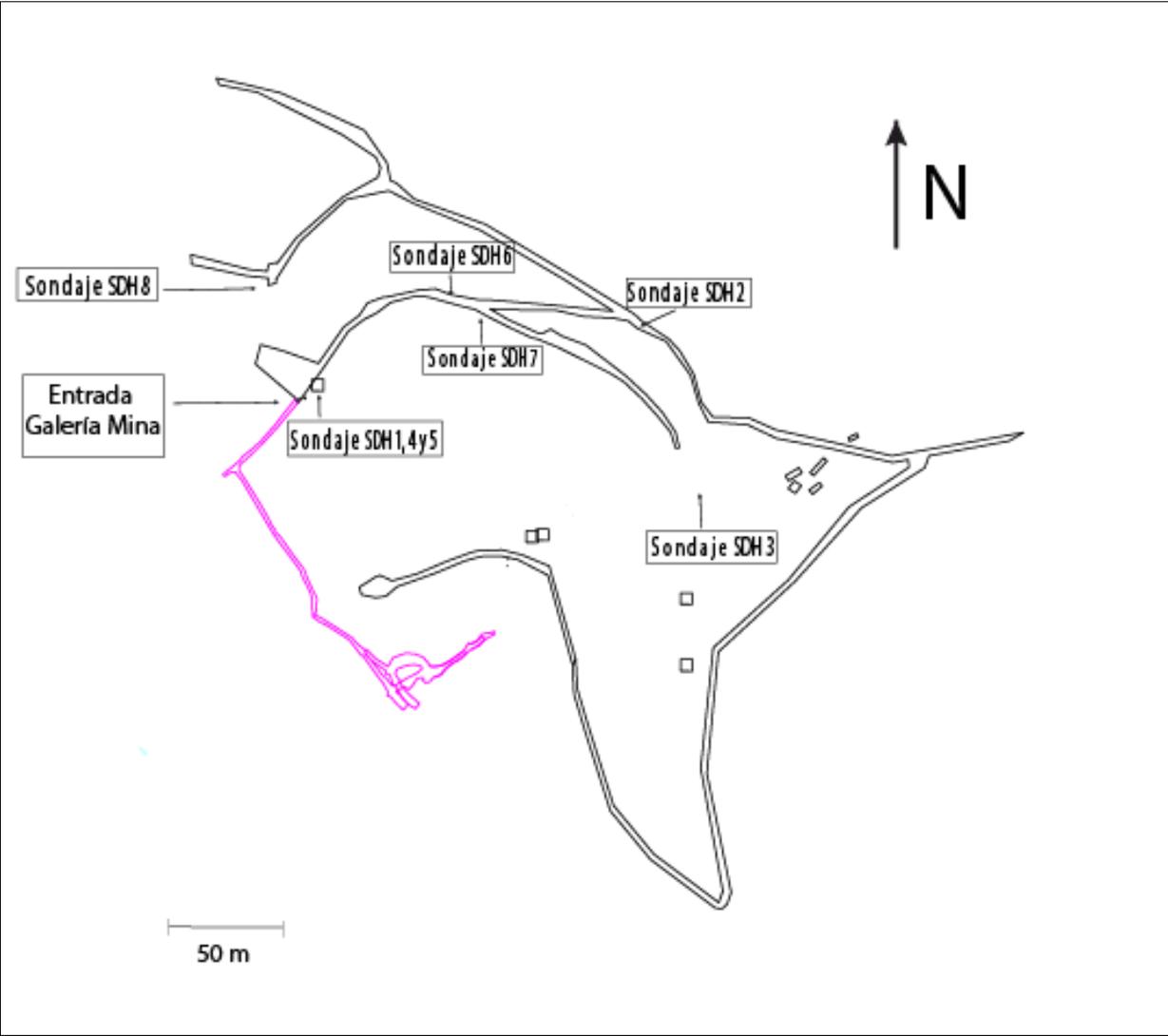
Se presentan las descripciones realizadas en terreno de 7 sondajes pertenecientes a ENAMI de un total de 8. Para esto se utilizó una plantilla de descripción rápido, la cual abarca la litología, estructuras, vetillas, mineralizaciones y alteraciones.

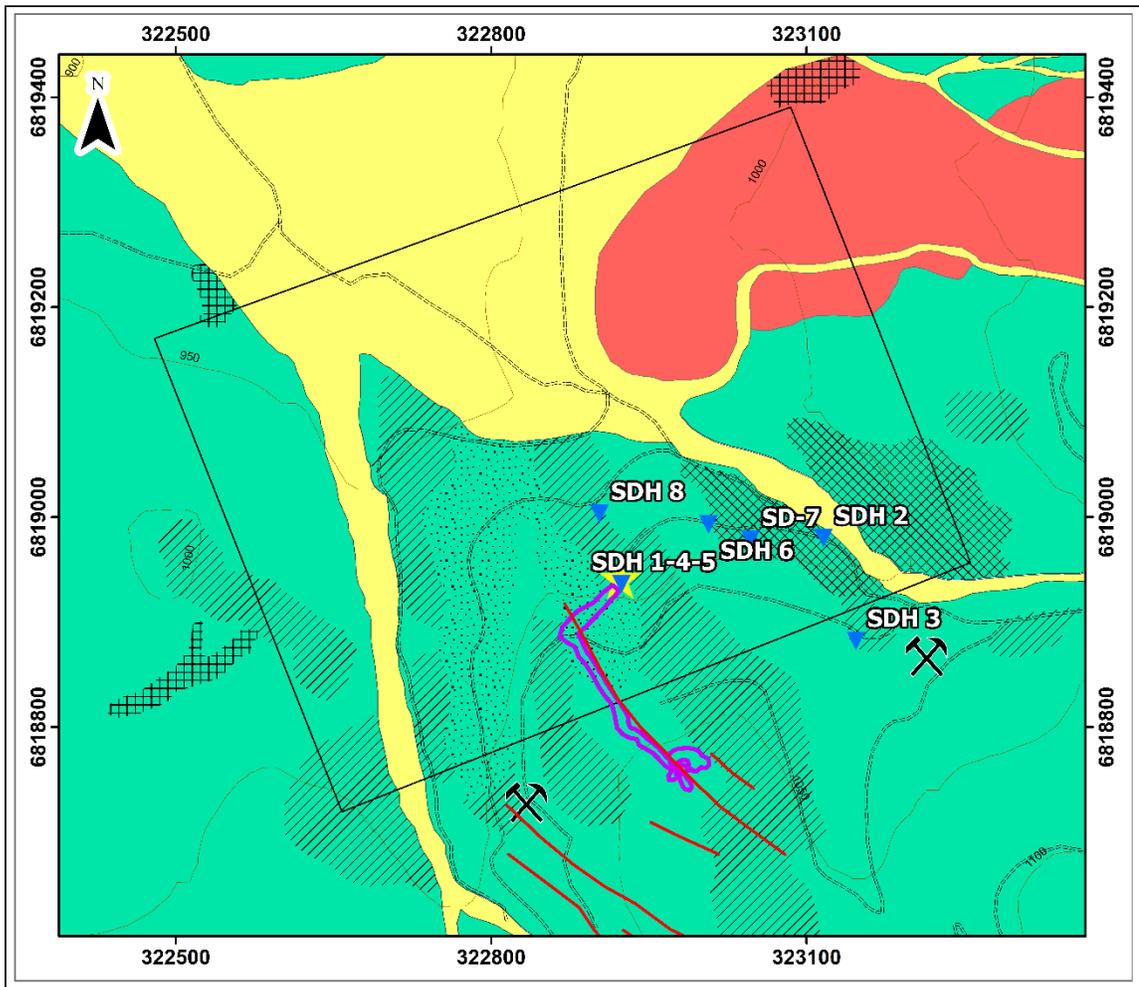
Los sondajes se encontraban incompletos, ya que ENAMI, anteriormente habría retirado las secciones con mayor mineralización; estos vacíos están simbolizados por dos franjas rojas y una franja color negro entre medio, mientras que el final del sondaje está indicado por una franja verde.

Cabe mencionar que no se realizó ningún control de calidad (QA/QC), ya que corresponde a un muestreo exploratorio con un bajo contenido de muestras.

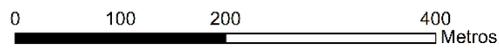
LEYENDA	
Litología	Vetilleo
 AND	 Vnw
 ANDP	 Vnm
	 Vns
Estructuras	Alteración
 Frc(w)	 Débil
 Frc(m)	 Moderado
 Frc(s)	 Fuerte
 F	
Mineralización	
 Débil	
 Moderado	
 Fuerte	

Imagen en planta de la propiedad minera La Estrella donde se indican los caminos vehiculares presentes (trazas negras), la mina subterránea (trazas púrpuras) y las posiciones aproximadas de cada sondaje con etiquetas rotuladas.





Leyenda



Unidades

- Depósitos Aluviales
- Formación Punta del Cobre
- Complejo Plutónico Camarones

Alteraciones Hidrotermales

- Calco-Sódica
- Clorítica
- Sódica-Silícica
- Supérgena

Simbología

- ★ Mina La Estrella
- ⚒ Piques Mineros
- ▼ Sondajes
- Vetas de Cuarzo
- - - Caminos de Rípio
- · — · — Curva de Nivel
- Propiedad La Estrella
- Galería La Estrella

A continuación, se presenta la información respecto a los ocho sondajes realizados en La estrella; coordenada UTM, cota, profundidad, azimut (Az) y Dip.

HOLEID	ESTE	NORTE	COTA (msnm)	Profundidad (m)	AZ	DIP
ES-SDN-01	323105,75	6819329	958	180,8	160	-50
ES-SDN-02	323299,938	6819364,02	955,465	180,1	225	-50
ES-SDN-03	323335,654	6819261,29	970,615	207,5	235	-50
ES-SDN-04	323106,779	6819326,17	958	130	0	-90
ES-SDN-05	323104,713	6819326,15	958	150	220	-50
ES-SDN-06	323190,718	6819371,16	958,364	140,3	200	-50
ES-SDN-07	323210,359	6819372,96	958,235	120	130	-50
ES-SDN-08	323085,734	6819386,7	938,666	73	190	-40

1. Sondaje SD-01

CARTILLA PRE-LOGGEO														HOJA N° : 1		
N° Sondaje (rec): SD-01														Fecha : 18-11-2020		
Litología	Estructuras	Vetilleo	Alteración				Mineralización					OBSERVACIÓN	N° CAJA			
			Propilitica	Silificación	Argílica	Potasica	Sod-Calc	Pirita	Esfalerita	Galena	Calcopirita			Magnetita	Otros	
	S						SM	M								Box 35
125													Roca en muy mal estado, disgregable. Abundante arcilla.			Box 36
			S										Vetilla de biotita cloritizada			Box 37
130	SM							M								Box 38
135			M					MW					Biotita en mejor estado que la lava andesita porfídica.			Box 39
		Vnw														Box 40
140	M		SM				SM									Box 41
145			M					MW								Box 42
	W						W	SM								Box 43
150	M												Alta presencia de hematita y limonita.			Box 43
	S		S					W								Box 44
													Vetillas de cuarzo y calcita. Plagioclasas en perfecto estado.			Box 44

CARTILLA PRE-LOGGEO

HOJA N° : 2

N° Sondaje (rec): SD-02

Fecha : 18-11-2020

	Litología	Estructuras	Vetillo	Alteración						Mineralización					OBSERVACIÓN	N° CAJA		
				Propilitica	Silificación	Argilica	Potasica	Sod-Calc	Pirita	Esfalerita	Galena	Calcopirita	Magnetita	Otros				
155																	Bajo contenido de actinolita. Magnetismo sumamente leve	Box 45
160		M	Vnw														Vetillas de cuarzo y calcita.	Box 46
165																	Actinolita alterando ciertas zonas de forma pervasiva. Plagioclasas en perfecto estado.	Box 47
170				S														Box 48
175		S															Magnetita diseminada, alterada a hematita y limonita.	Box 49
180		MS																Box 50
		S																Box 51
																		Box 52

CARTILLA PRE-LOGGEO															
													HOJA N° : 2		
N° Sondaje (rec): SD-02													Fecha : 18-11-2020		
Litología	Estructuras	Vetileo	Alteración				Mineralización					OBSERVACIÓN	N° CAJA		
			Propilitica	Silificación	Argilica	Potasica	Sod-Calc	Pirita	Esfalerita	Galena	Calcopirita			Magnetita	Otros
						W	M								Box 10
40													Presencia de hematita y limonita. Vetillas de actinolita cortando la roca caja.		Box 11
45	M		S								W		Alta presencia de hematita. Pirita diseminada en magnetita.		Box 12
							SM				M				
50									W		W		Presencia de hematita. Pirita diseminada en magnetita		Box 13
															Box 14
55									W		M				Box 15
											W				Box 16
60	W		SM			M	MW	M							Box 17
		Vnw													Box 18
65			M			SM		W							Box 19
						M									Box 19

CARTILLA PRE-LOGGEO

HOJA N° : 5

N° Sondaje (rec): SD-02

Fecha : 18-11-2020

Litología	Estructuras	Vetilleo	Alteración					Mineralización					OBSERVACIÓN	N° CAJA		
			Propilitica	Silicificación	Argílica	Potasica	Sod-Calc	Pirita	Esfalerita	Galena	Calcopirita	Magnetita			Otros	
150 155 160	W	Vnw	S				SM								Box 40	
			M			M								Plagioclasas albitizadas.	Box 41	
															Box 42	
	SM					MW									Box 43	
					MW		W									Box 44
160	M	Vnw						T					W		Box 45	
									T							
									T							
170 175			Vnw													Box 47
							M								Vetillas de actinolita y clorita.	Box 48
		SM					M							Plagioclasas albitizadas. Roca andesítica porfídica en algunos sectores no presenta alteración potásica.	Box 49	
						W									Box 50	

3. Sondaje SD-03

CARTILLA PRE-LOGGEO														HOJA N° : 1		
N° Sondaje (rec): SD-03														Fecha : 17-11-2020		
Litología	Estructuras	Vetilleo	Alteración					Mineralización					OBSERVACIÓN	N° CAJA		
			Propilitica	Silicificación	Argilica	Potasica	Sod-Calc	Pirita	Esfalerita	Galena	Calcopirita	Magnetita			Otros	
5 10 15 20 25 30	S		S											Gran cantidad de arcillas. Roca bien deteriorada.	Box 1	
															Plagioclasas albitizadas.	Box 2
			SM												Plagioclasas albitizadas. Presencia de arcillas, limonita y hematita.	
			MW													Box 3
			W													
			M												Alta presencia de actinolita.	Box 4
			SM												Presencia de hematita y menor limonita.	Box 5
			S					SM					W		Presencia de hematita y menor limonita-plagioclasas albitizadas	Box 6
			SM										MW		Presencia de hematita, menor limonita, vetillas rellena por carbonatos y oxidados de cobre.	Box 7
M			S							W		Presencia de hematita, actinolita, menor limonita, alto contenido de arcillas y sericita.	Box 8			
S						S				MW		Presencia de actinolita, hematita y menor limonita.	Box 9			
						M										

CARTILLA PRE-LOGGEO

HOJA N° : 2

N° Sondaje (rec): SD-03

Fecha : 17-11-2020

	Litología	Estructuras	Vetileo	Alteración					Mineralización					OBSERVACIÓN	N° CAJA	
				Propilitica	Silicificación	Argilica	Potasica	Sod-Calc	Pirita	Esfalerita	Galena	Calcopirita	Magnetita			Otros
40	S W		M				M							W	Hematita abundante, roca muy meteorizada y presneia de oxidados de cobre	Box 10
																S
57		M					M							W		Box 16
60			SM				S									Box 17
65		SM	MW				M								Plagioclasas albitizadas.	Box 18
70		SM	M				MW								Presencia de vetillas de biotita y magnetita	Box 19
75		S					W								Plagioclasas albitizadas.	Box 20
		S	SM				M								Presencia de plagiocalsas albitizadas, vetillas de biotita y magnetita.	Box 21
															Plagioclasas albitizadas.	Box 22

CARTILLA PRE-LOGGEO

HOJA N° : 3

N° Sondaje (rec): SD-03

Fecha : 17-11-2020

Litología	Estructuras	Vetilleo	Alteración					Mineralización					OBSERVACIÓN	N° CAJA	
			Propilitica	Silicificación	Argilica	Potasica	Sod-Calc	Pirita	Esfalerita	Galena	Calcopirita	Magnetita			Otros
85	S		SM			M									Box 22
	W					W	M							Plagioclasas albitizadas.	Box 23
	MW		MW											Vetilla de actinolita cortan mineralización de magnetita. Vetas de actinolita son cortadas por vetas de carbonatos. Vetas de actinolita son cortadas por vetas de magnetita y hematita. Vetas de actinolita cortan feldespato potásico. Vetas de cuarzo son cortadas por vetas de carbonatos.	Box 24
	W					M					W				Box 25
								W							
			Vnm			M								Vetillas de magnetita.	Box 26
		SM		W		MW								Vetillas de actinolita.	Box 27
						SM		M						Plagioclasas albitizadas.	Box 28
		M				SM									Box 29
				M		S						W		Vetillas de actinolita.	Box 30
						M		W							Box 31
		W	Vnm					MW						Vetillas de actinolita. Plagioclasas albitizadas.	Box 31
							M				W-		Vetillas de actinolita. Plagioclasas albitizadas.	Box 32	
			M												

CARTILLA PRE-LOGGEO

HOJA N° : 4

N° Sondaje (rec): SD-03

Fecha : 17-11-2020

	Litología	Estructuras	Vetillo	Alteración						Mineralización					OBSERVACIÓN	N° CAJA					
				Propilitica	Silicificación	Argilica	Potasica	Sod-Calc	Pirita	Esfalerita	Galena	Calcopirita	Magnetita	Otros							
120	[Pebbles]	W	Vnm					M										Box 32			
																				Box 33	
																					Box 34
																					Box 35
125	[Pebbles]	MW	Vnw																		
130	[Pebbles]	M	Vnw																		
135	[Pebbles]	MW	Vnw																		
140	[Pebbles]	M	Vnw																		
153	[Pebbles]	M	Vnw																		
155	[Pebbles]	SM	Vnw																		
168	[Pebbles]	S	Vnw																		
169	[Pebbles]	SM	Vnw																		

CARTILLA PRE-LOGGEO

HOJA N° : 5

N° Sondaje (rec): SD-03

Fecha : 18-11-2020

Litología	Estructuras	Vetilleo	Alteración					Mineralización					OBSERVACIÓN	N° CAJA			
			Propilitica	Silicificación	Argilica	Potasica	Sod-Calc	Pirita	Esfalerita	Galena	Calcopirita	Magnetita			Otros		
178	W		SM												Biotita secundaria y abundante epidota.	Box 50	
180																	
185			M														Box 52
190																	Box 53
195			SM														Box 54
200																	Box 55
205			M														Box 56
																	Box 57
			MW														Box 58

4. Sondaje SD-04

CARTILLA PRE-LOGGEO														HOJA N° : 1					
N° Sondaje (rec): SD-04														Fecha : 16-11-2020					
Lito logía	Estructuras	Vetilleo	Alteración					Mineralización					OBSERVACIÓN	N° CAJA					
			Propilitica	Silicificación	Argilica	Potasica	Sod-Calc	Pirita	Esfalerita	Galena	Calcopirita	Magnetita			Otros				
	MW		SM											Alta presencia de hematita, menor limonita y arcillas. Actinolita en vetillas o caras.	Box 14				
														Alta presencia de hematita, menor limonita y arcillas. Actinolita en vetillas o caras.	Box 15				
														Presencia de hematita y menor limonita. Abundante actinolita.	Box 16				
	M		S											W	Presencia de hematita y menor limonita. Abundante actinolita y epidota.	Box 17			
																Box 18			
	SM		SM												Vetillas de biotita escasas o poco abundante.	Box 19			
																Box 20			
	MW																		
																			Box 21
																			Box 22
	W		M												Plagioclasas albitizadas. No hay presencia de actinolita.	Box 22			
																Box 23			

CARTILLA PRE-LOGGEO

HOJA N° : 3

N° Sondaje (rec): SD-04

Fecha : 16-11-2020

	Litología	Estructuras	Vetilleo	Alteración					Mineralización					OBSERVACIÓN	N° CAJA		
				Propilitica	Silicificación	Argilica	Potasica	Sod-Calc	Pirita	Esfalerita	Galena	Calcopirita	Magnetita			Otros	
																Box 32	
																	Box 33
120		S			S												Box 34
125																	Box 35
																	Box 36
130																	Box 37

5. Sondaje SD-05

CARTILLA PRE-LOGGEO													HOJA N° : 1			
N° Sondaje (rec): SD-05													Fecha : 16-11-2020			
Litología	Estructuras	Veñileo	Alteración					Mineralización					OBSERVACIÓN	N° CAJA		
			Propilitica	Silicificación	Argilica	Potasica	Sod-Calc	Pirita	Esfalerita	Galena	Calcopirita	Magnetita			Otros	
5	S													Roca muy meteorizada, disgregable. Presencia de hematita, menor limonita y arcillas. Plagioclasas albitizadas y seritizadas.	Box 1	
	W													Presencia de carbonatos rellenando espacio.		
	S														Box 2	
	M		SM				W							Presencia de oxidos de cobre.		
	10	S										W			Alto contenido de hematita y limonita. Roca muy alterada. Lava andesita porfídica alterada a clorita y menor epidota. Plagioclasas seritizadas.	Box 3
15	S													Roca disgregable y alterada fuertemente. Presencia de oxidados de cobre, hematita, limonita sericita y caolinita.	Box 4	
20	SM	Vnw	S								W			Roca en mejor estado. Presenta vetillas de yeso, alto contenido de hematita, menor limonita, arcillas y caolinita. Pirita se encuentra diseminada.	Box 5	
45												W		Alta presencia de hematita y limonita.	Box 11	
												MW				
			S					M	W				T	W	Presencia de pirita en vetillas y diseminada. Hay vetillas de yeso rellenando fracturas.	Box 12

CARTILLA PRE-LOGGEO

HOJA N° : 3

N° Sondaje (rec): SD-05

Fecha : 16-11-2020

	Litología	Estructuras	Vetilleo	Alteración						Mineralización					OBSERVACIÓN	N° CAJA						
				Propilitica	Silicificación	Argílica	Potasica	Sod-Calc	Pirita	Esfalerita	Galena	Calcopirita	Magnetita	Otros								
90	[Lithology pattern]	MW	Vns	W															Box 22			
																			Presencia de hematita y menor limonita.	Box 23		
95	[Lithology pattern]		Vns	W																Box 24		
100	[Lithology pattern]		Vns	W																Box 25		
																					Principalmente vetillas de calcita.	Box 26
105	[Lithology pattern]		Vns	W																Box 27		
110	[Lithology pattern]	W	Vns	SM																Box 28		
																					Abundante epidota, feldespato potásico reemplazando protolito, vetillas de biotita y carbonatos. Zona con presencia de oxidados de cobre.	Box 28
115	[Lithology pattern]	M	Vns	SM																Box 29		
																					Presencia de hematita, limonita y arcillas.	Box 29
	[Lithology pattern]	MW	Vns	SM																Box 30		
	[Lithology pattern]	M	Vns	SM																Box 31		
																					Presencia de vetillas de biotita, epidota alterando como "parches" probablemente a biotitas y protolito.	Box 31
	[Lithology pattern]	MW	Vns	SM																Box 32		

CARTILLA PRE-LOGGEO

HOJA N° : 4

N° Sondaje (rec): SD-05

Fecha : 16-11-2020

	Litología	Estructuras	Vetilleo	Alteración					Mineralización					OBSERVACIÓN	N° CAJA		
				Propilitica	Silicificación	Argilica	Potasica	Sod-Calc	Pirita	Esfalerita	Galena	Calcopirita	Magnetita			Otros	
125				SM			S									Box 32	
																	Box 33
																	Box 34
130				MW			W										Box 35
135							W										Box 36
				M													
																	Box 37
140							W										Box 38
							SM										
145				SM			M										Box 39
							SM										Box 40
150																	

Se reconoce en algunas partes el protolito sin alterar, con plagioclasas en buen estado. Alteración potásica afecta zonas sectorizadas.

6. Sondaje SD-07

CARTILLA PRE-LOGGEO													HOJA N° : 1	
N° Sondaje (rec): SD-07													Fecha : 16-11-2020	
Litología	Estructuras	Vetileo	Alteración				Mineralización					OBSERVACIÓN	N° CAJA	
			Propilitica	Silicificación	Argilica	Potasica	Sod-Calc	Pirita	Esfalerita	Galena	Calcopirita			Magnetita
95	SM						W					MW	Presencia de actinolita. Plagioclasas seritizadas levemente	Box 26
100	S					S								Box 27
105		S												Box 28
110	SM						SM							Box 29
115							M							Box 30
120	S	SM				SM								Box 31
														Box 32
														Box 33

7. Sondaje SD-08

CARTILLA PRE-LOGGEO												HOJA N° : 1			
N° Sondaje (rec): SD-08												Fecha : 18-11-2020			
Litología	Estructuras	Vetilleo	Alteración					Mineralización					OBSERVACIÓN	N° CAJA	
			Propilitica	Silicificación	Argilica	Potasica	Sod-Calc	Pirita	Esfalerita	Galena	Calcopirita	Magnetita			Otros
5 10 15 20 25 30	S		SM											Abundante arcillas, limonita y hematita.	Box 1
	SM														
	M													Hematita y limonita en pátinas sobre la lava alterada propiliticamente.	Box 2
	W														Box 3
															Box 4
							W								Box 5
								W						Pirita diseminada en magnetita y en vetillas. Vetillas de yeso cortando la roca.	Box 6
	W		S								W			Presencia de hematita y limonita	Box 7
														Presencia de hematita y limonita	Box 8
															Box 9
	S												Zona muy alterada. Presencia de abundante limonita, menor hematita, yeso y arcillas.	Box 10	
	M		S			MW					MW		Abundante hematita y menor limonita.		

CARTILLA PRE-LOGGEO

HOJA N° : 2

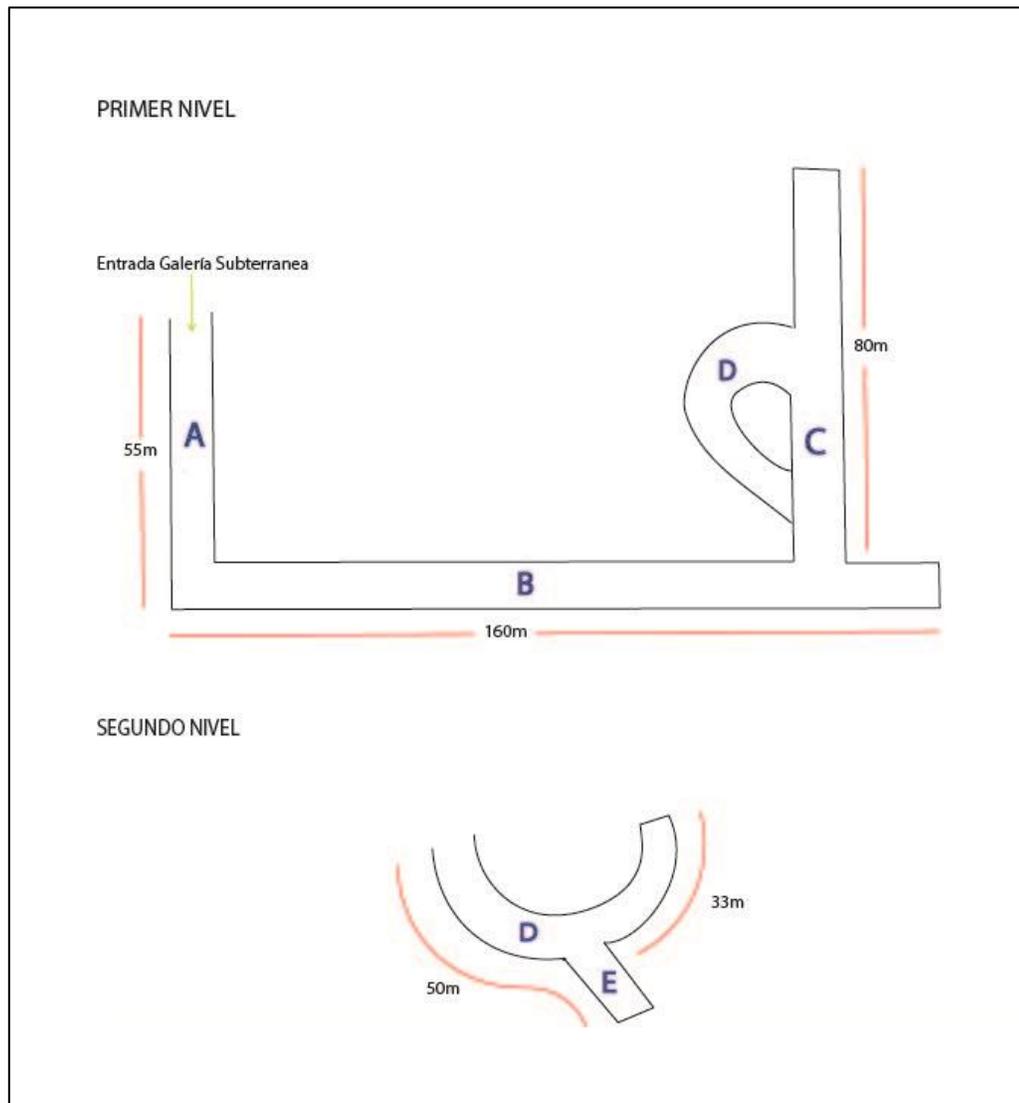
N° Sondaje (rec): SD-08

Fecha : 18-11-2020

	Litología	Estructuras	Vetileo	Alteración					Mineralización					OBSERVACIÓN	N° CAJA
				Propilitica	Silificación	Argilica	Potasica	Sod-Calc	Pirita	Esfalerita	Galena	Calcopirita	Magnetita		
		M						MW							Box 10
								SM	W				M	Abundante hematita y menor limonita.	Box 11
40				S											Box 12
45														Roca bien deteriorada. Presencia de hematita, limonita y abundante arcilla.	Box 13
		SM		M				M					W		Box 14
50							W								
								MW		W-				Pirita en sectores relativamente puntuales, asociada a magnetita, actinolita y clorita.	Box 15
55				SM											Box 16
60			Vnw				SM								Box 17
		W		M				W							Box 18
65							MW								
							W								Box 19
		M		MW										Plagiocalsas en perfecto estado, alteración propilitica débil.	Box 20

Anexo III: Mapeo galería mina, fichas adjuntas y digitalizadas

La galería subterránea fue dividida en cinco secciones diferentes para facilitar el mapeo de interior mina. Esto fue realizado con la misma plantilla con la cual se hizo el estudio de sondajes, abarcando mineralogía y alteraciones.



1. Galería subterránea sección A, primer nivel.

CARTILLA PRE-LOGGEO														HOJA N° : 1A		
N° Sondaje (rec): TUNEL														Fecha : 14-11-2020		
	Litología	Estructuras	Vetileo	Alteración				Mineralización					OBSERVACIÓN	N° CAJA		
				Propilitica	Silicificación	Argilica	Potasica	Sod-Calc	Pirita	Esfalerita	Galena	Calcopirita			Magnetita	Otros
5	[Litología]	M												Fracturas rellenas por carbonatos, magnetismo casi imperceptible. (T1,3m)		
10																
15	[Litología]	W														
20																
25	[Litología]						W									
30																
35	[Litología]															
40																
45	[Litología]	M														
50																
55	[Litología]															

CARTILLA PRE-LOGGEO

HOJA N° : 2B

N° Sondaje (rec): TUNEL

Fecha : 14-11-2020

Litología	Estructuras	Vetileo	Alteración					Mineralización					OBSERVACIÓN	N° CAJA	
			Propilitica	Silicificación	Argílica	Potasica	Sod-Calc	Pirita	Esfalerita	Galena	Calcopirita	Magnetita			Otros
60						W	M						MW		
													W	Presencia de oxidados de cobre	
65								MW					MW	Presencia de oxidados de cobre. (T8,65.2m)	
70						MW	S						M	Posible falla, zona muy epidotizada, con hematita y limonita.	
75								M					MW		
80			S					MW	W					Alta presencia de hematita, jarosita y pirita diseminada. (T9,78m)	
85								M					W	Falla con relleno diaclasado, presencia de hematita, limonita, epidota, arcillas y posible salbanda	
90								SM							
95						W		S						Magnetismo casi imperceptible, roca muy alterada con presencia de hematita, limonita y posibles arcillas.	
100														(T10,98m) Magnetismo extremadamente leve.	
105			SM					W					W-	Albitización plagioclasas, presencia de actinolita. (posicionados bajo la antigua obra)	
110								MW						(T11,110m)	

CARTILLA PRE-LOGGEO

HOJA N° : 3B

N° Sondaje (rec): TUNEL

Fecha : 14-11-2020

Litología	Estructuras	Vetileo	Alteración					Mineralización					OBSERVACIÓN	N° CAJA	
			Propilitica	Silificación	Argílica	Potasica	Sod-Calc	Pirita	Esfalerita	Galena	Calcopirita	Magnetita			Otros
115			S				MW								
120			M					W							
125							W					W			
130								W	W			SM			
135			SM												
140									W+			Cs(w)		Albitización plagioclasas y posible presencia de apatito. Veta con abundante cuarzo, pirita y menor calcosina (5-6cm). Pirita diseminada en magnetita	
145			S											Presencia de calcita. Veta con abundante cuarzo, pirita y menor calcosina (5-6cm). Pirita diseminada en magnetita.	
150							SM							Pirita y menor calcopirita diseminada en magnetita, plagioclasas albitizadas, actinolita y posible apatito. (Muestra 1)	
155									W			S		Veta con abundante cuarzo, pirita y menor calcosina (5-6cm). Plagioclasas albitizadas, pirita y menor calcopirita diseminada en magnetita, y presencia de carbonatos.	
160			SM									Cs(w)		Veta con abundante cuarzo, pirita y menor calcosina (5-6cm). Pirita y menor calcopirita diseminada en magnetita. Presencia de actinolita.	
165														Veta con abundante cuarzo, pirita y menor calcosina (5-6cm). Pirita y menor calcopirita diseminada en magnetita. Presencia de actinolita y plagioclasas albitizadas.	
									MW			SM		Vetillas rellenas por carbonatos (4-3 cm). Pirita y menor calcopirita diseminada en magnetita, vetillas de pirita (2-1 cm).	

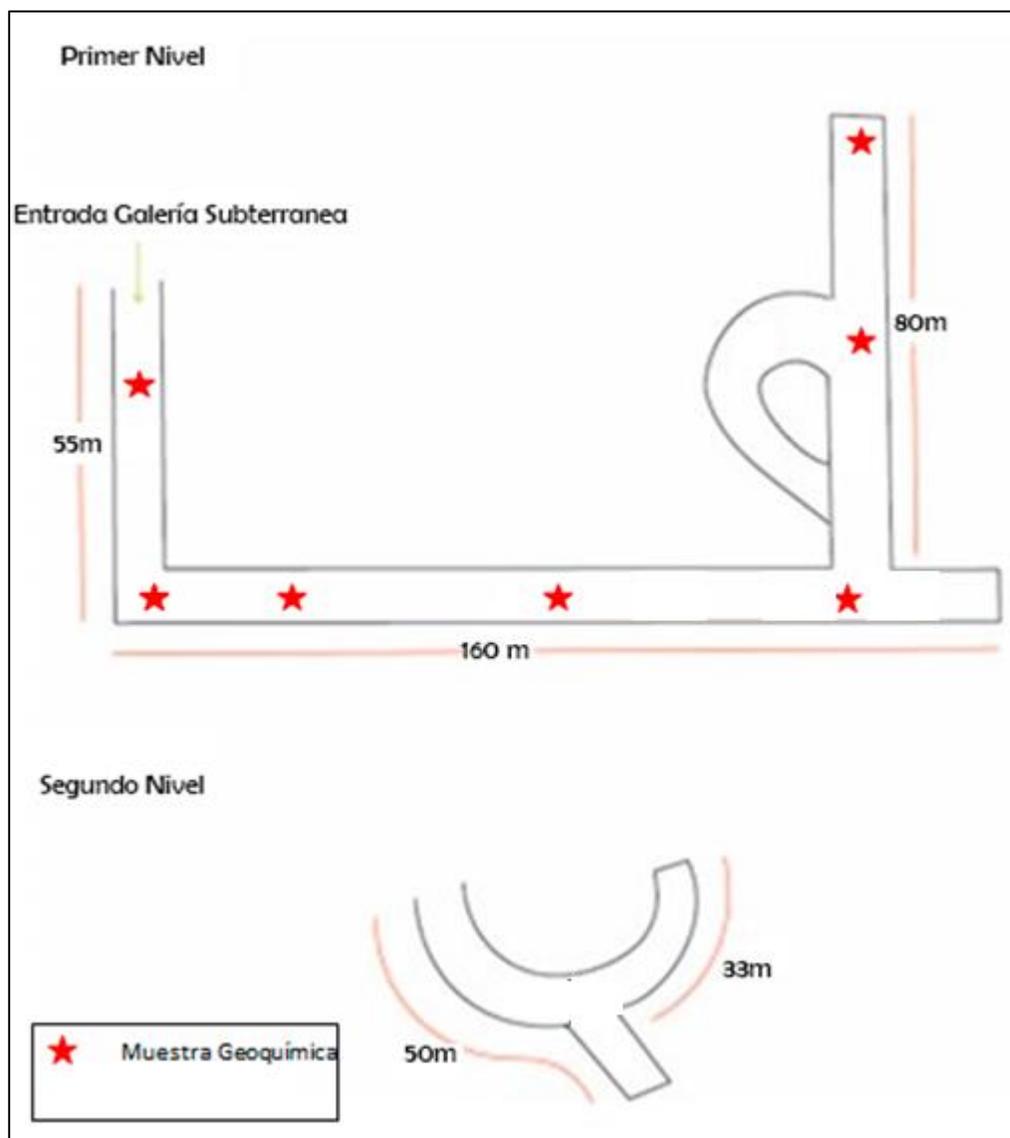
4. Galería subterránea sección D, segundo nivel.

CARTILLA PRE-LOGGEO														HOJA N° : 1D				
N° Sondaje (rec): TUNEL														Fecha : 15-11-2020				
Litología	Estructuras	Vetilleo	Alteración					Mineralización					OBSERVACIÓN	N° CAJA				
			Propilitica	Silicificación	Argílica	Potasica	Sod-Calc	Pirita	Esfalerita	Galena	Calcopirita	Magnetita			Otros			

Anexo IV: Resultados de análisis geoquímico y certificados de análisis

Resultados y certificados de los análisis químicos en formato digital de las siete muestras recogidas en galería mina.

En la siguiente figura se muestra una imagen de la galería en planta, en la cual se señala con una estrella roja los lugares específicos en que se realizó la toma de muestras geoquímicas.





BUREAU VERITAS
MINERAL LABORATORIES
Chile

BV Chile Minerals Laboratories - Coquimbo
Geronimo Mendez N° 1740 Barrio Industrial Coquimbo Coquimbo 1780000 Chile
PHONE +56 51 2544870

www.bureauveritas.cl

Client:
Universidad de Chile
Plaza Ercilla N° 803
Santiago Metropolitana Chile

Submitted By: Brian Townley
Receiving Lab: Chile - Coquimbo
Received: January 27, 2021
Analysis Start: February 05, 2021
Report Date: February 19, 2021
Page: 1 of 2

CERTIFICATE OF ANALYSIS

CQQ21000036.1

CLIENT JOB INFORMATION

Project: no informado
Shipment ID:
P. O. Number
Number of Samples: 7

SAMPLE PREPARATION AND ANALYTICAL PROCEDURES

Procedure Code	Number of Samples	Code Description	Test Wgt (g)	Report Status	Lab
PRP70-250 MA250	7	Crush, spill and pulverize 250 g rock to 200 mesh 4 Acid digestion Ultratrace ICP-MS analysis	0.25	Completed	COQ VAN

SAMPLE DISPOSAL

ADDITIONAL COMMENTS

BV Mineral Laboratories Chile does not accept responsibility for samples left at the laboratory after 90 days without prior written instructions for sample storage or return.

Invoice To:
Universidad de Chile
Plaza Ercilla N° 803
Santiago Metropolitana
Chile

CC:



CÉSAR BRAVO RIVERA
COORDINADOR GENERAL DE CALIDAD

The results of this assay were based solely upon the content of the sample submitted. Any decision to invest should be made only after the potential investment value of the claim or deposit has been determined based on the results of multiple samples of geologic materials collected by the prospective investor or by a qualified person selected by him and based on an evaluation of all engineering data which is available concerning any proposed project. For our complete terms and conditions please see our website at page <http://www.bureauveritas.cl>

Anexo V: Análisis geoquímicos realizados por ENAMI y otros autores en la zona de interés

Información compartida por ENAMI respecto a las concentraciones de hierro total, cobre total, cobre lixiviado, cobre insoluble, oro y cobalto para secciones de tres sondajes; SDH1, SDH 4 y SDH7. Cabe mencionar que en los reportes geoquímicos de ENAMI no se encontró un capítulo de control de calidad, por lo cual se desconoce esta información.

1. Información geoquímica sondaje SDH 1

SDH 1	FROM	TO	Fe DTT	Cu	CuLix	CuIns	Au	Co
SDH 1	1,8	2,78	67,76	0,56	0,45	0,11	0,06	117
SDH 1	2,78	3,7	63,2	0,33	0,24	0,09	0,06	210
SDH 1	3,7	4,65	67,29	0,13	0,07	0,06	0,06	58
SDH 1	4,65	5,5	65,03	0,3	0,26	0,1	0,04	358
SDH 1	5,5	6,5	64,3	0,21	0,12	0,09	0,06	324
SDH 1	6,5	7,5	67,5	0,14	0,07	0,07	0,03	253
SDH 1	7,5	8,47	67,435	0,12	0,04	0,08	0,05	41
SDH 1	8,47	9,47	67,37	0,15	0,05	0,1	0,04	36
SDH 1	9,47	10,3	67,94	0,11	0,03	0,08	0,05	43
SDH 1	10,3	11,2	68,03	0,27	0,06	0,21	0,04	109
SDH 1	11,2	12,1	67,89	0,14	0,05	0,09	0,04	114
SDH 1	12,1	12,85	68,41	0,1	0,02	0,08	0,06	53
SDH 1	12,85	13,83	68,13	0,11	0,03	0,08	0,05	239
SDH 1	13,83	14,7	68,31	0,05	0,01	0,04	0,05	28
SDH 1	14,7	15,7	68,48	0,09	0,02	0,07	0,03	62
SDH 1	15,7	16,62	68,39	0,07	0,02	0,05	0,04	45
SDH 1	16,62	17,3	69,28	0,07	0,01	0,06	0,04	48
SDH 1	17,3	18,2	69,22	0,07	0,01	0,06	0,06	26
SDH 1	18,2	19,01	69,19	0,01	0,01	0,01	0,04	25
SDH 1	19,01	20,01	69,17	0,01	0,01	0,01	0,05	13
SDH 1	20,01	21,01	69,16	0,02	0,01	0,02	0,06	17
SDH 1	21,01	21,52	69,17	0,02	0,01	0,02	0,08	32
SDH 1	21,52	22,3	69,17	0,01	0,01	0,01	0,07	22
SDH 1	22,3	23,3	69,16	0,02	0,01	0,02	0,05	41
SDH 1	23,3	24,3	70,21	0,02	0,01	0,02	0,09	41
SDH 1	24,3	25,1	70,13	0,03	0,01	0,03	0,06	44
SDH 1	25,1	26,1	69,84	0,13	0,05	0,08	0,05	218
SDH 1	26,1	27,1	66,44	0,3	0,13	0,17	0,08	426
SDH 1	27,1	27,8	69,55	0,26	0,1	0,16	0,04	290
SDH 1	27,8	28,75	69,23	0,22	0,08	0,14	0,04	397
SDH 1	28,75	29,63	69,21	0,33	0,09	0,24	0,04	354
SDH 1	29,63	30,58	68,98	0,27	0,08	0,19	0,05	276
SDH 1	30,58	31,52	68,66	0,29	0,09	0,2	0,04	330
SDH 1	31,52	32,4	68,79	0,05	0,01	0,04	0,07	120
SDH 1	32,4	33,32	68,6	0,02	0,01	0,02	0,06	32
SDH 1	33,32	34,25	68,4	0,07	0,01	0,06	0,07	122
SDH 1	34,25	35,24	68,2	0,17	0,02	0,15	0,09	176
SDH 1	35,24	36,1	68,09	0,28	0,14	0,14	0,09	269
SDH 1	36,1	37,02	68,32	0,06	0,01	0,05	0,05	137
SDH 1	37,02	38,02	68,55	0,31	0,14	0,17	0,05	281
SDH 1	38,02	38,84	68,51	0,28	0,1	0,18	0,11	379
SDH 1	38,84	39,8	62,72	0,3	0,07	0,23	0,05	260
SDH 1	39,8	40,78	64,69	0,65	0,39	0,26	0,11	389
SDH 1	40,78	41,62	67,1	0,39	0,19	0,2	0,07	366
SDH 1	41,62	42,61	67,19	0,54	0,31	0,23	0,04	337
SDH 1	42,61	43,5	67,57	0,46	0,23	0,23	0,05	268
SDH 1	43,5	44,3	68,14	0,58	0,32	0,26	0,08	244
SDH 1	44,3	44,96	68,23	0,37	0,2	0,17	0,02	221
SDH 1	44,96	46,14	68,17	0,26	0,13	0,13	0,05	342
SDH 1	46,14	47,1	67,82	0,22	0,09	0,13	0,02	262
SDH 1	47,1	47,88	67,32	0,35	0,18	0,17	0,03	304
SDH 1	47,88	48,99	66,82	0,53	0,17	0,36	0,06	508
SDH 1	48,99	49,96	67,89	0,44	0,22	0,22	0,08	504

SDH 1	49,96	50,8	68,45	0,57	0,3	0,27	0,06	484
SDH 1	50,8	51,7	67,55	0,5	0,25	0,25	0,05	485
SDH 1	51,7	52,48	66,67	0,59	0,35	0,24	0,06	657
SDH 1	52,48	53,3	67,93	0,57	0,28	0,29	0,04	437
SDH 1	53,3	54,3	69,73	0,4	0,24	0,16	0,03	308
SDH 1	54,3	55,02	67,86	0,48	0,29	0,19	0,04	454
SDH 1	55,02	56,12	69,34	0,27	0,17	0,1	0,09	220
SDH 1	56,12	56,9	68,06	0,47	0,35	0,12	0,16	263
SDH 1	56,9	57,8	68,19	1,15	0,98	0,17	0,12	605
SDH 1	57,8	58,77	69,14	0,21	0,06	0,15	0,03	226
SDH 1	58,77	59,58	69,8	0,3	0,2	0,1	0,02	301
SDH 1	59,58	60,64	69,02	0,28	0,16	0,12	0,02	284
SDH 1	60,64	61,4	69,72	0,26	0,2	0,06	0,03	304
SDH 1	61,4	62,3	69,06	0,27	0,17	0,1	0,02	305
SDH 1	62,3	63,22	68,7	0,22	0,13	0,09	0,04	253
SDH 1	63,22	64,18	68,58	0,23	0,11	0,12	0,04	233
SDH 1	64,18	65,1	68,98	0,15	0,06	0,09	0,02	248
SDH 1	65,1	66	68,01	0,34	0,11	0,23	0,04	361
SDH 1	66	66,9	67,99	0,18	0,04	0,14	0,03	185
SDH 1	66,9	67,86	68,56	0,24	0,07	0,17	0,04	243
SDH 1	67,86	68,7	69,92	0,32	0,1	0,22	0,04	428
SDH 1	68,7	69,64	69,6	0,21	0,08	0,13	0,03	265
SDH 1	69,64	70,28	68,29	0,13	0,04	0,09	0,03	103
SDH 1	70,28	71,35	69,15	0,22	0,08	0,14	0,05	243
SDH 1	71,35	72,4	69,62	0,47	0,24	0,23	0,08	491
SDH 1	72,4	73,32	68,78	0,34	0,16	0,18	0,05	384
SDH 1	73,32	74,29	70,59	0,45	0,16	0,29	0,06	467
SDH 1	74,29	75,8	69,48	0	0	0	0	280
SDH 1	75,8	76,1	68,75	0	0	0	0	262
SDH 1	76,1	77,06	66,51	0	0	0	0	203
SDH 1	77,06	77,85	67,57	0	0	0	0	255
SDH 1	77,85	78,75	65,62	0	0	0	0	181
SDH 1	78,75	79,7	65,9	0	0	0	0	70
SDH 1	79,7	80,39	68,99	0	0	0	0	156
SDH 1	80,39	81,37	68,96	0	0	0	0	106
SDH 1	81,37	82,2	66,65	0	0	0	0	158

Información geoquímica sondaje SDH 4

HOLEID	FROM	TO	Fe DTT	Cu	CuLix	Culns	Au	Co
SDH 4	1	2	67,62					
SDH 4	2	3	66,36					
SDH 4	3	4	68,57					
SDH 1	4	5	68,44					
SDH 4	5	6	67,57					
SDH 4	6	7	68,1					
SDH 4	7	8	68,49					
SDH 4	8	9	67,64					
SDH 4	9	10	67,47					
SDH 4	10	11	66,88					
SDH 1	11	12	66,29					
SDH 4	12	13	67,28					
SDH 4	13	14	67,51					
SDH 4	14	15	67,71					
SDH 4	15	16	67,05					
SDH 4	16	17	68,13					
SDH 4	17	18	65,38					
SDH 4	18	19	65,7					
SDH 1	19	20	66,02					
SDH 4	20	21	68,07					
SDH 4	21	22	68,78					
SDH 4	22	23	68,9					
SDH 4	23	24	68,14					
SDH 4	24	25	69,02					
SDH 4	25	26	66,15					
SDH 1	26	27	67,43					
SDH 4	27	28	64,42					
SDH 4	28	29	64,4					
SDH 4	29	30	64,38					
SDH 4	30	31	62,34					
SDH 4	31	32	65,8					
SDH 4	32	33	65,71					
SDH 1	33	34	65,61					
SDH 4	34	35	65,9					
SDH 4	35	36	68,6					
SDH 4	36	37	69,11					
SDH 4	37	38	68,59					
SDH 4	38	39	68,52					
SDH 4	39	40	67,51					
SDH 1	40	41	67,25					
SDH 4	41	42	67,1					
SDH 4	42	43	66,9					
SDH 4	43	44	66,88					
SDH 4	44	45	67,32					
SDH 4	45	46	67,22					
SDH 4	46	47	67,93					
SDH 4	47	48	66,03					
SDH 4	48	49	64,12					
SDH 1	49	50	65,99					
SDH 4	50	51	65,5					
SDH 4	51	52	65,4					

2. Información geoquímica sondaje SDH 7

HOLEID	FROM	TO	Fe DTT	Cu	CuLix	CuIns	Au	Co
SDH 7	0	3	68,82	0,23	0,04	0,19	0,06	126
SDH 7	3	5	69,06	0,34	0,16	0,18	0,04	268
SDH 7	5	7	66,71	0,21	0,1	0,11	0,05	161
SDH 7	7	9	64,92	0,11	0,04	0,07	0,05	62
SDH 7	9	11	69,76	0,29	0,1	0,19	0,12	79
SDH 7	11	13	69,07	0,16	0,04	0,12	0,05	134
SDH 7	13	15	68,96	0,21	0,1	0,11	0,09	221
SDH 7	15	16,5	66,93	0,41	0,21	0,2	0,06	390
SDH 7	16,5	18	68,4	0,23	0,1	0,13	0,05	232
SDH 7	18	19,5	67,91	0,37	0,21	0,16	0,02	303
SDH 7	19,5	20,8	68,83	0,25	0,12	0,13	0,03	277
SDH 7	20,8	22,8	68,15	0,17	0,03	0,14	0,07	232
SDH 7	22,8	24,8	68,55	0,18	0,08	0,1	0,02	217
SDH 7	24,8	26,3	67,27	0,19	0,11	0,08	0,02	290
SDH 7	26,3	27,3	66,5	0,34	0,08	0,26	0,06	510
SDH 7	27,3	29	67,54	0,46	0,24	0,22	0,03	465
SDH 7	29	30	67,67	0,3	0,08	0,22	0,06	649
SDH 7	30	31	66,73	0,37	0,11	0,26	0,06	508
SDH 7	31	32	69,02	0,6	0,32	0,28	0,11	528
SDH 7	32	33	69,36	0,62	0,32	0,3	0,12	528
SDH 7	33	34	68,21	0,37	0,19	0,18	0,05	745
SDH 7	34	35	67,83	0,23	0,11	0,12	0,02	499
SDH 7	35	36	68	0,31	0,11	0,2	0,03	533
SDH 7	36	37	67,76	0,23	0,11	0,12	0,03	261
SDH 7	37	38	67,35	0,2	0,09	0,11	0,02	171
SDH 7	38	39	66,99	0,14	0,05	0,09	0,03	147
SDH 7	39	40	66,32	0,32	0,13	0,19	0,04	330
SDH 7	40	41	65,33	0,23	0,04	0,19	0,03	334
SDH 7	41	42	65,9	0,21	0,03	0,18	0,03	293
SDH 7	42	43	67,78	0,32	0,07	0,25	0,04	458
SDH 7	43	44	66,89	0,27	0,06	0,21	0,03	413
SDH 7	44	45	65,56	0,25	0,04	0,21	0,03	355
SDH 7	45	46	67,15	0,4	0,18	0,22	0,04	459
SDH 7	46	47	67,69	0,14	0,07	0,07	0,02	305
SDH 7	47	48	71,06	0,23	0,12	0,11	0,02	354
SDH 7	48	49	67,97	0,16	0,07	0,09	0,03	220
SDH 7	49	50	68,72	0,25	0,09	0,16	0,03	367
SDH 7	50	51	68,79	0,09	0,04	0,05	0,02	475
SDH 7	51	52	68,86	0,14	0,07	0,07	0,02	384
SDH 7	52	53	67,92	0,27	0,12	0,15	0,04	441
SDH 7	53	54	66,89	0,27	0,08	0,19	0,05	420
SDH 7	54	55	62,26	0,43	0,19	0,24	0,05	491
SDH 7	55	56	67,48	0,39	0,23	0,16	0,04	581
SDH 7	56	57	66,74	0,33	0,2	0,13	0,03	336
SDH 7	57	58	67,81	0,28	0,14	0,14	0,04	397
SDH 7	58	59	64,25	0,37	0,21	0,16	0,04	512
SDH 7	59	60	69,71	0,26	0,15	0,11	0,04	344
SDH 7	60	61	69,37	0,19	0,1	0,09	0,03	297
SDH 7	61	62	66,99	0,26	0,16	0,1	0,04	306
SDH 7	62	63	67,36	0,14	0,08	0,06	0,03	184
SDH 7	63	64	67,5	0,28	0,16	0,12	0,04	404
SDH 7	64	65	67,46	0,33	0,18	0,15	0,05	372
SDH 7	65	66,5	66,31	0,21	0,1	0,11	0,03	305
SDH 7	66,5	68	61,75	0,24	0,13	0,11	0,11	189
SDH 7	68	70	61,78	0,18	0,12	0,06	0,09	99
SDH 7	70	72	61,8	0,22	0,12	0,1	0,1	142
SDH 7	72	74	61,84	0,26	0,12	0,14	0,08	177
SDH 7	74	76	62,09	0,23	0,1	0,13	0,07	145
SDH 7	76	78	63,71	0,13	0,05	0,08	0,04	104
SDH 7	78	80	65,67	0,06	0,02	0,04	0,02	78
SDH 7	80	82	67,15	0,05	0,01	0,04	0,02	60
SDH 7	82	84	65,64	0,07	0,02	0,05	0,02	92
SDH 7	84	86	67,34	0,07	0,02	0,05	0,09	102
SDH 7	86	88	67,69	0,11	0,04	0,07	0,03	166
SDH 7	88	90	68,19	0,12	0,06	0,06	0,05	138
SDH 7	90	91,5	68,08	0,13	0,03	0,1	0,05	143
SDH 7	91,5	93,5	67,85	0,18	0,15	0,03	0,29	43

Townley et al., (2018) realizó cuatro muestreos geoquímicos correspondientes a la zona de interés. Las muestras levantadas en la Mina La Estrella, Distrito El Zapallo, fueron analizadas mediante una Digestión de Aqua Regia y análisis ICP-ES. A continuación, se presentan los resultados obtenidos para los elementos de interés; Cu, Fe, Co, Mn, As y S.

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