



UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

ESTUDIO DE LA ZONA DE ALTERACION DEL PROYECTO GENESIS, IV REGION DE COQUIMBO

MEMORIA PARA OPTAR AL TITULO DE GEOLOGO

LUCAS VICTOR NAVARRO FERNANDEZ

PROFESOR GUIA:

BRIAN TOWNLEY CALLEJAS

MIEMBROS DE LA COMISION:

KATJA DECKART

MARCELO GARCIA GODOY

SANTIAGO DE CHILE

2018

RESUMEN DE LA MEMORIA
PARA OPTAR AL TITULO
DE GEOLOGO
POR: LUCAS NAVARRO FERNANDEZ
FECHA: 25/05/2018
PROF. GUIA: SR. BRIAN TOWNLEY

Estudio de la zona de alteración del Proyecto Génesis, IV Región de Coquimbo

El presente trabajo muestra un análisis geológico del Proyecto Génesis, ubicado 10 km al sur de la ciudad de Vicuña, IV Región de Coquimbo. Se han realizado distintos tipos de trabajos desde el 2008 a la fecha, recolectando distintos tipos de información, entre ellas geoquímica, geofísica y sondajes de aire reverso. El modelo conceptual está asociado principalmente a una zona de alteraciones hidrotermales donde se han reconocido zonas alteradas con anomalías geoquímicas de oro, cobre y metales base. Este trabajo consiste en la integración de distinta información geocientífica para esbozar las perspectivas exploratorias del proyecto Génesis.

Entre los principales resultados se muestra que hay anomalías geoquímicas de Cu, Au y Mo en la zona. Un análisis estadístico acotado a una zona de interés permite asociar elementos, generando trazadores geoquímicos que usualmente marcan la mineralogía relacionada a zonas de alteración epitermales. Además, se reconocieron vetas de vuggy silica con texturas oquerosas en el centro de la estructura y vetillas de cuarzo-alunita que dan cuenta de una alteración argilica avanzada hipógena, siendo estas las características clásicas de un sistema epitermal de alta sulfuración. El programa de sondajes anterior totalizó 3.600 metros en 12 sondajes, interceptando varias zonas angostas (menores a 10 metros en la mayoría de los casos) de vetas de cuarzo y/o brechas hidrotermales hospedadas en rocas volcanoclásticas, o rocas intrusivas alteradas, caracterizadas por la presencia de valores anómalos de metales preciosos y metales base. Los interceptos más relevantes incluyen 2 m con 4.6 g/t Au (289-291 m) en el sondaje GR-06; 4 m con 0,7 g/t Au (68-72m) en el sondaje GR-05, 0,24% Cu y 0,52% Zn en 11 m (61-72 m) en el sondaje GR-04. Además, la recolección de detritos del sondaje GR-07 indica fragmentos con alteración cuarzo-sericita y otros fragmentos con alteración potásica, por lo que el modelo genético de los depósitos da indicios para relacionar un hipotético pórfido cuprífero en profundidad. Las expectativas exploratorias son aun inciertas por lo que se recomienda reorientar un nuevo programa de exploraciones en los blancos de interés mencionados en este trabajo.

Agradecimientos

Dedicado a mis padres, Hugo y Elizabeth, que con esfuerzo y sudor me dieron la vida.

Dedicado a los que me han acompañado todo este tiempo en especial mis hermanas Daniela y Nicole. También para amigos que me han acompañado en esta etapa de mi vida, con quienes compartí tardes de risas y alegrías, primos, tíos, familiares. Agradecimientos también para Carlos y el equipo de Minerals Cluster cuya confianza fue primordial para mi formación profesional. A todos ellos, gracias!

Agradecimientos especiales al profesor Victor Maksaev y Brian Townley que me escucharon y ayudaron a pulir ideas en estos últimos años. También agradezco a los profesores Katja Deckart y Marcelo García por su disposición para participar como miembros evaluadores de la comisión.

A todos ellos, gracias desde el corazón.

Ronda de los Metales

(Gabriela Mistral)

Del centro de la Tierra,
Oyendo la señal,
Los Lázaros metales
Subimos a danzar

Estábamos dormidos
Y costó despertar
Cuando el Señor y Dueño
Llamó a su mineral.

*¡Halá!. ¡halá!,
¡el Lázaro metal!*

Veloz o lento bailan
Los osos del metal:
El negro topa al rojo,
El blanco al azafrán.

*¡Va-viene y va-
El Lázaro metal!*

El cobre es arrebató,
La plata es maternal,
Los hierros son Pelayos;
El oro, Abderrahmán.

Baila con llamaradas
La gente mineral:
Van y vienen relámpagos
Como en la tempestad.

La ronda asusta a ratos
Del resplandor que da,
Y silba la Anaconda
En plata y en timbal.

*¡Halá!. ¡halá!,
¡el Lázaro metal!*

En las pausas del baile
Quedamos a escuchar
-niños recién nacidos-
El tumbo de la mar.

Vengan los otros Lázaros
Hacia su libertad;
Salten las bocaminas
Y lleguen a danzar.

*¡Ya sube, ya,
El Lázaro metal!*

Cuando relumbre toda
La cancha del metal,
La Tierra vuelta llama
¡qué linda va a volar!

Y va a subir a los cielos,
En paloma pascual,
Como era cuando era
En flor la Eternidad.

*¡Halalalá!,
¡el Lázaro metal!*

Contenido

Capítulo I Introducción.....	1
1.1 Generalidades.....	1
1.2 Objetivos.....	2
1.2.1 Objetivo general y alcances.....	2
1.2.2 Objetivos específicos.....	2
1.3 Ubicación y accesos.....	3
1.4 Metodología.....	4
1.5 Hipótesis de trabajo y resultados esperados.....	5
1.6 Concesiones Mineras.....	5
1.7 Antecedentes.....	5
Capítulo II Marco Geológico Regional.....	8
2.1 Generalidades.....	8
2.2 Rocas Estratificadas.....	9
2.2.1 Pérmico- Triásico.....	9
2.2.2 Jurásico.....	10
2.2.3 Cretácico Inferior.....	10
2.2.4 Cretácico Superior.....	11
2.3 Rocas Plutónicas.....	12
2.3.1 Batolito Elqui-Limari (Paleozoico).....	12
2.3.2 Cretácico Inferior.....	13
2.3.3 Cretácico Superior.....	13
2.3.4 Paleoceno- Eoceno Inferior.....	14
2.4 Neógeno y Cuaternario.....	14
Capítulo III Geología y definición de áreas prospectivas.....	17

3.1 Generalidades	17
3.2 Litología, estructuras y lineamientos.....	17
3.3 Análisis Multiespectral	21
3.4 Alteraciones y mineralización	23
3.5 Geoquímica de reconocimiento	34
3.5.1 Generalidades	34
3.5.2 Análisis Univariable	34
3.5.3 Análisis Multivariable y Factorial	37
3.6 Geoquímica superficial en grilla sistemática.....	43
3.6.1 Generalidades	43
3.6.2 Análisis univariable	43
3.6.3 Análisis de variables.....	45
3.6.4 Definición de blancos de exploración de Hampton.....	47
3.7 Estudios Geofísicos	54
3.7.1 Generalidades	54
3.7.2 Magnetometría.....	56
3.7.3 Polarización Inducida (IP).....	59
3.8 Campaña de Sondajes.....	63
3.8.1 Generalidades	63
3.8.2 Descripción de sondajes	63
3.8.3 Resumen de Sondajes	74
Capítulo IV Geología de las zonas de interés.....	76
4.1 Generalidades	76
4.2 Geología y alteraciones de la Zona Norte	76
4.3 Geología y alteraciones de la Zona Pangué.....	84
Capítulo V Discusiones	89

5.1 Generalidades	89
5.2 Análisis Distrital	89
5.2 Los depósitos epitermales, modelos varios	93
5.3 Relación entre los depósitos epitermales y los pórfidos cupríferos, modelos varios	99
5.4 Programa de exploraciones propuesto	105
5.4.1 Generalidades	105
5.4.2 Exploraciones en blancos epitermales	105
5.4.3 Exploraciones en blancos tipo pórfido cuprífero	107
Capítulo VI Conclusiones y Recomendaciones	109
Bibliografía	111
Capítulo de Anexos	114
1.1 Muestras	114
1.2 Litogeoquímica ICP	127
1.3 Geofísica	129
1.3.1 Trabajo de Terreno Magnético	129
1.3.2 Trabajo de Terreno IP	129
1.3.3 Procesos de Datos Magnéticos	130
1.3.4 Procesos e inversión de datos geoelectricos	131
1.3.5 Mapas Magnéticos	132
1.3.6 Mapas Geoelectricos	136
1.4 Sondajes	139
1.4.1 Metodología	139
1.4.2 Programa de sondajes	141
1.4.3 Muestras recuperadas	141
1.4.4 Geología	143
1.4.5 Análisis (“XRF”)	145

Indice de Figuras

1.1 Ubicación del proyecto Génesis	3
1.2 Concesiones mineras	6
1.3 Fajas de depósitos	7
2.1 Mapa geológico regional y distrital	16
3.1 Mapa de Litologías y lineamientos	18
3.2 Fotografía de unidades geológicas	19
3.3 Columna estratigráfica de la Fm. Los Elquinos	20
3.4 Esquema de análisis multiespectral tipo “angle mapper”	21
3.5 Mapa de alteraciones ASTER	22
3.6 Fotogeología de parches de alteración	24
3.7 Mineralogía de alteración	24
3.8 Zonas de alteración argílica	25
3.9 Zonas silicificadas	26
3.10 Microfotografía de alteración en brechas	27
3.11 Imagen satelital de rocas silicificadas	27
3.12 Zonas con alteración propilitica	28
3.13 Microfotografía alteración propilitica	29
3.14 Detrito con alteración potásica	29
3.15 Microfotografía con alteración potásica B2AR	30
3.16 Microfotografía con alteración potásica B2AR	30
3.17 Detrito de sondaje GR-7. Especimen B2AR. Filica	31
3.18 Microfotografía alteración Filica	31
3.19 Microfotografía alteración supérgena B2AR	31
3.20 Microfotografía alteración supérgena GE-AR-Super	32
3.21 Mapa de alteraciones Hidrotermales	33
3.22 Diagrama de cajas para elementos geoquímica ICP	36
3.23 Mineralización en vetas polimetálicas (sulfosales y manganeso)	38

3.24 Mineralización en vetas polimetálicas (Galena y Aspy)	38
3.25 Análisis factorial entre factores 1 y 2	41
3.26 Mineralización en estructuras de interés	41
3.27 Ubicación de muestras para análisis ICP	42
3.28 Diagrama de cajas para Cu, Au, Mo, Ag	45
3.29 Matriz de correlación para Cu, Au, Mo, Ag	46
3.30 Análisis de componentes principales	47
3.31 Mapa geoquímico de Au	48-49
3.32 Mapa geoquímico de Cu	50-51
3.33 Desmontes de labores artesanales en veta polimetálica	51
3.34 Mapa geoquímico de molibdeno	52-53
3.35 Microfotografía de molibdenita y calcopirita	53
3.36 Líneas de medición de magnetometría e IP	55
3.37 Mapa reducido al polo del campo magnético	57
3.38 Mapa reducido al polo de la primera derivada vertical	58
3.39 Perfiles de IP, resistividad y cargabilidad	60
3.40 Perfiles de cargabilidad en cota 800 y 9000	62
3.41 Leyenda de sondajes	64
3.42 Mapa de ubicación de sondajes	65
3.43 Perfil de sondaje 1 y 6	66
3.44 Perfil de sondaje 2	67
3.45 Perfil de sondaje 3 y 7	69
3.46 Perfil de sondaje 4	70
3.47 Perfil de sondaje 5 y 9	71
3.48 Perfil de sondaje 10 y 11	72
3.49 Perfil de sondaje 8	73
3.50 Perfil de sondaje 12	74
4.1 Mapa geológica Brechas Norte	77
4.2 Conjunto de vetas en zona Brechas Norte	79
4.3 Foto de brechas hidrotermales en Zona Norte	80
4.4 Labores artesanales en cuerpo de brechas 5	81

4.5 Fotografía de conjunto de brechas	82
4.6 Zona de vetas polimetálicas	83
4.7 Imagen satelital Zona Pangué	84
4.8 Geología Zona Pangué	85
4.9 Fotos de vuggy silica y stockwork	86
4.10 Fotografía de estructura de veta epitermal	87
4.11 Detalle de stockwork y mineralogía asociada	88
4.12 Especímenes de vuggy en Zona Pangué	88
5.1 Análisis distrital de la provincia metalogénica de la mediana montaña	92
5.2 Diagrama de fugacidad de S-T	94
5.3 Geometría de menas y veta tipo “Creed”	95
5.4 Modelo de depósito epitermal tipo “High Sulfidation”	96
5.5 Diagrama esquemático del ambiente de formación de aguas ácidas	97
5.6 Fotos con tipos de alunita reconocidas	98
5.7 Dibujo esquemático de procesos en sistemas volcánicos y geotermales	99
5.8 Fragmentos del sondaje 3 y 7	100
5.9 Modelo de depósitos tipo pórfido y litocapas asociadas	101
5.10 Modelo de depósito pórfido tipo Lepanto	102
5.11 Apilamiento de Litocapas	103
5.12 Apilamiento de litocapas, niveles estériles y niveles de bonanza	104
5.13 Programa de canaletas propuestas en el proyecto Génesis	106
5.14 Programa de sondajes propuestos para el proyecto Génesis	108
1.4.1 Diagrama de flujo de muestreo y análisis en laboratorio	139
1.4.2 Pesaje de muestra e instrumento de cuarteo	140
1.4.3 Trabajos de sondajes	142
1.4.4 Distribución de litologías registradas por los sondajes	144
1.4.5 Gráfica de variación de elementos del sondaje GR-1	146
1.4.6 Gráfica de variación de elementos del sondaje GR-2	146
1.4.7 Análisis factorial de elementos para todos los sondajes	147
1.4.8 Correlación entre instrumentos de análisis XRF y Laboratorio	147

Indice de Tablas

3.1 Resumen de estadísticas para muestreo ICP	34
3.2 Matriz de correlación de elementos analizados por ICP	37
3.3 Matriz de correlación en veta de interés	39
3.4 Matriz de configuración de elementos analizados por ICP	40
3.5 Estadísticas univariadas para Cu, Au, Ag y Mo	43
3.6 Matriz de configuración para Cu, Au, Ag y Mo	46
3.7 Resumen de sondajes	75
5.1 Denominación de los depósitos epitermales	93
5.2 Sondajes propuestos para blanco pórvido en profundidad	107
1.4.1 Índice de recuperación de material	141
1.4.2 Índice de recuperación de material seco	142
1.4.3 Índice de recuperación de material con agua	143
1.4.4 Registro de minerales índice en los sondajes	144
1.4.5 Elementos detectados por XRF	145
1.4.6 Coeficiente de correlación entre instrumentos XRF e ICP	147
1.4.7 Resumen de estadísticas para elementos analizados	147

Capítulo I Introducción

1.1 Generalidades

Este trabajo tiene como finalidad presentar un estudio sobre las zonas de alteración en el Proyecto Génesis. La memoria está basada en la revisión de datos e información facilitados por la empresa Minerals Cluster. El objetivo principal es realizar un estudio y análisis de las rocas alteradas del prospecto, para lo cual se cuentan con información y datos que son presentados en este documento.

El proyecto Génesis se encuentra actualmente en una etapa de exploraciones de tipo “*scouting avanzado*”, dado que se han realizado actividades de tipo prospectivo desde el año 2005 con el fin de buscar recursos minerales para los dueños de las concesiones mineras. No obstante, desde fechas anteriores y hasta la actualidad han existido explotaciones artesanales tipo “pirquenes” en rocas que contienen minerales oxidados de cobre, además de oro según indican los mineros de la zona.

El rasgo principal del prospecto es la destacada coloración rojiza y blanca de las rocas alteradas, lo que dio inicio a sucesivas etapas de carácter prospectivo. En el año 2009 la empresa minera Hampton tomó la opción de compra sobre las propiedades por lo que decidió ejecutar un programa de muestro y reconocimiento mediante análisis de ICP, recolectándose aproximadamente 120 muestras. En el 2010 se realizó una grilla sistemática de muestreo de aproximadamente 1200 muestras, con análisis geoquímico, por ICP y ensaye al fuego para oro. En el mismo año se realizaron 9 km de líneas de polarización inducida (de ahora en adelante IP) y un estudio de magnetometría terrestre. En el año 2011, combinando la información geofísica con las mayores anomalías de oro, la empresa Hampton (actualmente Metminco) decidió realizar 3600 metros de perforaciones de aire reverso, interceptando valores de oro en algunos tramos cortos (menores a 4 metros), por lo que desistió de continuar con las exploraciones en el prospecto.

En el presente trabajo el autor realizó algunas visitas al prospecto, se tomaron muestras en algunos puntos de interés y se realizaron mapeos de detalle a escala 1:10.000 y 1:5000 de las zonas de alteración que presentan un mayor atractivo potencial exploratorio, dada la cantidad de información y datos con los que se cuentan. Además, se discuten modelos de alteración hidrotermal en función

de la mineralogía y de las evidencias observadas en terreno, para lo cual se formula una hipótesis sobre la génesis del depósito.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general y alcances

Este trabajo de memoria de título tiene como objetivo general:

- Analizar los datos e información geológica para caracterizar las zonas de alteración del proyecto Génesis.

Los alcances de este trabajo de título están supeditados al nivel de información con la que se cuenta del prospecto, la cual es discutida en los apartados posteriores. Este informe está orientado para formular una hipótesis sobre el ambiente de alteración y para indicar el potencial exploratorio de recursos geológicos posibles.

1.2.2 Objetivos específicos

Los objetivos específicos de este trabajo de título son:

- Presentar la geología del prospecto.
- Plantear un modelo de depósito del prospecto
- Definir nuevos blancos de exploración a partir de la información con la que se cuenta
- Validación en terreno de la información preexistente

1.3 Ubicación y accesos

En la figura 1.1 se muestra un mapa con la ubicación del proyecto Génesis. Este prospecto está localizado en la IV Región de Coquimbo, a 10 kilómetros al sur de la ciudad de Vicuña y a 65 kilómetros al este del puerto de Coquimbo. Las alturas varían entre los 1300 y 1500 metros sobre el nivel del mar (m s.n.m). Al proyecto se accede desde la ciudad de Santiago tomando la carretera Panamericana Norte en dirección a la ciudad de La Serena. Este trayecto considera una distancia de 480 kilómetros. Ya en la ciudad de La Serena se debe avanzar por 60 km por la carretera C-41 hasta llegar a la ciudad de Vicuña y desde allí avanzar 11 km tomando un camino rural hacia el sur que une la ciudad de Vicuña con el pueblo de Río Hurtado.



Figura 1.1 Mapa de ubicación del proyecto Génesis. (Tomado de Turistel).

1.4 Metodología

1.4.1 - Marco geológico y estudios anteriores

Durante años anteriores se realizaron campañas prospectivas de terreno en toda el área de las propiedades del proyecto Génesis. Durante el mes de agosto y octubre del 2017 se realizaron visitas al prospecto por lo que en este trabajo se presenta un mapa actualizado de la litología, y alteraciones a escala 1:25.000, uno a escala 1:10.000 y otro a escala 1:5.000. Se consultaron fuentes de información como las cartas Geológicas del Sernageomin, desde la que se tomó el marco geológico regional para explicar el contexto macro. También se consultó la carta de recursos naturales y energéticos n°29 de yacimientos metalíferos de la zona (Jorquera et al., 2009).

1.4.2 - Estudios de laboratorio y gabinete

Durante el segundo semestre del 2017 se realizaron estudios para caracterizar las rocas y minerales de alteración, para la cual se realizaron cuatro cortes transparentes y un corte pulido que fueron analizados en el microscopio. Uno de los cortes transparente corresponde a los fragmentos recuperados del sondaje GR-7, los restantes corresponden a rocas alteradas representativas de los afloramientos donde fueron tomadas.

Con los datos disponibles de las campañas de geoquímica se realizó un procesamiento de información estadística con el software *iogas* y *xlstat*. Con estos programas se realizó el estudio multivariable que indica correlaciones entre elementos.

Una descripción de muestras de mano se adjunta en anexos para las distintas rocas recogidas en terreno.

1.5 Hipótesis de trabajo y resultados esperados

La hipótesis de trabajo principal postula la presencia de uno o más cuerpo/s ígneo/s como principal fuente de fluidos que ascendieron y alteraron las rocas de caja del prospecto. Dadas las evidencias de alteración también se postula la existencia de depósitos de tipo epitermales cuya expresión superficial de alteración calza con los modelos de depósitos de alta sulfuración y de sulfuración intermedia. Lo anterior se ajusta al modelo de alteración de la parte alta de los sistemas tipo pórfidos cupríferos, por lo que uno de estos depósitos es postulado como blanco de exploración. Los resultados esperados son los correspondientes a una campaña de exploraciones de tipo básica o generativa, para la cual es deseable al menos contar una noción del posible modelo geológico y las evidencias suficientes que permitan vectorizar nuevos sondeos *scout* de exploración correspondiente a esta etapa de evaluación.

1.6 Concesiones Mineras

El Proyecto Génesis cubre un área de aproximadamente 30 km² y la Sociedad Legal Minera Génesis mantiene los 30 km² de concesiones mineras, mensuras que se encuentran inscritas en el conservador de Minas de la Ciudad de Vicuña. Las concesiones se encuentran divididas en 30 mensuras de explotación constituidas según la legislación vigente. Cada una de las concesiones corresponde a 100 hectáreas tal como se indica en la figura 1.2.

1.7 Antecedentes

En la figura 1.3 modificada de Perelló et al. (1996) se muestra la faja de pórfidos del Eoceno Medio- Oligoceno Temprano. Se indica esta asociación con las fallas regionales (sistemas de fallas de Domeyko y el sistema de falla de Punilla- La Plata). El proyecto Génesis se ubica al oeste de la Falla Vicuña, y la franja metalogénica en este distrito es de una edad discutible ya que no se cuentan con dataciones geocronológicas de las unidades geológica dentro del prospecto.

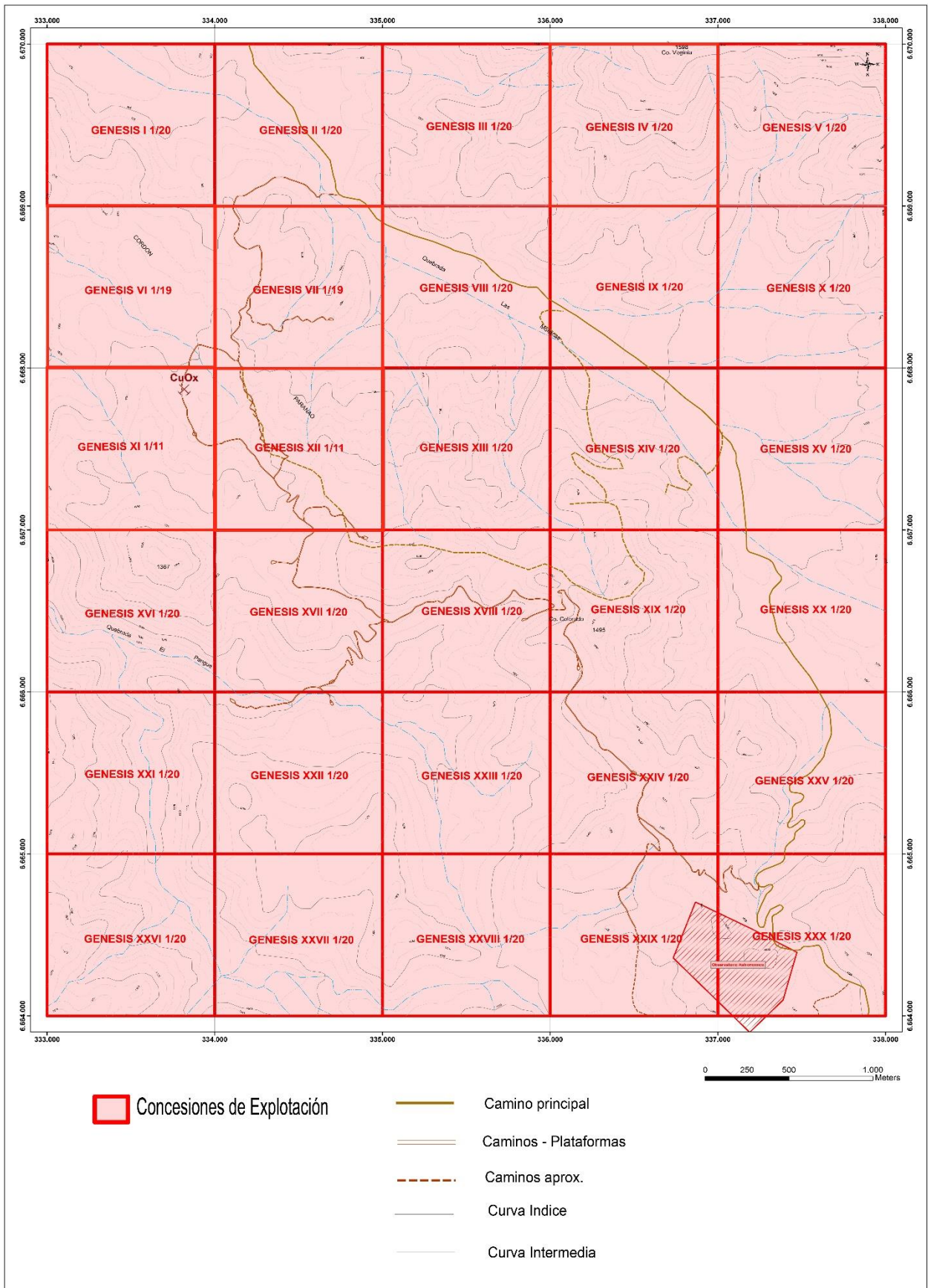


Figura 1.2 Concesiones mineras. Tomada de catastro minero del Sernageomin (actualizado con fecha 20-05-2018).

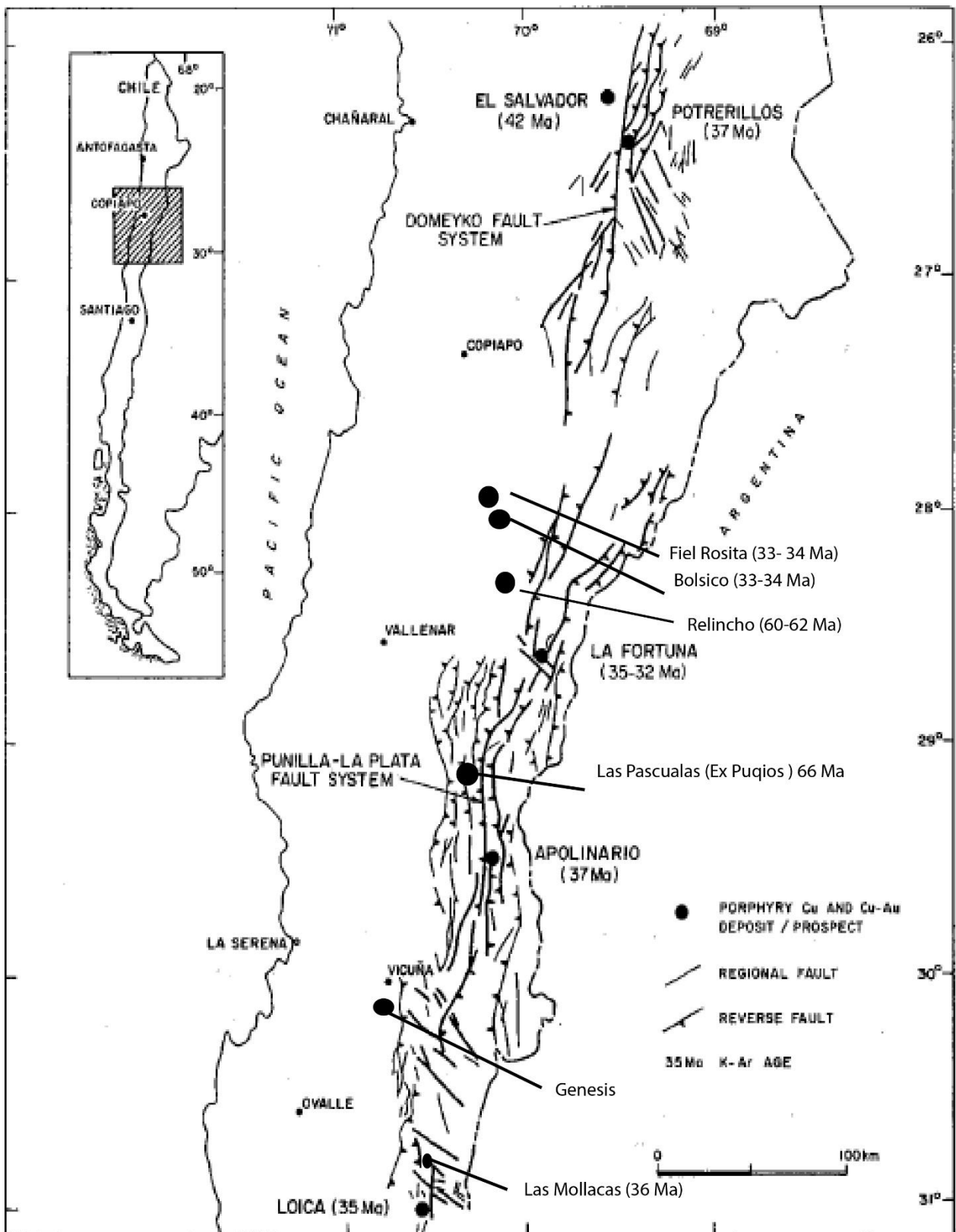


Figura 1.3 Fajas de depósitos, prospectos del Paleógeno y sus edades. Modificado de Perelló et al. (1996).

Capítulo II Marco Geológico Regional

2.1 Generalidades

La siguiente información está tomada de la Hoja Vicuña-Pichasca de Emparán y Pineda (2006), elaborada por el Sernageomin. En el área Vicuña- Pichasca, ubicada en la precordillera de la Región de Coquimbo, entre los 30°00'-30°30'S y 70°30'-71°00'W, afloran rocas cuyas edades van desde el Paleozoico hasta el Eoceno superior. Las rocas más antiguas, de edad carbonífera, corresponden a plutones de variada composición y dimensión, denominados Plutón Paiguano, Plutón Río Claro y Plutón Chapilca, pertenecientes al Batolito Elqui-Limarí. Sus equivalentes volcánicos están representados por una secuencia volcánica continental, constituida por brechas piroclásticas, tobas, lavas ácidas y pequeñas intercalaciones de limolitas con flora fósil de edad Pérmica, representada por la Fm. Matahuaico. La actividad volcánica persiste hasta el Triásico, incluyendo, además, el desarrollo de pequeñas cuencas lacustres caracterizadas por rocas de la Fm. Las Breas. Pequeños afloramientos del Jurásico Inferior se reconocen como evidencia de la primera transgresión marina que tenía como límite oriental el batolito paleozoico. Siguiendo al alzamiento y posterior retirada del mar, comienza un periodo de erosión acompañado de actividad volcánica, representado por la Fm. Algarrobal de edad jurásica medio-superior. Luego se desarrolla una nueva cuenca marina de edad cretácica inferior, representada por la Fm. Río Tascadero en el sector oriental y por la Fm. Arqueros en el sector occidental. Un periodo de extensión continental de edad cretácica inferior-superior temprano, que abarca más del 50% del área de estudio, da origen a las cuencas sedimentarias representadas por la Fm. Quebrada Marquesa, Los Estratos de Quebrada La Totorá y la Fm. Pucalume. Este ciclo está acompañado de una intensa actividad volcánica andesítica y piroclástica, caracterizada por rocas de la Fm. Viñita, de edad cretácica superior bajo. La actividad volcánica continúa en forma ininterrumpida en el Cretácico Superior alto con aportes sedimentarios (Fm. Los Elquinos), y culmina con la generación de estructuras tipo caldera (Caldera Cerro Tololo) en rocas de los Estratos de Quebrada Yungay. En el Paleoceno-Eoceno la actividad magmática continúa, pero con menor desarrollo, y se manifiesta con plutones tipo stock de composición granítica a diorítica.

La región puede ser dividida en tres dominios estructurales: 1) Dominio occidental, caracterizado primero por un régimen extensional continental de edad cretácica temprana representada por el

Sistema de Fallas El Romero que da origen a la cuenca de Quebrada Marquesa, seguido por una deformación compresional que da origen el Anticlinal de Talcuna y una serie de pliegues que afectan la Fm. Quebrada Marquesa. En el Cretácico Tardío bajo se genera la Falla El Chape, estructura de crecimiento de dirección NNE reactivada de forma inversa que pone en contacto rocas de la Fm. Quebrada Marquesa con rocas de los Estratos de Quebrada La Totorá. La reactivación está marcada por un plegamiento en rocas de los Estratos de Quebrada La Totorá. 2) Dominio Central, caracterizado por el Cretácico tardío, donde se registra otro evento extensivo representado por la cadera cerro Tololo, estructura volcánica semicircular cuyo eje mayor de dirección NNW alcanza 17 km de largo y eje menor de dirección este-oeste de 16 km de largo. 3) Dominio oriental, caracterizado por un sistema estructural que se inicia con una falla inversa Eocena (Falla Rivadavia) que pone en contacto plutones pérmicos-triásicos con la cobertura mesozoica. La Falla Vicuña, de probable edad Eocena, representaría un retrocorrimiento que levanta toda la cobertura mesozoica, con dirección norte-sur y ángulos de 18° hasta 45° y largo aproximado de 150 km.

2.2 Rocas Estratificadas

2.2.1 Pérmico- Triásico

Formación Matahuaico(Pérmico) La Fm. Matahuaico fue definida por Dediós (1967) como una secuencia volcánica de origen continental, constituida principalmente por brechas piroclásticas, tobas, lavas ácidas y limonitas. En el área de estudio, la formación posee espesores variables y alcanza hasta 1000 m de potencia. De base no expuesta y techo en discordancia de erosión con las formaciones Tres Cruces (Jtc), Algarrobal (Ja) y Las Breas (Trlb).

Formación Las Breas (Triásico-Jurásico) Definida por Dediós (1967), en el Cuadrángulo Vicuña. La describe como una secuencia de rocas sedimentarias continentales, formada principalmente por conglomerados, lutitas carbonosas y areniscas en las que los clastos más abundantes son de cuarzo. Emparan y Pineda (1999), en el Área de Condoriaco-Rivadavia, la redefinieron como una secuencia sedimentaria y volcánica continental de 300-550 m de espesor en las que se reconocen tres asociaciones de facies: la primera integrada por rocas sedimentarias de color blanco anaranjado

a negro con un nivel de lutitas negras con flora fósil; la segunda, por ingnimbritas riódacíticas y riolitas gris rojizo con una intercalación sedimentaria con flora fósil, y la tercera compuesta por andesitas y basaltos de piroxenos.

2.2.2 Jurásico

Formación Tres Cruces. (Jurásico Inferior). La Fm. Tres Cruces fue definida por Dediós (1967) en el cuadrángulo Vicuña, como una secuencia sedimentaria marina fosilífera integrada por conglomerados finos, areniscas cuarcíferas, areniscas calcáreas, calizas fosilíferas y lutitas de edad jurásica. En el área de estudio aflora con una potencia máxima de 200 m, está cubierta en discordancia angular y de erosión por la Fm. Algarrobal (Ja) y se apoya en discordancia de erosión sobre las formaciones Las Breas y Matahuaico.

Formación Algarrobal (Ja) (Jurásico). Fue definida por Dediós (1967) en la quebrada homónima, en el cuadrángulo de Rivadavia, como una secuencia de rocas volcánicas andesíticas y sedimentarias clásticas, de origen continental. En la Geología del Área Vicuña-Pichasca, esta formación está constituida por aproximadamente 2.500 m de tufitas, andesitas, tobas y arenisca rojas. Se apoya en discordancia de erosión sobre las formaciones Matahuaico, Las Breas y Tres Cruces y está cubierta de igual manera por las formaciones Río Tascadero y Pucalume. Al sur del río Hurtado, la falla Vicuña la pone en contacto con la Fm. Los Elquinos.

2.2.3 Cretácico Inferior

Formación Río Tascadero (titoniano superior- Hauteriviano). Fue definida por Rivano (1980) en la localidad homónima, como una secuencia de rocas carbonatadas de origen marino. En la zona de estudio, corresponde a una secuencia de aproximadamente 700 m de espesor, bien estratificada, de color pardo amarillento, muy deformada, constituida por calizas de grano fino. Su base cubre, en discordancia de erosión, la Fm. Algarrobal y está cubierta, en discordancia de erosión, por la Fm. Pucalume.

Formación Quebrada Marquesa (Hauteriviano- Albiano temprano). La Fm. Quebrada Marquesa fue definida por Aguirre y Egert (1962) como una secuencia sedimentaria clástica de origen predominantemente continental, y volcánica, con una intercalación marina en la base. Su base no está expuesta, sin embargo en su localidad tipo está, principalmente, en contacto por falla y discordancia de erosión con la Fm Arqueros (Emparán y Pineda, 1999) y su techo, lo constituyen los Estratos de Quebrada La Totora que en el área de estudio está en contacto por una falla normal (falla El Chape).

Formación Pucalume (Barremiano-Cenomaniano). Definida por Dediós (1967) como una secuencia de origen continental, constituida principalmente por rocas sedimentarias clásticas y subordinadamente por depósitos piroclásticos y lavas andesíticas. En la región, presenta aproximadamente 500 m de espesor, aflora en dos franjas de color rojo, finamente estratificadas, constituidas por conglomerados finos, areniscas y calizas. Se apoya discordantemente sobre la Fm. Algarrobal y en concordancia sobre la Fm. Río Tascadero y está cubierta en discordancia por la Fm. Viñita.

Estratos de Quebrada La Totora (Albiano medio-Cenomaniano). Definida por Emparan y Pineda (1999) como una secuencia sedimentaria continental. Aflora en el área de Condoriaco Rivadavia como una franja bicolor (pardo y amarilla), norte-sur, que cruza la quebrada Marquesa a la altura de la quebrada La Totora y que equivale a los miembros uno y dos de la Fm. Viñita. En el área de estudio, alcanza una potencia aproximada de 1.000 m y está constituida por cuatro asociaciones de facies: conglomerados con intercalaciones de areniscas, areniscas calcáreas y lutitas lacustres, conglomerados monomícticos y brechas líticas. Sobreyace en discordancia de erosión a la Fm. Quebrada Marquesa y subyace en concordancia a la Fm. Viñita.

2.2.4 Cretácico Superior

Formación Viñita (Turoniano-Coniciano?). Definida por Aguirre y Egert (1965) en el cuadrángulo Quebrada Marquesa como una secuencia de rocas clásticas y volcánicas de origen continental, comprendidas en tres miembros. Posteriormente, Emparan y Pineda (1999) la redefinieron, dejando como los Estratos de Quebrada la Totora los miembros uno y dos y la Fm. Viñita propiamente tal el miembro 3. En esta nueva definición, la Fm. Viñita se describe como una secuencia volcánica con intercalaciones sedimentarias continentales. Su espesor es difícil de calcular debido a que los intrusivos interrumpen la continuidad de los afloramientos. Mpodozis y Cornejo (1988) estimaron potencias parciales entre 500 y 1.500 m entre los ríos Hurtado y Grande. En el área de estudio, está cubierta en discordancia por ignimbritas de los Estratos de Quebrada Yungay y en aparente concordancia por la Fm. Los Elquinos. Se apoya en paraconcordancia sobre los Estratos de Quebrada La Totora y en discordancia con la Fm. Pucalume.

Formación Los Elquinos. (Campaniano-Maastrichtiano?). Definida por Aguirre y Egert (1965) al norte del río Elqui, como una secuencia de origen continental, constituida por lavas, tobas y brechas de composición basáltica a riolítica. Posteriormente Emparan y Pineda (1999) la redefinieron separándola en dos unidades: los Estratos de Quebrada Yungay y la Fm. Los Elquinos. Esta formación es una secuencia volcanosedimentaria continental, multicolor, bien estratificada en la que alternan principalmente rocas sedimentarias con intercalaciones de lavas y rocas piroclásticas. El espesor alcanzaría los 3.500 m en algunas partes, sin sobrepasar los 1.500m en el valle del río Hurtado. Su base en discordancia la constituyen la Fm. Viñita y su techo, también discordante, los Estratos de Quebrada Yungay.

Estratos de Quebrada Yungay (Maastrichtiano). Definidos por Emparan y Pineda (1999) como una secuencia de rocas volcánicas, mayormente piroclásticas, separadas en dos asociaciones de facies correspondiente a ignimbritas, tobas y lavas andesíticas. En el área de estudio se redefinió la unidad dejando solo como ignimbritas macizas, con un espesor aproximado de 700 m. Su base cubre en discordancia a la Fm. Viñita y la Fm. Los Elquinos y su techo no afloran.

2.3 Rocas Plutónicas

2.3.1 Batolito Elqui-Limarí (Paleozoico)

La alta cordillera de Elqui y Limarí está formada por un gran batolito denominado BEL por Mpodozis et al. (1976). Está constituido por un centenar de plutones, formado por rocas intrusivas del más variado tipo. El BEL en la zona de estudio, agrupa un conjunto de seis plutones (Paiguano, Río Claro y Chapilca de edad carbonífero-pérmico, Uchumi, Alcohuás y Dolores de edad pérmica-triásica).

2.3.2 Cretácico Inferior

Intrusivos hipabisales dacíticos-andesíticos (Cretácico Inferior tardío). Rocas hipabisales tipo stock y filones de composición dacítica y microdiorítica-andesítica. Su color varía del pardo claro al gris y al blanco, con tonalidades amarillas y anaranjadas. Esta unidad intruye la Fm. Quebrada Marquesa.

Complejo intrusivo Cerro El Chivato (ca. 103 Ma). Fue definido al norte de esta área como un stock constituido por granodioritas, andesitas, pórfidos dioríticos y microdioritas, con contactos transicionales entre sí. En la zona de estudio, se caracteriza por una variación gradual entre las diversas litologías que varían de monzonitas cuarcíferas a dioritas y andesitas principalmente, y por la alteración propilítica que afecta a toda la unidad. En los contactos de intrusión con la Fm. Quebrada Marquesa, genera zonas de alteración hidrotermal argílica y cuarzo-sericítica.

2.3.3 Cretácico Superior

Intrusivos Monzoníticos y Dioríticos (97-93 Ma). Esta unidad fue definida como un conjunto de stocks, que afloran en forma aislada y cuya composición principal es de monzonitas a dioritas. En el área de estudio corresponden a stocks que intruyen a los miembros uno y dos de la Fm. Quebrada Marquesa.

Intrusivos Hipabisales Andesíticos a Dacíticos (83-76 Ma). Esta unidad fue definida como stocks y diques de composición andesítica dacítica. En la zona de estudio corresponde a rocas hipabisales de composición andesítica a diorítica. Intruyen los Estratos de Quebrada La Totorá y la Fm. Quebrada Marquesa.

Intrusivos del Cretácico Superior Tardío (71- 63 Ma). Corresponden a rocas plutónicas de grano medio en general, color gris claro a gris rosáceo que forman cuerpos elongados y semiredondeados tipo stocks, en el cual se han reconocido cinco plutones: Dioritas Esperanza, Ollada, Pichasca y Peralillo y la Monzodiorita El Pedregoso. Intruyen las formaciones Quebrada Marquesa, Viñita, Los Elquinos, Estratos de Quebrada La Totorá, Pucalume, Algarrobal, Tres Cruces y Matahuaico.

2.3.4 Paleoceno- Eoceno Inferior

Intrusivos del Paleoceno- Eoceno (56-41 Ma). Corresponden a los Monzogranitos El Bosque, el monzogranito Loma Colorada y la Diorita Cuarto Chinchillero. Intruyen las formaciones Viñita, Pucalume, Los Elquinos y Los Estratos de la Quebrada Yungay.

Intrusivos Hipabisales (41-34). Corresponden a stocks de variadas dimensiones que afloran en la parte centronorte del área y en los que se han reconocido dos facies. Intruyen los Estratos de la Quebrada Yungay y desarrollan aureolas de alteración propilítica y silicificación en los contactos. Son rocas porfíricas con amplia variedad petrográfica y dos tipos predominantes: pórfidos andesíticos y dioríticos.

2.4 Neógeno y Cuaternario

Depósitos Aluviales Antiguos (Mioceno-Pleistoceno). Secuencia sedimentaria Continental. Compuesta por gravas gruesas, bien redondeadas, con intercalaciones de areniscas poco consolidadas, limos lenticulares, de origen fluvial y brechas angulosas con abundante matriz

limoarenosa, originadas en eventos de remoción en masa de tipo flujo de detritos. En el área de estudio, están cortados por sedimentos aluviales cuaternarios

Depósitos de Remoción en Masa (Pleistoceno). Corresponden a depósitos mal seleccionados, formados por bloques polimícticos, matriz soportados, con moderada consolidación, distribuidos caóticamente en una matriz arcillosa. Producidos por los deslizamientos de roca y material coluvial en laderas abruptas, se ubican en la base de escarpes de laderas y afloran principalmente al oeste de la quebrada Tres Cruces y en el sector La Aguada en la quebrada Uchumi, donde se puede observar su mayor afloramiento con una potencia aproximada de 250 metros.

Depósitos Fluviales Antiguos (Pleistoceno). Sedimentos semiconsolidados, de color marrón grisáceo a gris claro, que se encuentran en terrazas a lo largo de los márgenes de los cursos fluviales actuales, los cuales las erosionan. Corresponden a depósitos estratificados con estructuras internas como lentejones de bolones asignados a episodios de inundación y laminación paralela y cruzada en los niveles finos, indicando episodios de aguas tranquilas. Están compuestos de mayor a menor cantidad por gravas muy gruesas y gruesas, con abundante matriz de arena, con incipiente consolidación; contienen intercalaciones de gravas finas arenosas y arenas.

Depósitos Aluviales y Coluviales (Pleistoceno-Holoceno). Los Aluviales corresponden a sedimentos no consolidados, generados por cursos de agua y flujos de detritos. Se desarrollan donde cambia la pendiente y disminuye la energía hidráulica. Los depósitos coluviales no consolidados y mal seleccionados presentan morfologías de cono o abanico de alta inclinación. Se acumulan en las cabeceras de quebradas y también en laderas de cerros de alta pendiente. Y quebradas rocosas.

Depósitos Fluviales Recientes (Holoceno). Depósitos con consolidados, estratiformes a lenticulares e internamente homogéneos, con capas de hasta 4 m de espesor, constituidos por bolones, gravas y arenas que afloran a lo largo de los cursos actuales de los ríos Elqui y Hurtado en barras laterales e islas, a lo largo de canales secundarios y en zonas de desborde.

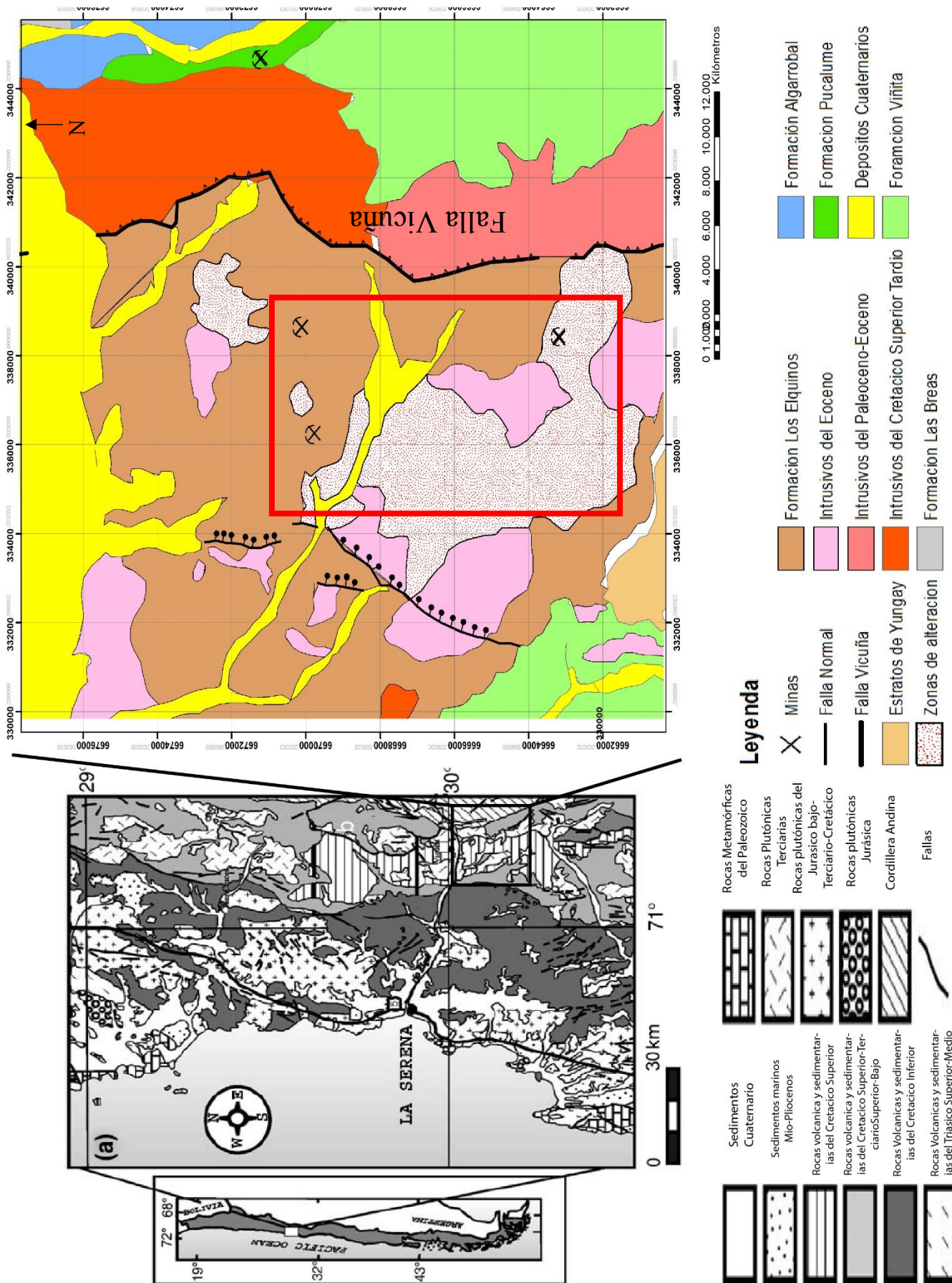


Figura 2.1 (a) Mapa geológico (modificado de Empan y Pineda (1999, 2000, 2007) y simplificado del Sernageomin (2002)). (b) Mapa en detalle de geología regional en el prospecto Genesis; (simplificado de Empan y Pineda (2007)). En el rectángulo rojo se muestra el Prospecto Genesis.

Capítulo III Geología y definición de áreas prospectivas

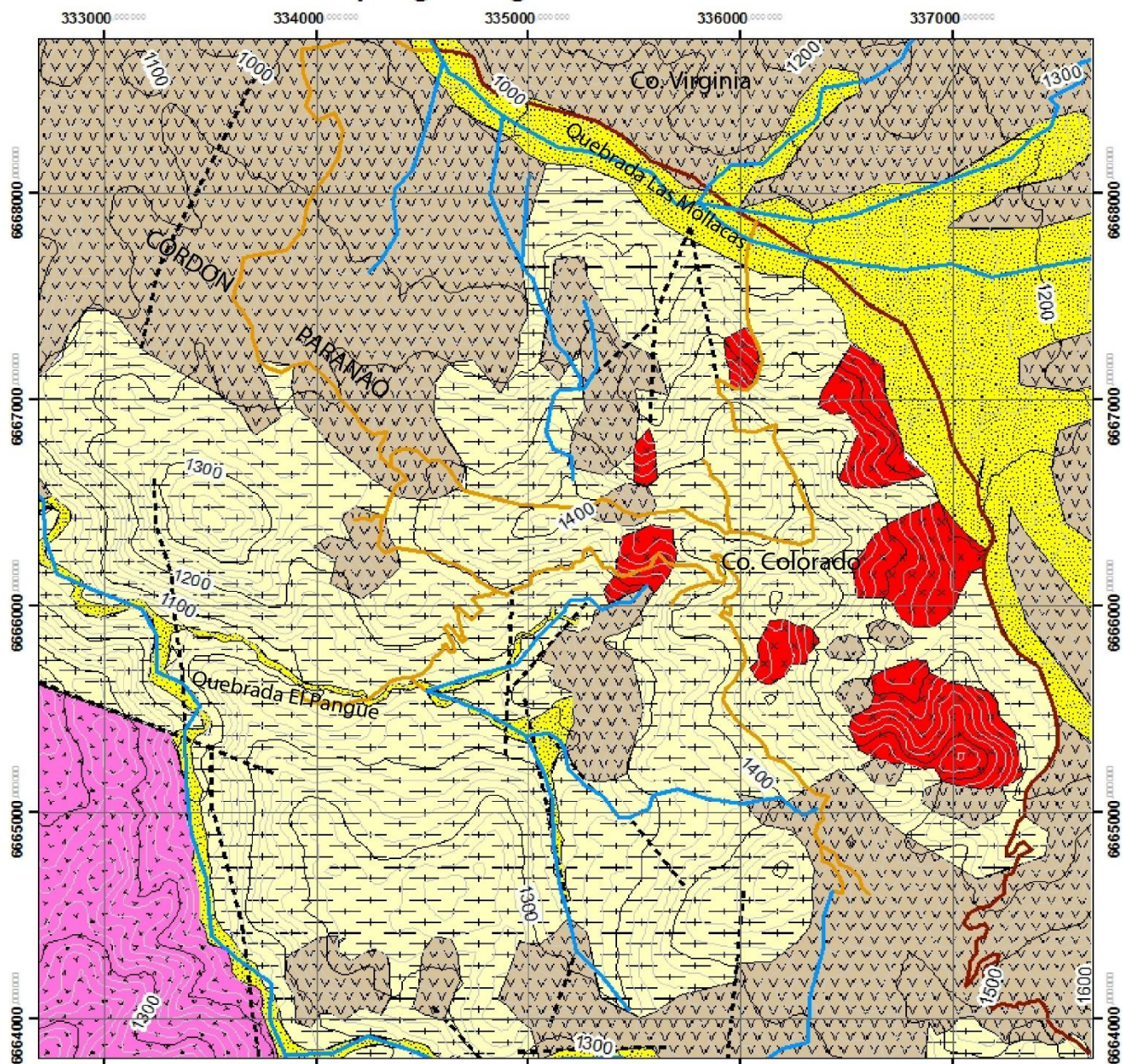
3.1 Generalidades

En este capítulo se describe la litología y las alteraciones a escala 1:25.000. También se muestra el mapa de alteraciones utilizando imágenes Aster que fue facilitado por la empresa Minerals Cluster, como también los mapas con los muestreos geoquímicos para los distintos elementos analizados. Cada uno de estos mapas incluye las descripciones y explicaciones respectivas según corresponda. En los siguientes subcapítulos se muestra la secuencia de mapeos sucesivos y los criterios que se establecieron para definir áreas prospectivas. Se suman en este capítulo los resultados de los sondeos y una descripción simplificada en perfiles esquemáticos. Finalmente, también se muestran los estudios realizados en cortes transparentes para caracterizar las distintas alteraciones.

3.2 Litología, estructuras y lineamientos

En la figura 3.1 se muestra el mapa litológico y de lineamientos del prospecto a una escala 1:25.000. Las unidades litológicas corresponden desde la base a techo a rocas volcanoclásticas compuestas por secuencias de andesitas porfíricas púrpuras, grisáceas y rojizas, intercaladas con brechas volcánicas de color púrpura, grisáceo oscura, de matriz negra y clastos angulosos de andesitas porfíricas hasta de 3 cm. Estas secuencias de pilas volcánicas se encuentran intruidas por basaltos o andesita porfírica gris rojiza oscura (Aguirre y Egert, 1965, figura 3.3), se distribuyen principalmente en la parte norte del prospecto por el Cordón Paranao y en el sector sur por la Quebrada Pangué, el rumbo y manteo de estos paquetes es N20°-30°W/ 10°-40°NE. Se correlaciona esta secuencia con la Formación Los Elquinos definida por Aguirre y Egert (1965) en el cuadrángulo de Marquesa, a unos 20 km al norte de Vicuña. A la unidad anterior la sobreyacen rocas piroclásticas, de colores gris claro y en parte gris parduscas, correspondientes a tobas soldadas, vítreas, de cristales de color pardo, con pómez, líticos andesíticos y silicificados. Se dis-

Mapa geológico



Leyenda

- | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  Cauces de ríos y quebradas |  Rocas Volcanoclásticas |
|  Lineamientos y fallas inferidas |  Rocas Piroclásticas |
|  Caminos construidos y plataformas |  Intrusivo Andesítico |
|  Caminos |  Cuaternario |
|  Micropófido Diorítico | |

0 125 250 500 750 1.000
Metros



Figura 3.1 Litologías y lineamientos del proyecto Génesis.



Figura 3.2 Fotografía de las unidades litológicas. En el techo se reconocen roca piroclásticas, principalmente tobas. En la base, se reconocen rocas volcanoclásticas.

-tribuyen de manera subhorizontal en la zona centro del prospecto entre el cordón Paranao y la Quebrada Pangué. Se correlaciona la unidad piroclástica a la Formación de los Estratos de Quebrada de Yungay, definidos por Emparán y Pineda (1999), quienes obtuvieron dos edades U-Pb de $63,0 \pm 1,4$ y $68,5 \pm 6,4$ Ma. Esto con sus relaciones de contacto permiten asignar una posible edad Maastrichtiana para la unidad.

En la figura 3.2 se muestra el contacto entre la unidad de rocas volcanoclásticas y la unidad de rocas piroclásticas. En la figura 3.3 se muestra una columna estratigráfica modificada de Aguirre y Egert (1965) donde se indican los espesores aproximados de las secuencias de rocas y sus respectivas litologías. Es necesario indicar que estos autores reconocen rocas similares en el techo de la secuencia y que corresponderían a depósitos de ignimbritas.

Las unidades intrusivas en afloramientos de 50 a 500 m² corresponden a micropórfidos dioríticos de color oscuro. Se distribuyen cercanos al Cerro Colorado en la zona centro, estas rocas se encuentran parcialmente alteradas. La otra unidad se emplaza en el borde sur-oeste y corresponde a un afloramiento de andesitas porfídicas de aproximadamente 1500 m² que no presenta alteraciones.

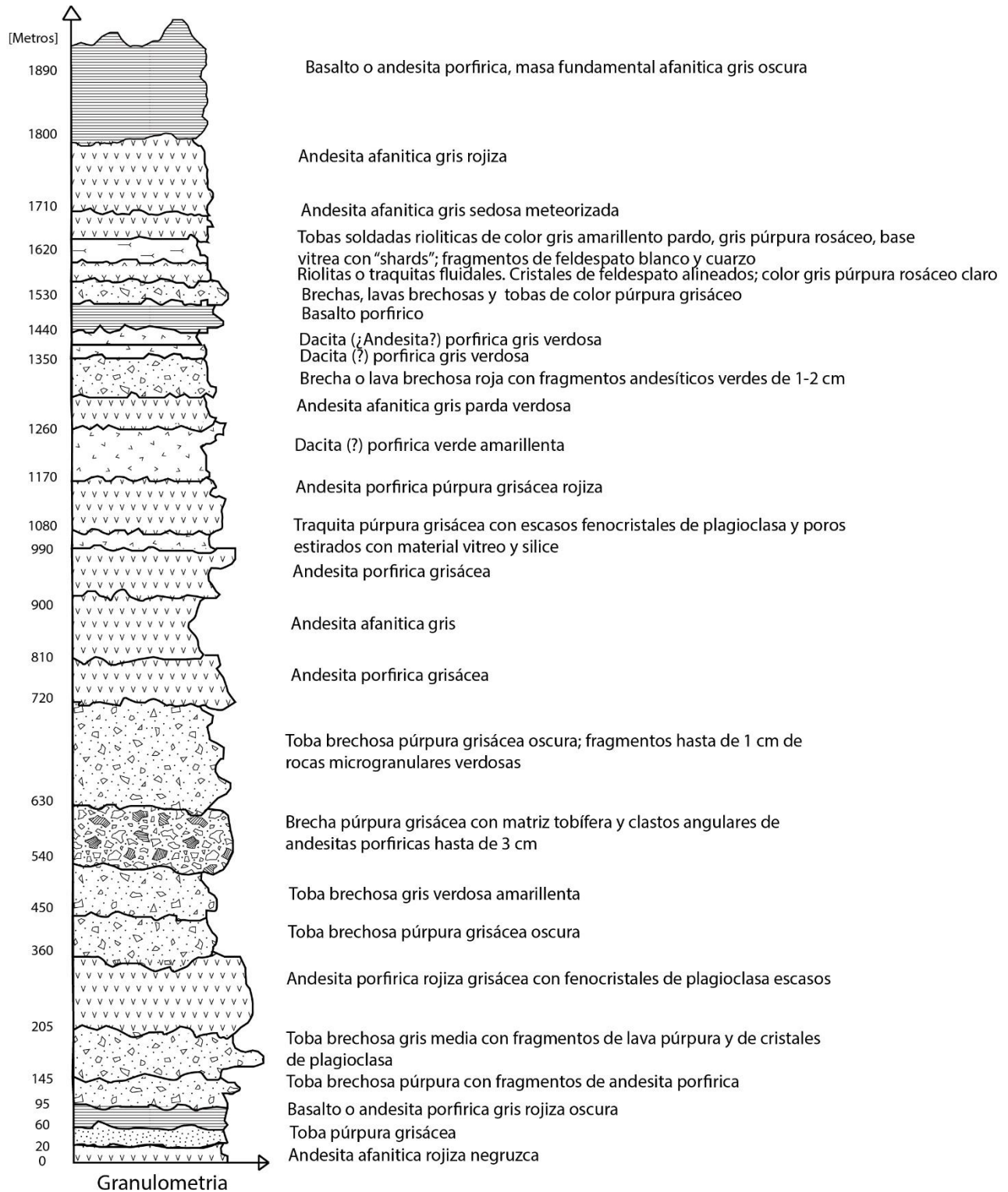


Figura 3.3 Columna estratigráfica de la Formación Los Elquinos del cuadrángulo Marquesa. Modificada de Aguirre y Egert (1965).

3.3 Análisis Multiespectral

El procesamiento de imágenes digitales multiespectrales tipo “*Spectral Angle Mapper*” (SAM, por sus siglas en inglés) permite discriminar distintas propiedades por medio de un álgebra de bandas de la cual se hace uso para identificar la presencia de pixeles cuyas señales pueden indicar minerales de alteración. El objetivo del SAM es para orientar e identificar las principales zonas de alteración, de modo que se cuenta con una base para ejecutar otros programas de reconocimiento y muestreo.

Las imágenes multiespectrales se procesan para identificar cuatro minerales: Montmorillonita, caolinita, illita y alunita. El SAM es una metodología automatizada que se utiliza para comparar espectros de imágenes con librerías espectrales o espectros conocidos. Para que esta clasificación resulte eficaz, es necesario reducir los datos de reflectancia aparente. El algoritmo del SAM determina la similitud existente entre dos espectros a través del ángulo espectral que se genera entre ambos. Estos se representan como vectores en el espacio con una dimensión equivalente al número de bandas.

Como resultado se produce una imagen por cada espectro conocido, donde cada pixel contiene el ángulo expresado en radianes entre el conocido y el desconocido. Cuanto más agudo sea el ángulo, es probable que el espectro desconocido de este pixel, corresponda al espectro de referencia o conocido. En la figura 3.4 se muestra un esquema del SAM y en la figura 3.5 se muestra el resultado final del uso de esta herramienta detectando espectros de Alunita, Montmorillonita, Illita y Caolinita.

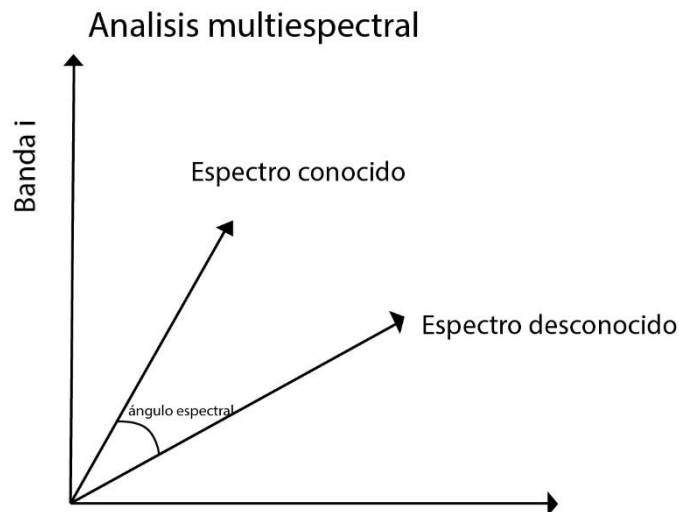


Figura 3.4 Esquema de análisis multiespectral tipo “*spectral angle mapper*” (SAM).

Mapeo de Anomalías ASTER

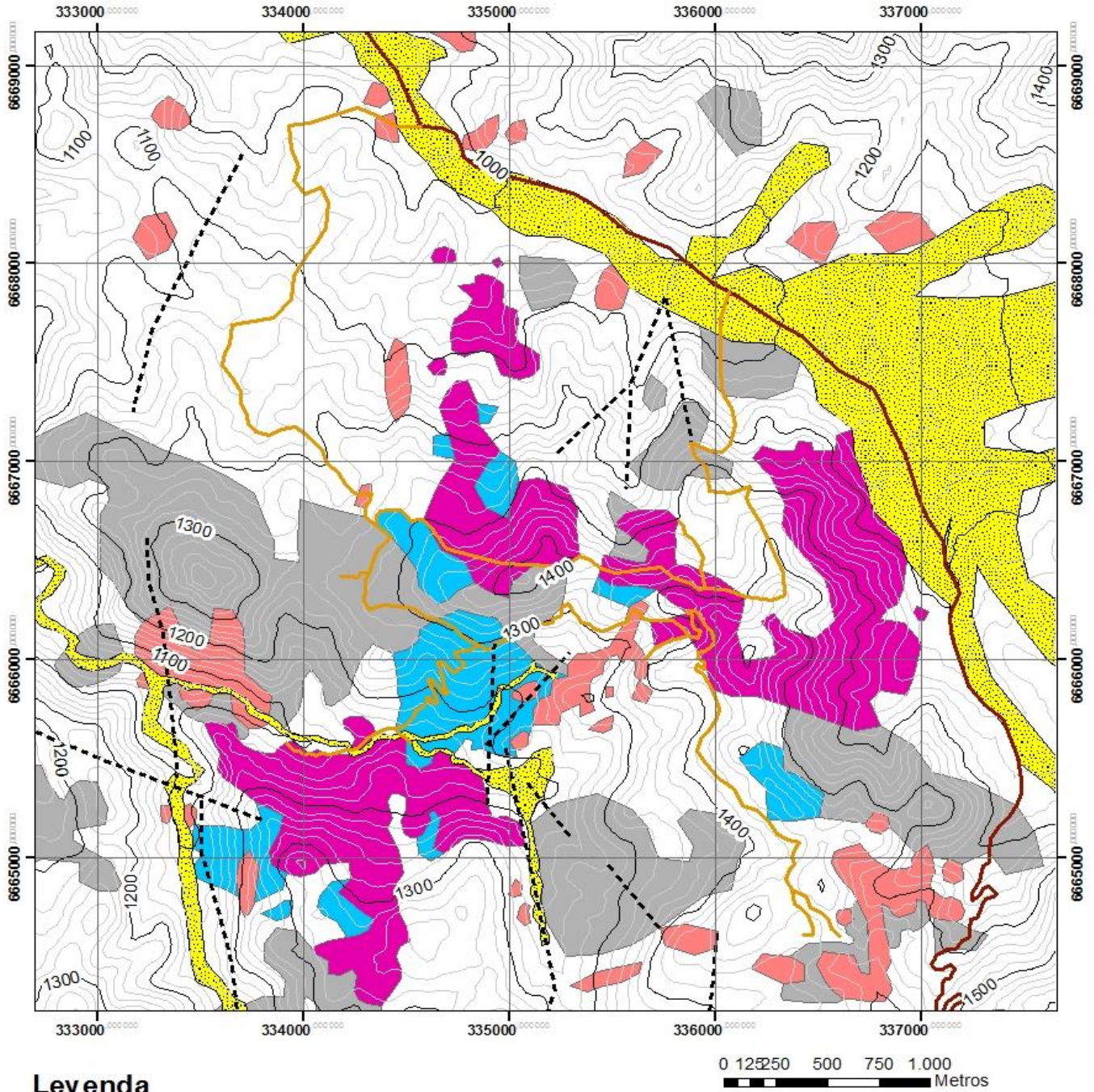


Figura 3.5 Mapa de alteraciones ASTER. (Mapa realizado por Minerals Cluster).

3.4 Alteraciones y mineralización

El prospecto Génesis presenta áreas de alteración hidrotermal distribuidas en la gran mayoría de las concesiones mineras. Desde el trabajo de reconocimiento en terreno mediante pruebas diagnósticas y descripciones macroscópicas se puede discriminar a grandes rasgos los tipos de alteración hidrotermal que afectan principalmente las rocas piroclásticas y en menor medida los paquetes volcanoclásticos y las rocas intrusivas. En relación con el mapeo de anomalías ASTER, se puede señalar que hay una mediana-alta correlación entre las zonas alteradas reconocidas en terreno y que también se han foto-interpretado, con las zonas de minerales detectadas con los sensores remotos. Sumado al reconocimiento de campo, también se realizaron cortes transparentes y pulidos para describir de manera más precisa los tipos de alteración y mineralización que dominan en el prospecto. Las alteraciones y mineralización se describen a continuación:

Alteración Argílica Avanzada (AAA): esta alteración corresponde a una asociación de minerales que pueden estar presentes dentro de un amplio rango de temperaturas de formación y condiciones de pH ácido entre 1-3,5. La mineralogía tipo para definir este tipo de alteración corresponde a alunita, cuarzo y caolinita. La presencia de estos minerales en algunos sectores es dominante sólo por alunita, o menor alunita más caolinita. Otras especies minerales han sido catalogadas como arcillas indiferenciadas. No se han realizado cortes transparentes de rocas con esta alteración. El origen de estos minerales puede ser de tres tipos de acuerdo a los procesos físico-químicos y termodinámicos de formación: hipógeno, calentado por vapor (*steam heated*) y supérgeno, lo cual se discutirá en otro apartado. Como no se cuenta con un reconocimiento detallado de otros minerales tipo de AAA, tales como pirofilita, diásporo y/o andalucita no se han podido establecer zonaciones, gradaciones o transiciones de los parches de alteración, pero si se ha podido establecer en algunos sectores los controles de mineralización que son predominantemente estructurales, donde los minerales están asociados a estructuras definidas y de extensiones locales. La mineralización de sulfuros predominante es pirita y calcopirita diseminada, en vetillas y en algunos sectores, reemplazando selectivamente minerales anteriores y rellenando espacios en formas de masas irregulares (ver figura 3.7).

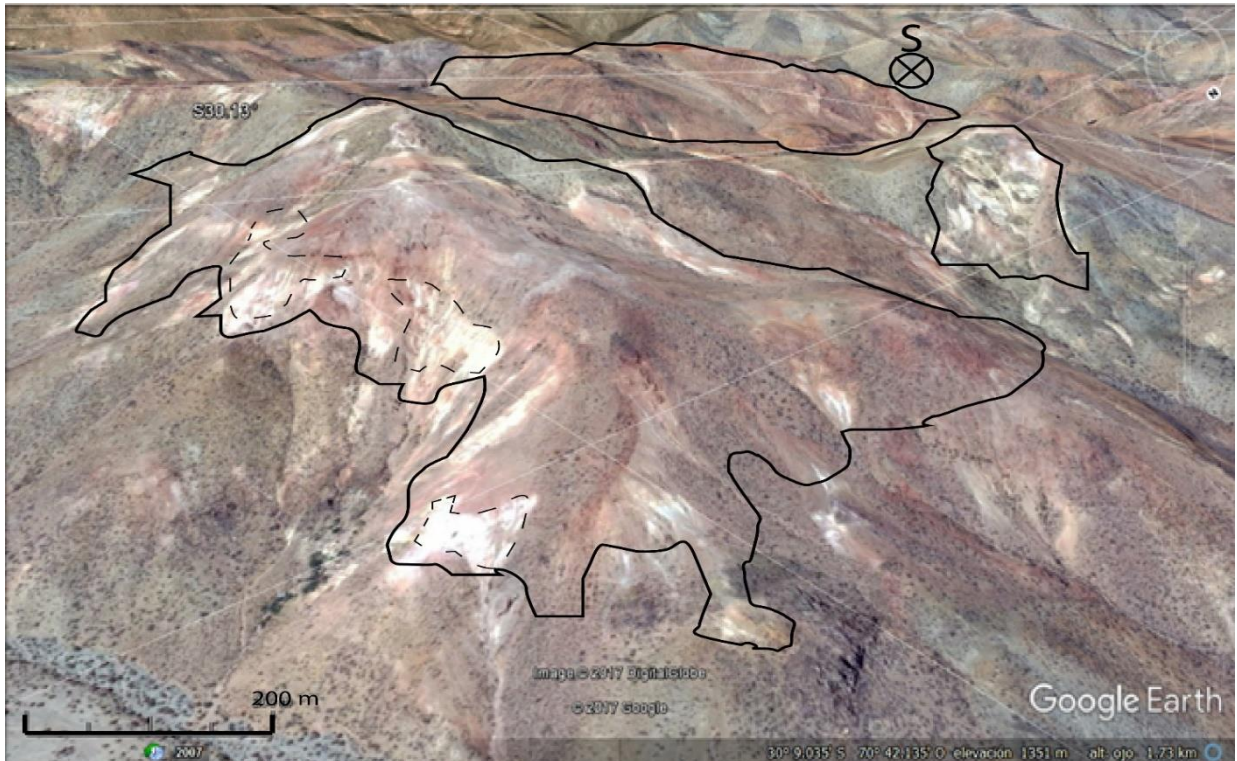


Figura 3.6 Parches de alteración en la Quebrada de Las Mollacas. En líneas segmentadas se muestra zonas con caolinita. Fotografía tomada con Google Earth..

En la figura 3.6 se muestra a modo de ejemplo las zonas mapeadas como alteración argílica avanzada. En esta imagen tomada de Google Earth se pueden reconocer parches con coloraciones rojizas y blancas que calzan con los polígonos detectados con las imágenes ASTER con zonas de alunita y caolinita.

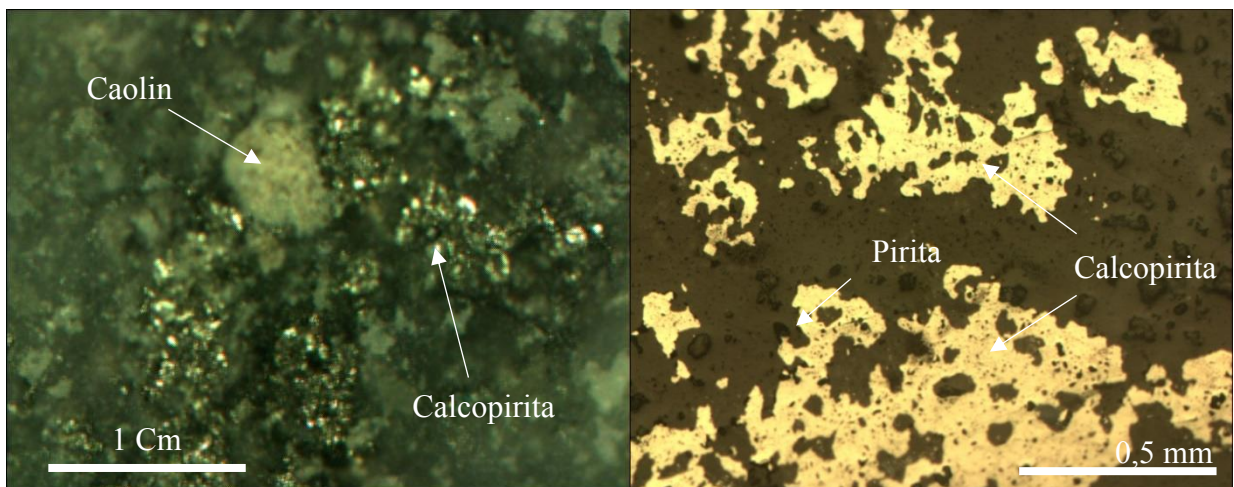


Figura 3.7 A la izquierda se muestra una fotografía ampliada de mineralización de caolín, cuarzo, calcopirita, pirita y arsenopirita. A la derecha se muestra un corte pulido con mineralización de pirita que ocurre en reemplazo selectivo de otros minerales y también diseminada en la matriz. Tomado de muestra GE- D11.

Alteración Argílica Intermedia: en teoría esta alteración tiene un rango de temperatura bajo-moderado entre 150-300°C y rangos de pH ácidos entre 4-5. En el prospecto se encuentra distribuida prácticamente por toda la propiedad y es reconocido por presentar caolinita y otras arcillas que no se han podido discriminar entre las que se pueden incluir montmorillonita, illita-smectita y cloritas. La mineralización en algunos sectores corresponde a cuarzo con pirita, y en la mayoría de las rocas reconocidas no se reconoció mineralización producto del proceso de lixiviación supérgena, identificándose principalmente arcillas y limonitas. El reconocimiento de terreno permitió cubrir algunas de zonas con esta alteración y otras zonas sólo fueron mapeadas por medio de fotointerpretación. Cabe mencionar que gran parte de las áreas de alteración reconocidas calza con la mineralogía reconocida por ASTER, principalmente los sectores de montmorillonita y caolinita, en menor medida los sectores de illita, donde se reconocen tan sólo algunas señales erráticas que algunos casos no se reconocen en los afloramientos como zonas de alteración. En la figura 3.8 se muestra un ejemplo de estas zonas de alteración en el sector de la Quebrada de Las Mollacas, donde se reconoce esta alteración afectando rocas piroclásticas.

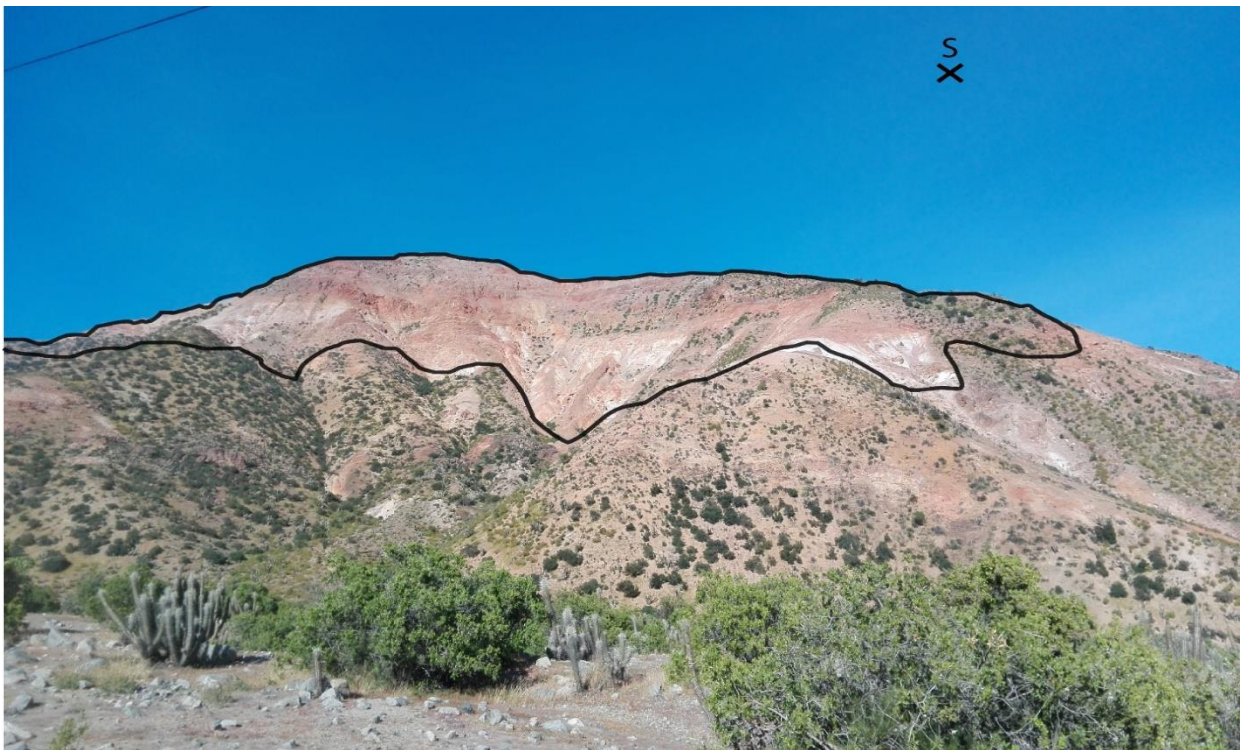


Figura 3.8 Zonas de alteración argílica. Reconocimiento en el sector de la Quebrada de las Mollacas.

En la figura 3.6 se muestra una zona de alteración foto-interpretada como alteración argílica intermedia, usando como criterios el reconocimiento de terreno de algunos sectores contiguos y el calzado con algunos de los polígonos reconocidos por el mapeo ASTER. Se estima que esta alteración corresponde de manera aproximada a la mitad de las zonas de alteración reconocidas en el prospecto (ver mapa 3.21). En anexos se muestran rocas con esta alteración (ver muestra GR-D15).

Silicificación: este tipo de alteración ocurre principalmente en tres sectores del prospecto, el primero de ellos es en el sector NW por el Cordón Paranao afectando rocas volcánicas andesíticas. El segundo sector está localizado en la zona central desde la Quebrada de Las Mollacas hasta el Cerro Colorado, afectando rocas volcánicas, volcanoclásticas e intrusivos. El tercer sector está localizado en la zona sur entre el Cerro Colorado y la Quebrada Pangué, afectando rocas volcanoclásticas. En algunos sectores aparece esta alteración restringida a niveles estratigráficos y en otros lugares ocupa altos topográficos, evidenciando la alta presencia de sílice que es más resistente a la erosión. Se utilizó un criterio cualitativo para diagnosticar esta alteración, correspondiente al grado de abundancia relativo de sílice, por lo que si se considera que tiene una abundancia mayor al 50% de sílice se reconoce como “intensa”, y si tiene un porcentaje menor se reconoce como silicificación “moderada a baja”. Finalmente, esta alteración cubre algunos sectores



Figura 3.9 A la izquierda vetillas sinuosas de cuarzo y rocas de caja completamente silicificadas. A la derecha se muestra una roca con vetillas tipo planares o “sheeted veins” que posteriormente también han sido silicificadas.

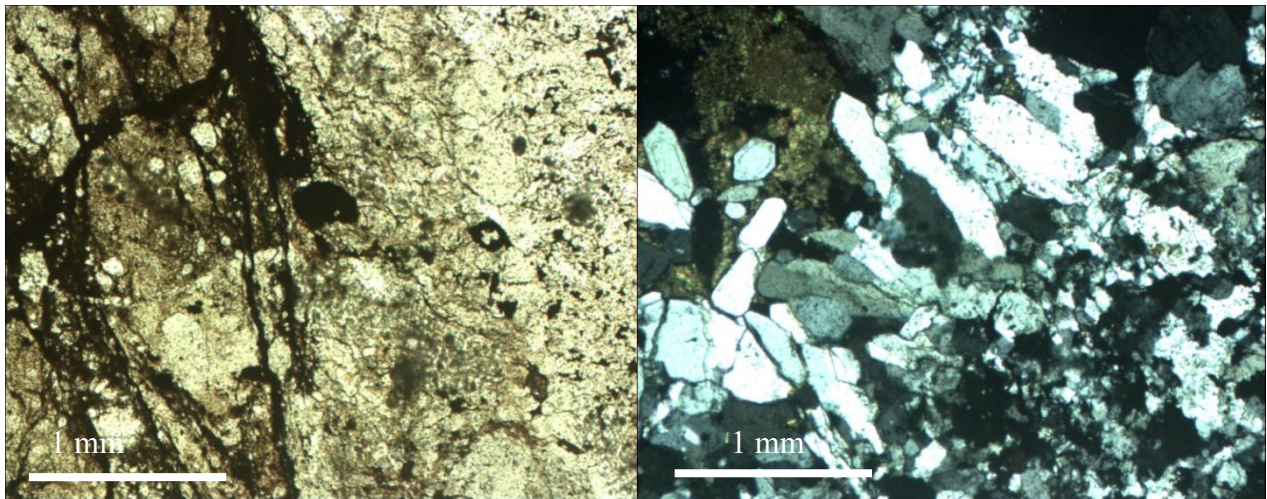


Figura 3.10 A la izquierda se indica mineralogía de una brecha alterada, principalmente arcillas y cuarzo, foto en nicoles paralelos. A la derecha se muestra la misma brecha en nicoles cruzados. Notar los fragmentos de cuarzo subhedral y euhedral de 0,1-2 mm que crecen en los espacios rellenos por arcillas más opacos que corresponden a sulfuros de cobre. Muestra GE-BR4.

en contacto con la alteración argílica intermedia, y en otros sectores en contacto con alteración argílica avanzada. En la figura 3.9 se muestra a la izquierda un afloramiento de rocas que fueron silicificadas y a la derecha un ejemplo de vetillas planares que también están silicificadas.

En la figura 3.10 se muestra a modo de ejemplo un corte transparente realizado en la muestra GE-BR4, correspondiente a una brecha hidrotermal que ha sufrido intensa silicificación. En la figura 3.11 se muestra un afloramiento de rocas silicificadas que resalta como alto topográfico.

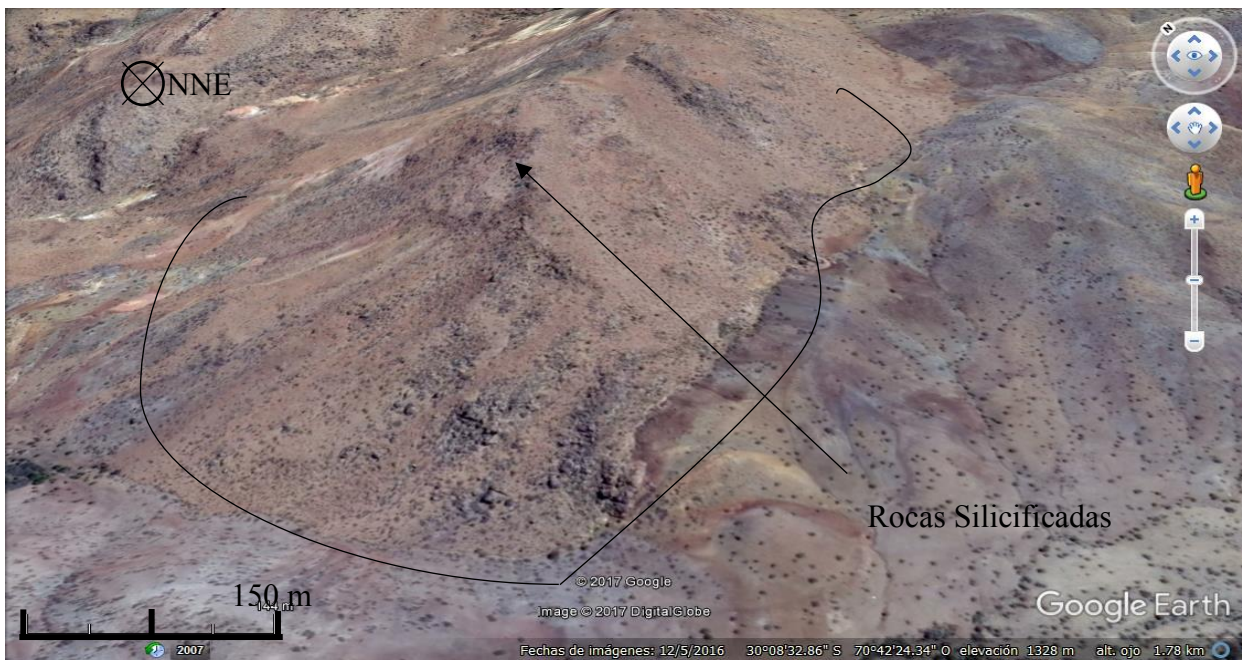


Figura 3.11 Imagen satelital de rocas silicificadas en el sector de la Quebrada Pangué. Notar que estas rocas afloran en altos topográficos dada su resistencia a la erosión. Ilustración tomada de Google Earth.

Alteración propilítica: esta alteración cubre áreas menores en el prospecto, con paños de alteración entre 100 -250 m², afectando preferentemente las rocas intrusivas. En teoría esta alteración cubre rangos de temperaturas entre los 200-250°C en condiciones de pH neutras a alcalina. La mineralogía presente corresponde a epidota en vetillas y en reemplazo de minerales y clorita que reemplaza selectivamente a los minerales anteriores relictos no identificados. En un sector se reconoce esta alteración acompañada de vetas de cuarzo de 5-10 cm, con texturas de “dientes de perro” y que presentan mineralización de sulfuros cobre+hematita+calcita, con posterior oxidación dejando patinas de óxidos de cobre y óxidos de hierro. Este tipo de alteración fue reconocida de manera puntual en el prospecto, limitándose a afloramientos pequeños de rocas intrusivas alteradas que no superan los 100 x 250 m² en extensión. En la figura 3.12 se muestra un ejemplo de esta alteración.

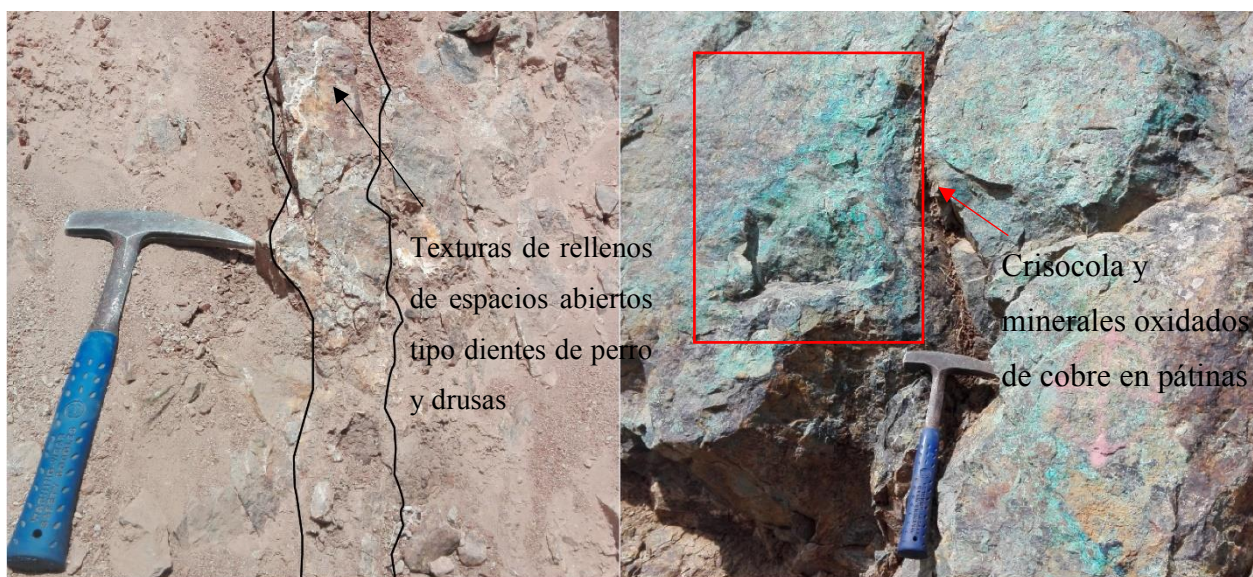


Figura 3.12 Zonas con alteración propilítica. A la izquierda se muestra una veta emplazada en rocas que han sido afectadas por esta alteración. A la derecha se muestra la oxidación de estas vetas.

En la figura 3.13 se presenta una imagen del corte transparente realizado en el afloramiento de la muestra GE-PROP. Se reconoce que el mineral más abundante es epidota (aproximadamente 60%), cuarzo (20%) y clorita (15%). El restante 5% está compuesto por arcillas, limonitas y opacos que corresponden a calcopirita que rellenan espacios en vetillas y reemplazan algunos minerales previos cuya forma no se reconocen.

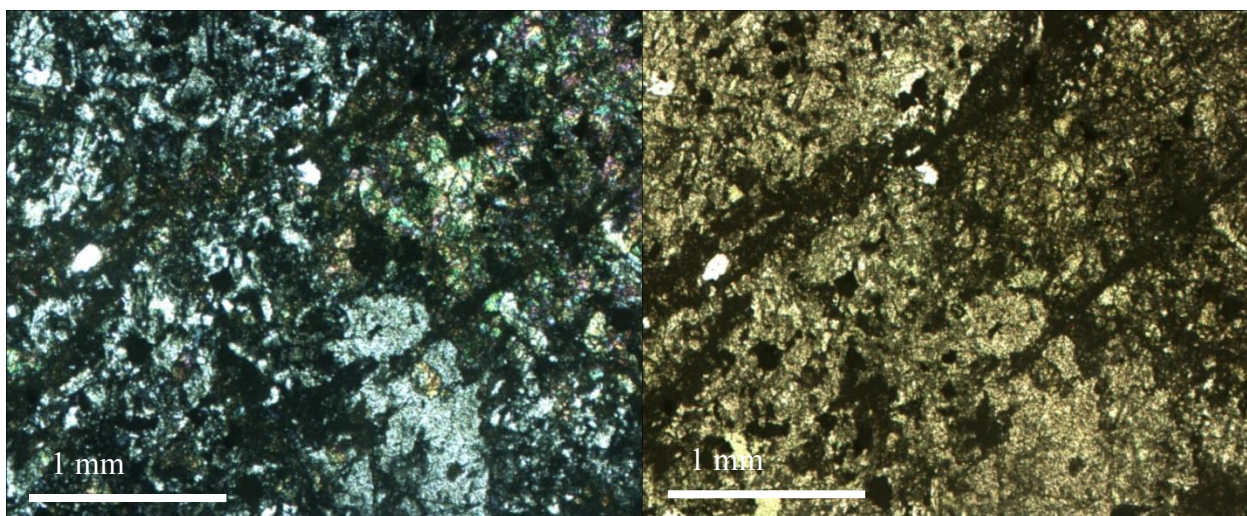


Figura 3.13 A la izquierda se muestran minerales de epidota y clorita, foto tomada a nicoles cruzados. A la derecha se muestra la foto tomada a nicoles paralelos, notar la coloración verde de la mineralogía, se reconocen algunos opacos correspondientes a sulfuros de cobre. Corte transparente de la muestra GE- PROP.

Alteración potásica: en teoría esta alteración ocurre en un rango de temperaturas altas, entre 400-600°C a condiciones de pH neutro a alcalino. La intensidad de esta alteración puede ser selectiva y a veces pervasiva. La mineralogía reconocida se obtuvo de fragmentos de detritos recuperados sobre el sondaje GR-07 de la muestra B2AR. En la figura 3.14 se muestra un detrito recuperado que presenta cuarzo, feldespato potásico, sericita y minerales negros (turmalina?, biotita?, magnetita?) en vetillas de 1 mm. A la derecha un fragmento de una brecha hidrotermal. En la figura 3.15 y 3.16 se muestran los cortes transparente de los fragmentos del espécimen B2AR, donde se reconoce mineralogía de cuarzo y feldespato potásico en vetillas sinuosas. Si bien el reconocimiento de este detrito es una descripción puntual y sin ubicación espacial específica, este tan sólo constituye un espécimen recogido del sondaje GR-07 desde el que quedaron fragmentos remanente, aportando de esa manera al espectro de alteraciones que se quiere caracterizar.

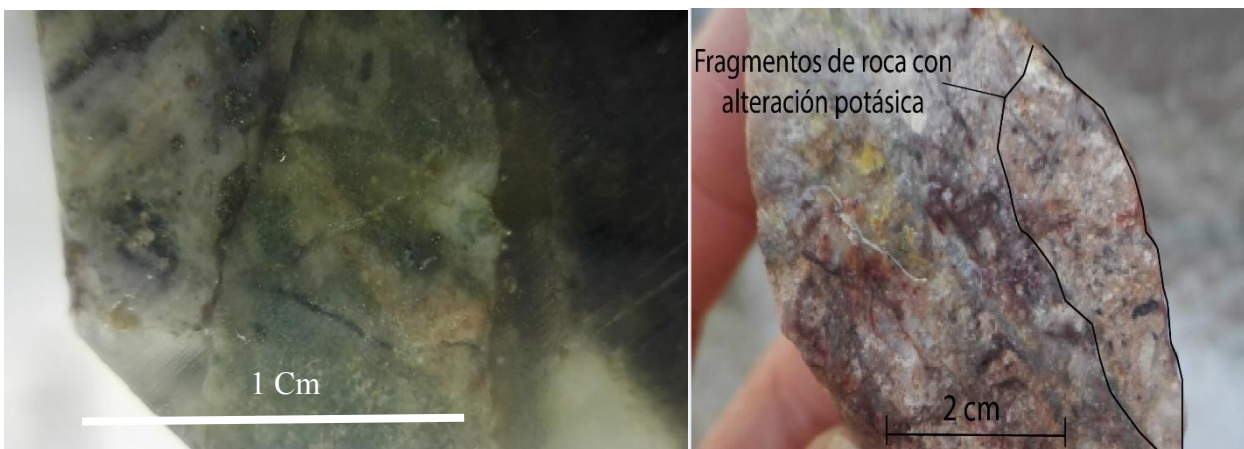


Figura 3.14 Detrito con alteración potásica del sondaje GR-07. A la derecha fragmento de brecha BR-4

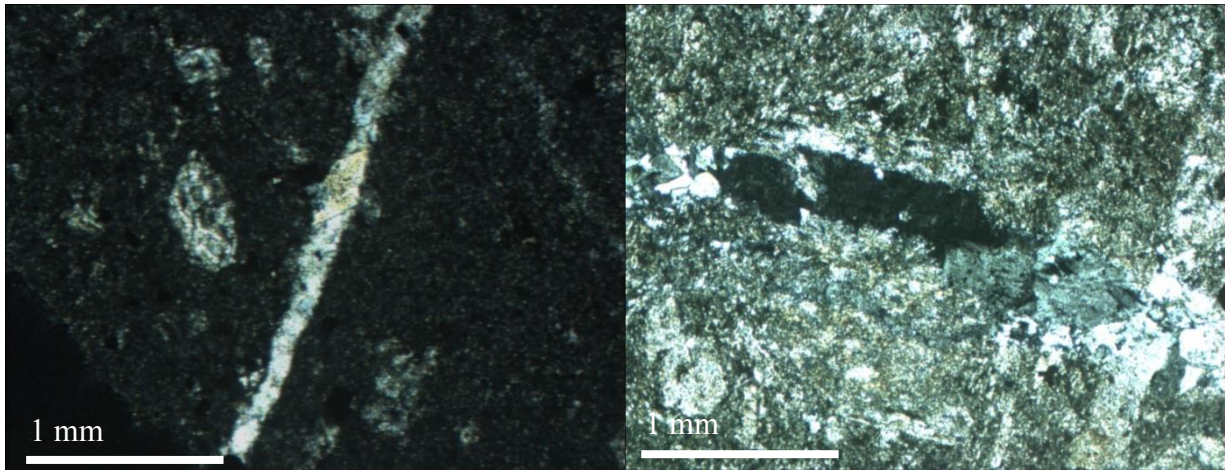


Figura 3.15 A la izquierda fragmento de detritos en briqueta con vetillas sinuosas de cuarzo y feldespato K, foto tomada a nicoles cruzados. A la derecha fragmento de detritos en briqueta con cuarzo en vetillas sinuosas, foto tomada a nicoles cruzados. Corte transparente de la muestra “Briqueta 2, aire reverso, B2AR”.

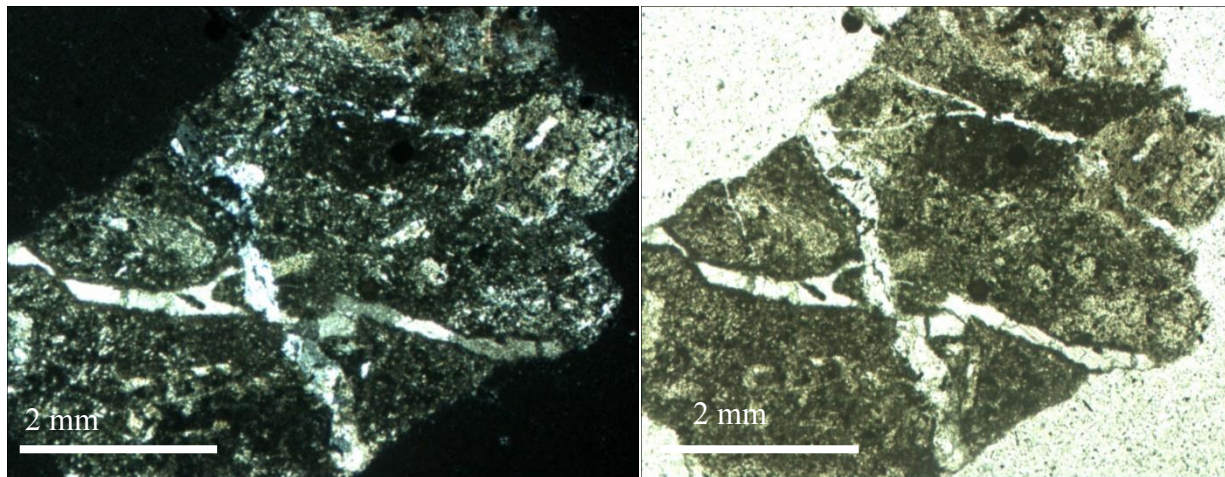


Figura 3.16 A la izquierda se muestran relaciones de corte entre vetillas sinuosas rellenas con cuarzo, foto tomada a nicoles cruzados. A la derecha se muestra la misma foto a nicoles paralelos. Los minerales de alteración en la matriz son cloritas y los opacos sulfuros de Cu. Notar la composición del detrito, de fragmentos angulosos y cortados por pequeñas vetillas. Corte transparente de detritos de B2AR.

Alteración Filica: esta alteración está representada por la asociación cuarzo-sericita que en teoría es una alteración de alta temperatura 350-600°C y de condiciones de pH entre 5-6. En la figura 3.18 se muestra un corte transparente donde se reconoce sericita, cuarzo y opacos que corresponden a calcopirita y pirita. La mineralización es selectiva y también en vetillas delgadas de 0,5-1 mm. Ver figura 3.17.

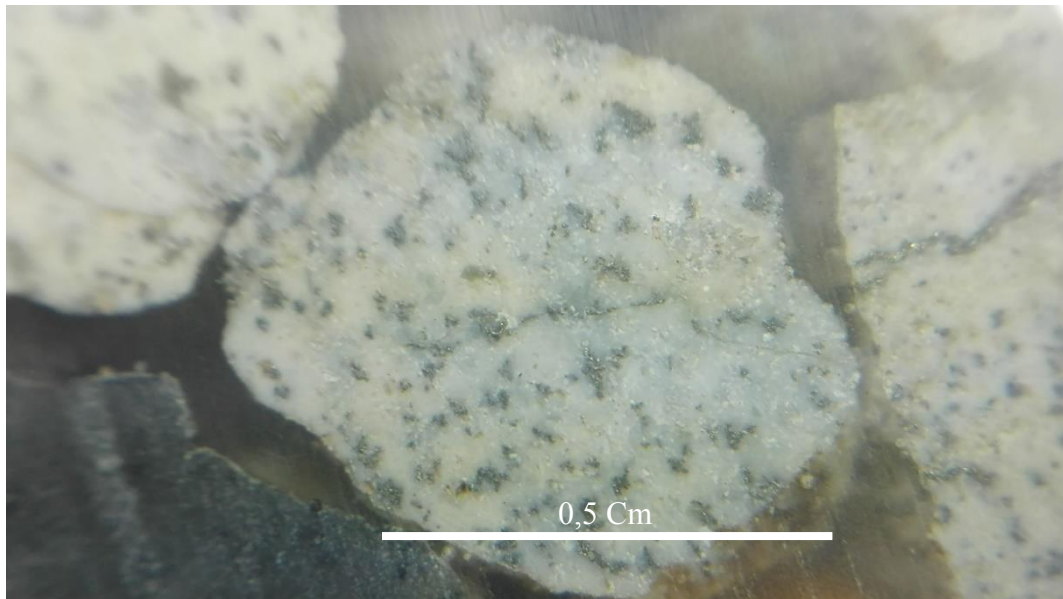


Figura 3.17 Detrito de Sondaje GR-7 con alteración cuarzo sericita. Tomado de la recolección de especímenes B2AR.

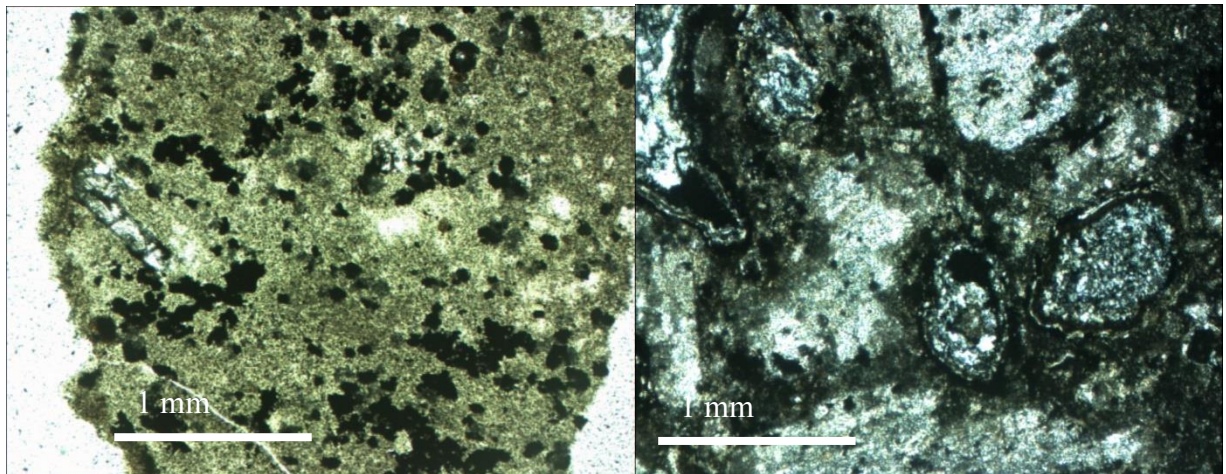


Figura 3.18 A la izquierda fragmento de muestra de detritos B2AR a nicols paralelos; notar los minerales de sericita y los opacos reconocidos como calcopirita. A la derecha se muestran fragmentos de B2AR que evidencian texturas de relleno de cavidades. Foto tomada en nicols cruzados.

Alteración Supérgena: esta alteración se produce por el reequilibrio de los minerales en condiciones ambientales de la superficie. Se reconoce macroscópicamente por la coloración anaranjada, que corresponden a óxidos de hierro y limonitas. En algunos fragmentos de detritos del espécimen B2AR (figura 3.19) se reconoció esta alteración presentando texturas de rellenos de espacios tipo drusas y *boxwork*, con mineralogía de arcillas e óxidos hierro y mineralización de opacos que corresponden a sulfuros de cobre + pirita. En la figura 3.20 se muestra el corte transparente realizado en la muestra GE-ARG-Super, reconociéndose principalmente arcillas y fragmentos remanentes de cuarzo relleno espacios abiertos.

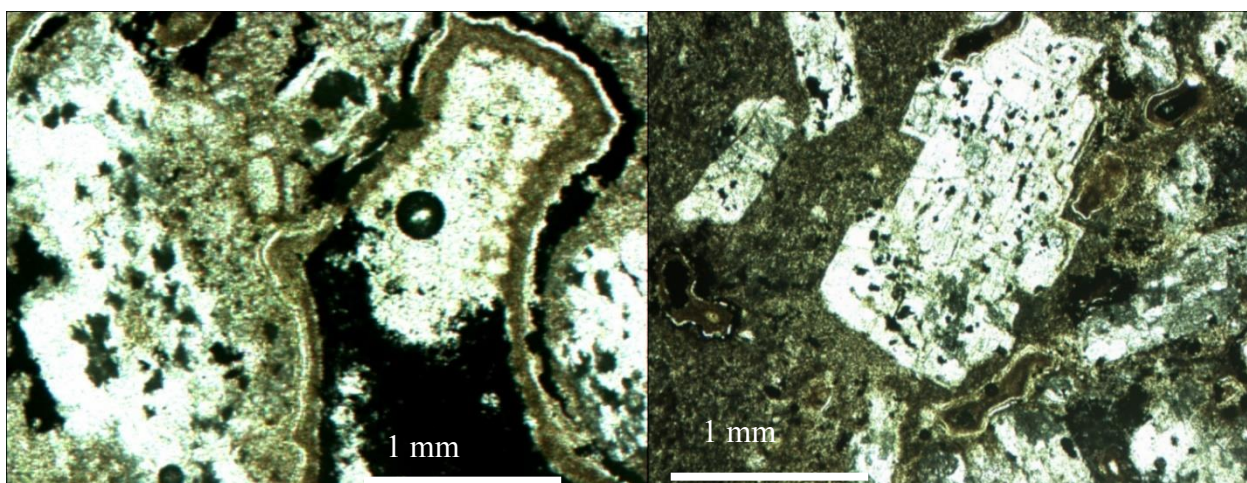


Figura 3.19 A la izquierda se indica texturas de relleno de espacios tipo drusas en fragmentos de B2AR, foto en nicoles paralelos. A la derecha se muestra la disseminación de sulfuros en la misma muestra en reemplazo sobre cristal de plagioclasas. Foto tomada en nicoles paralelos.

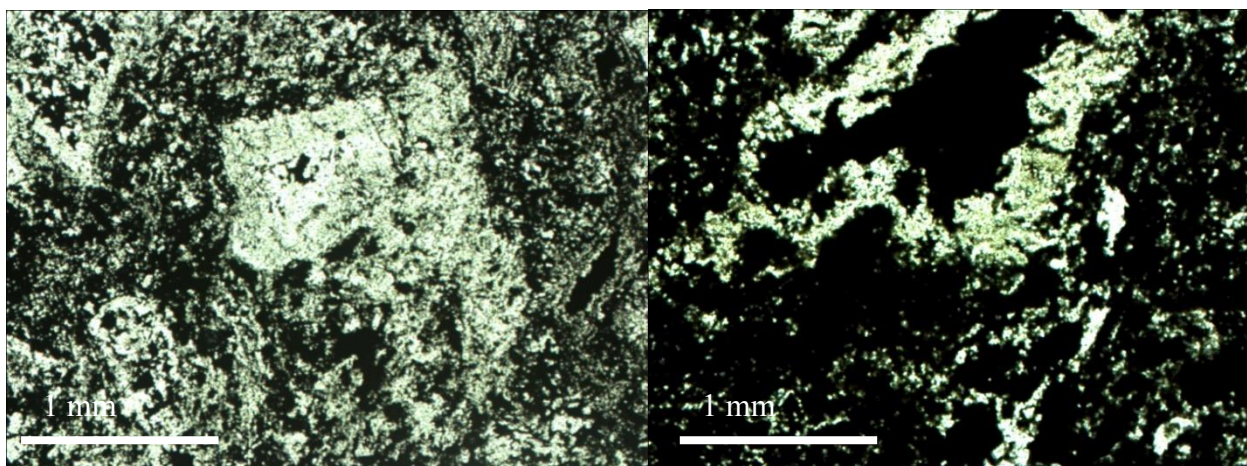
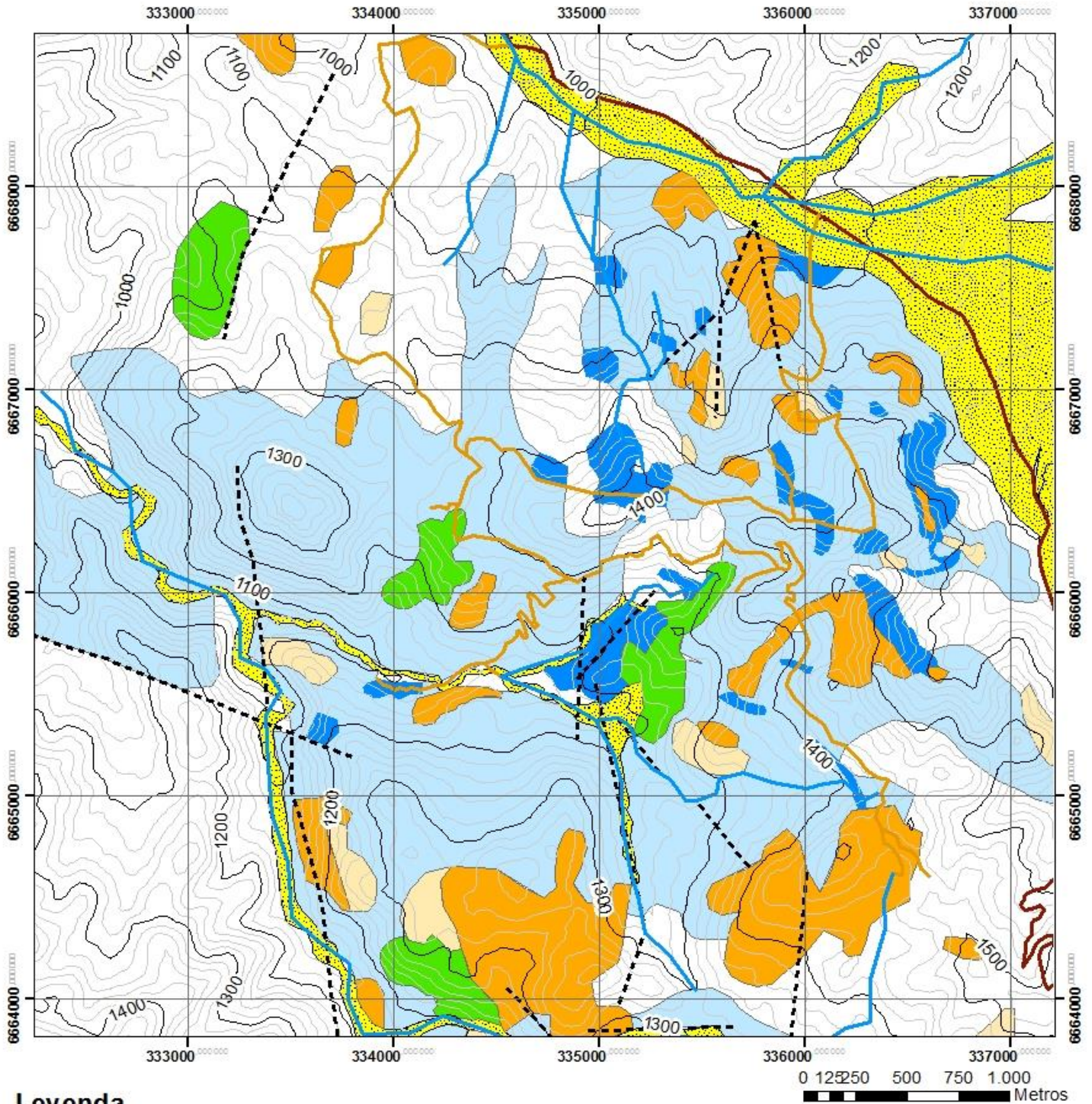


Figura 3.20 A la izquierda se muestra corte transparente compuesto principalmente por arcillas y cuarzo, foto tomada a nicoles cruzados. A la derecha se muestra el mismo corte tomado en otro sector, presentando texturas de rellenos de cavidades, foto tomada a nicoles cruzados. Tomado de muestra GE-ARG-Super

Mapa de Alteraciones Hidrotermales



Leyenda

- | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  Cauces de rios y quebradas |  Silicificación Intensa |
|  Lineamientos y fallas inferidas |  Clorita |
|  Caminos construidos y plataformas |  Argilica Avanzada |
|  Caminos |  Argilica moderada a baja |
|  Silicificación moderada a baja |  Cuaternario |



Figura 3.21 Mapa de alteraciones hidrotermales

3.5 Geoquímica de reconocimiento

3.5.1 Generalidades

El primer programa de muestreo se realizó en el año 2009, donde se ejecutó una toma de muestras en fragmentos de rocas distribuidos preferencialmente en líneas NW a E-W. Este programa de muestreo fue realizado para un reconocimiento geoquímico del área de estudio, totalizándose 114 muestras que fueron analizadas por ICP41 (óptico) y AuAES23. Los resultados dan cuenta de una batería de 41 elementos, de los cuales se seleccionaron algunos para un análisis estadístico. El objetivo de este análisis es encontrar correlaciones entre elementos para después ocuparlos como trazadores o como elementos guías para definir un modelo de depósito específico. En la figura 3.27 se muestra la ubicación de las muestras con sus rotulos.

3.5.2 Análisis Univariable

En la tabla 3.1 se resumen las estadísticas básicas de los elementos seleccionados. Los elementos se describen a continuación.

Tabla 3.1 Resumen de estadísticas para muestreo ICP

135 rows - Univariate	Ag_ppm	Pb_ppm	Bi_ppm	As_ppm	Sb_ppm	Cu_ppm	Au_ppm	Zn_ppm	Te_ppm	Mn_ppm
[Visible] : Count Numeric	114	114	114	114	114	114	114	114	114	114
[Visible] : Count Text	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
[Visible] : Count Null	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
[Visible] : Count Negative	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
[Visible] : Count Zero	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
[Visible] : Unique Values	64	96	67	100	95	105	4	44	77	78
[Visible] : Minimum	0.01	1.1	0.01	3.3	0.17	5.6	0.001	1	0.01	14
[Visible] : Maximum	8.43	565	9.67	1295	36.2	10000	0.6	1020	6.41	5310
[Visible] : Mean	1.02193	60.983333	0.623596	60.936842	1.906404	137.431579	0.021123	30	0.626491	143.710526
[Visible] : Median	0.12	13.2	0.325	30.05	1.145	39.55	0.001	9	0.315	61
[Visible] : Range	8.42	563.9	9.66	1291.7	36.03	9994.4	0.599	1019	6.4	5296
[Visible] : Interquartile Ra...	0.9825	67.725	0.6825	29.3	1.6625	43.875	0	17	0.655	65
[Visible] : Standard Deviati...	1.821317	103.525542	1.231649	138.454448	3.698602	932.812398	0.093091	112.573123	0.85671	516.468637
[Visible] : 1 percentile	0.01	1.25	0.01	3.465	0.1715	5.81	0.001	1	0.01	14
[Visible] : 5 percentile	0.01	3.05	0.01	5.375	0.22	11.825	0.001	2	0.03	15.75
[Visible] : 10 percentile	0.02	3.6	0.015	7.55	0.305	14.4	0.001	3	0.07	19.5
[Visible] : 25 percentile	0.04	6.3	0.0875	15.825	0.4675	22.4	0.001	4	0.13	32.75
[Visible] : 75 percentile	1.0225	74.025	0.77	45.125	2.13	66.275	0.001	21	0.785	97.75
[Visible] : 90 percentile	3.625	181.25	1.21	114.5	3.235	104	0.001	41	1.625	216.5
[Visible] : 95 percentile	5.1675	280	1.5975	272.75	5.7125	134.125	0.225	66.75	2.54	351.5
[Visible] : 99 percentile	8.421	558.1	9.4405	1166	32.36	8543.65	0.6	964.65	5.8805	4761.75

Plata (Ag): Los valores de Ag tienen un límite de detección de 10 ppb y se reconoce que el 90% de las muestras están sobre esos valores. Tiene un promedio de 1,02 ppm, donde alcanzan sus valores hasta el tercer cuartil. 10% de valores superiores presentan sobre los 3 ppm de plata, alcanzando hasta los 8,43 ppm en algunas partes. (Ver figura en anexos).

Plomo (Pb): el plomo presenta valores promedio sobre los 60 ppm, este elemento fue detectado en casi todas las muestras. Tiene una desviación estándar de 103 ppm, y alcanza máximo hasta de 563 ppm en algunas muestras puntuales.

Bismuto (Bi): este elemento tiene un límite de detección de 10 ppb. Muestra un promedio de 0,6 ppm, y una desviación estándar de 1,23 ppm. Alcanza máximo hasta de 9 ppm en algunas muestras.

Arsénico (As): este elemento fue detectado en todas las muestras con un mínimo de 3,3 ppm. El promedio es de 60 ppm, y su desviación estándar es de 138 ppm. Es importante destacar la población de As de los percentiles sobre 90% de las muestras, donde los valores superan los 100 ppm, alcanzando hasta 1166 ppm como máximo.

Antimonio (Sb): este elemento fue detectado en todas las muestra con un mínimo de 0,17 ppm. El promedio es de 1,9 ppm y su desviación estándar es de 3,69 ppm. Destaca la población de los percentiles mayores al 90% donde alcanza valores sobre los 3 ppm alcanzando los 32,36 ppm como máximo.

Cobre (Cu): este elemento fue detectado en todas las muestra con un mínimo de 5,6 ppm. El promedio de Cu es de 137 ppm con una desviación estándar de 932 ppm. Es importante notar que el 95% de las muestras alcanzan el promedio del total, pero el 5% final presenta valores muy anómalos con respecto al promedio, alcanzando valores hasta los 8500 ppm en algunos sectores.

Oro (Au): este elemento tiene un límite de detección de 1 ppb. El 90% de las muestras no alcanzó el límite de detección. El promedio de valores de oro es de 20 ppb con una varianza de 90 ppb. La población del percentil del 95% alcanzó 0,225 ppm, teniendo un valor máximo de 0,6 ppm.

Zinc (Zn): este elemento tiene un límite de detección de 1 ppm. Todas las muestras fueron detectadas. El promedio es de 30 ppm y la desviación estándar es de 112 ppm. El último percentil sobre el 95% alcanza los valores promedios y se presentan poblaciones puntuales sobre esta familia de valores que son muy anómalos con respecto al promedio, llegando hasta valores máximos de 1020 ppm.

Teluro (Te): este elemento presenta un límite de detección de 10 ppb. Casi todas las muestras alcanzaron el límite, presentando un promedio de 0,6 ppm y una desviación estándar de 0,85 ppm. Desde el percentil del 75% se muestran valores anómalos con respecto al promedio, distribuidos en poblaciones puntuales, alcanzando valores máximos hasta de 5,88 ppm.

Manganeso (Mn): este elemento fue detectado en todas las muestras. Tiene un promedio de 143 ppm, y una desviación estándar de 516 ppm. Las poblaciones de datos sobre el percentil del 90% presentan valores anómalos con respecto al promedio y se distribuyen de manera puntual, alcanzando valores máximos hasta de 4761 ppm.

Las estadísticas básicas de los elementos y su variabilidad se pueden resumir en el siguiente diagrama de cajas; donde se ha elegido una escala en el eje Y de valores logarítmicos. En la figura 3.22 se muestran las poblaciones *outlier* de los elementos analizados (remarcados con círculos rojos) que reflejan rocas con mineralogía que incluye esos elementos. En anexos se muestran dos mapas con la ubicación de las principales anomalías de valores en la sección de litogeoquímica.

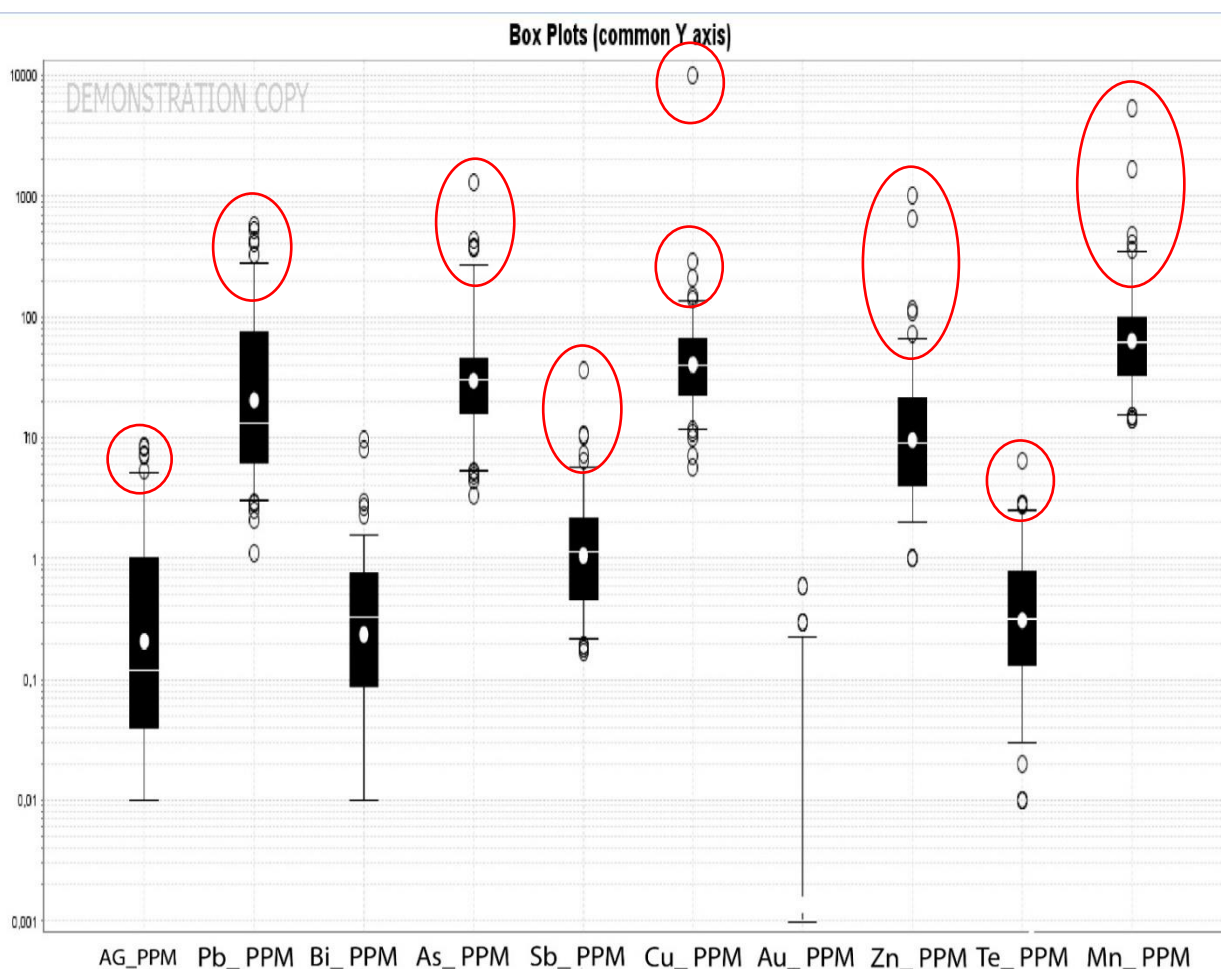


Figura 3.22 Diagrama de cajas para elementos de litogeoquímica ICP

3.5.3 Análisis Multivariable y Factorial

En la tabla 3.2 se muestran las matrices de correlación para los elementos seleccionados. Esta información se muestra para el posterior análisis factorial de Ag-Pb-Bi-As-Sb-Cu-Au-Zn-Te-Mn.

Tabla 3.2 Matriz de correlación de elementos analizados por litogeoquímica ICP

	Ag	Pb	Bi	As	Sb	Cu	Au	Zn	Te	Mn
Ag	1									
Pb	0,56	1								
Bi	0,41	0,4	1							
As	0,082	-0,073	-0,2	1						
Sb	0,45	0,19	0,16	0,25	1					
Cu	0,2	0,32	0,58	-0,014	0,093	1				
Au	0,38	0,24	0,52	0,5	0,21	0,59	1			
Zn	0,16	0,38	0,45	-0,0097	0,061	0,83	0,48	1		
Te	0,47	0,44	0,53	-0,12	0,068	0,65	0,54	0,5	1	
Mn	0,03	0,16	0,11	-0,0016	-0,011	0,27	0,15	0,74	0,14	1

Se han buscado correlaciones lineales entre los elementos seleccionados, llegándose a emparejar algunos elementos que han tenido variabilidades acopladas. El par Ag-Pb tiene un factor de 0,56 en correlación lineal, y un factor de 0,7 si se realiza un ajuste logarítmico, por lo que se pueden emparejar. El par Bi-Cu muestra un factor de 0,58 y Bi-Te un factor de 0,53, por lo se podría deducir que están parcialmente correlacionados. La correlación As-Au es pobre, con un factor de 0,5. El cobre presenta mejores factores de correlación; entre ellos, Cu-Au (0,59), Cu-Zn (0,83) que es una correlación muy buena, Cu-Te (0,65). La correlación entre Zn-Mn también puede considerarse como buena (0,74).

Dado el análisis del párrafo anterior se puede sospechar de mineralización polimetálica de sulfuros y sulfosales de Cu-Zn-Mn-(As), tales como, tennantita-tetrahedrita, energita, y otros minerales identificados en terreno en los lugares donde se muestreo como esfalerita y galena.

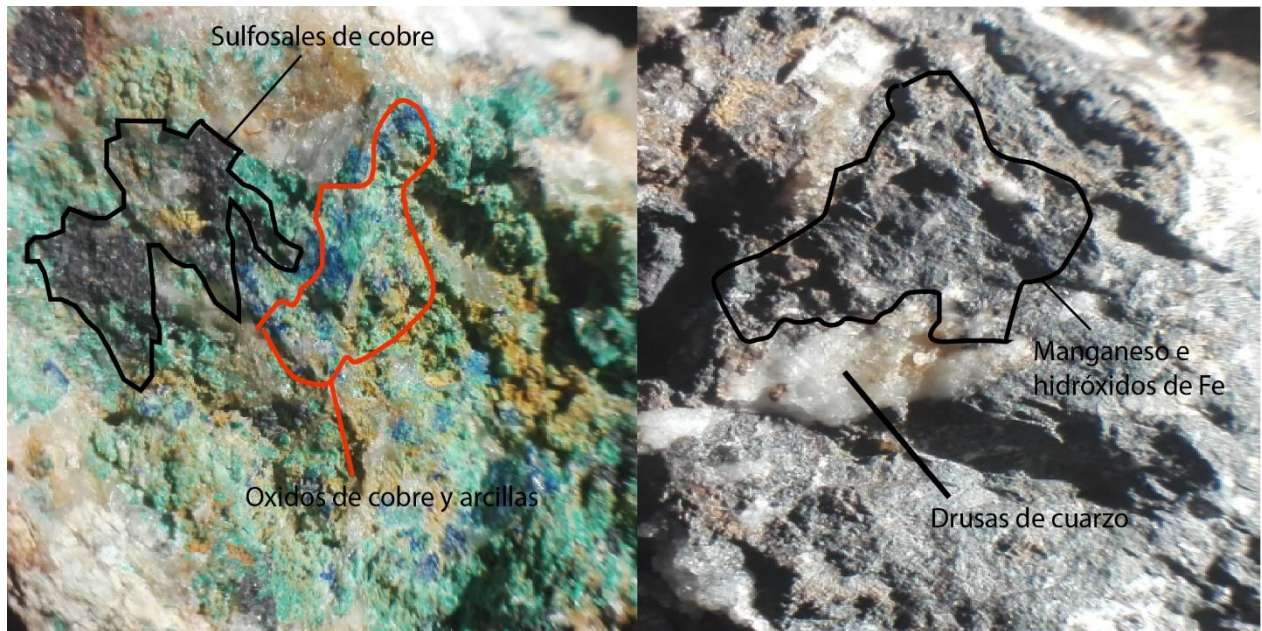


Figura 3.23 Mineralización en el prospecto. Muestra GE-POLI, correspondiente a mineralización en vetas polimetálicas de la zona de Brechas Norte.

En las figuras 3.23 y 3.24 se muestran mineralizaciones varias que calzan con las correlaciones de elementos indicados en la tabla 3.1. En la figura 3.23, a la izquierda se muestra mineralización de sulfosales de cobre por su paragénesis con óxidos de cobre que están en contacto con estos minerales. A la derecha se muestra mineralización masiva de óxidos de manganeso con drusas de cuarzo. En la figura 3.24 se muestra en detalle la mineralización de galena y la derecha mineralización de pirita más arsenopirita, caolinita y cuarzo, lo que se condice con la mineralogía de un depósito epitermal de sulfuración intermedia.

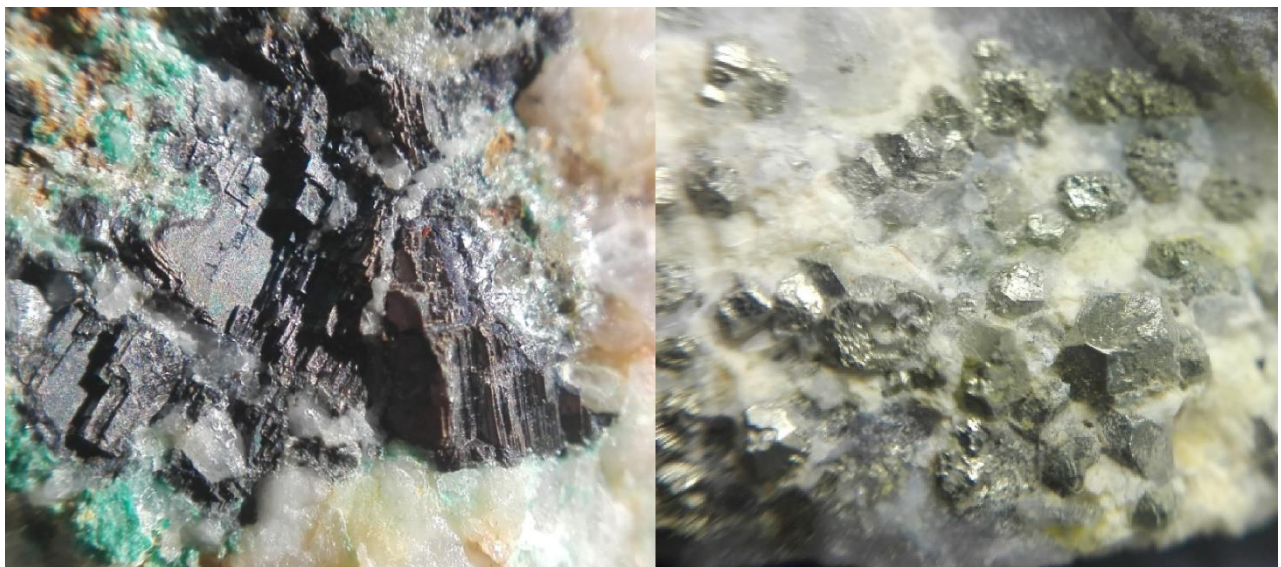


Figura 3.24 Mineralización en el prospecto. A la izquierda Galena, fotografía tomada de muestra GE-POLI, en vetas polimetálicas de la zona de Brechas Norte. A la derecha pirita más arsenopirita tomada en la Zona Pangué.

Si se realiza una nueva selección de datos (45 datos) y el análisis se centra en la grilla realizada en el sector del blanco Pangue donde se plantea una hipótesis de alteraciones epitermales tenemos que la matriz de correlaciones cambia a la siguiente tabla:

Tabla 3.3 Matriz de correlación en estructura de interés.

	Cu	Ag	As	Hg	Pb	Zn	Sb	Bi	Te	Au
Cu	1									
Ag	0,22	1								
As	0,42	0,6	1							
Hg	0,16	0,59	0,35	1						
Pb	-0,02	0,68	0,45	0,5	1					
Zn	0,52	-0,06	0,066	0,047	0,17	1				
Sb	0,3	0,42	0,59	0,45	0,58	0,26	1			
Bi	0,097	0,56	0,63	0,53	0,34	-0,13	0,59	1		
Te	0,26	0,8	0,81	0,47	0,5	-0,15	0,58	0,77	1	
Au	0,19	0,55	0,65	0,5	0,39	-0,03	0,66	0,96	0,78	1

En la tabla 3.3 se muestra el mismo análisis de correlación pero entre datos que estarían asociados al mismo proceso mineralizador. Es notable la pérdida de correlación con los pares de cobre y los nuevos pares de elementos que pueden agruparse. La plata se puede agrupar con Sb (0,59), con Pb (0,68), con Bi (0,56) y con Au (0,55), no obstante las correlaciones son medianas, excepto con el Pb que es media-alta. El arsénico muestra medianas correlaciones con Sb (0,59), Bi (0,63) y Au (0,65), no así con Te (0,81) donde la correlación es buena, por lo que el telurio se podría elegir como trazador de Ag-As-Te en este sistema. El Hg sólo muestra una mediana correlación con Bi (0,53). El Sb muestra mediana correlación con Bi (0,59), con Te (0,58) y con Au (0,66). El bismuto muestra una buena correlación con Te (0,77) y una casi perfecta correlación con Au (0,96). A su vez el Au muestra una correlación buena con Te (0,78). De esta matriz se deduce que otra asociación de trazadores de mineralización puede ser Bi-Te-Au. Notar que estas correlaciones sólo son válidas para las muestras tomadas en el blanco de interés.

Tabla 3.4 Matriz de configuración de elementos analizados por ICP.

Matriz de configuración:

	F1	F2	F3	Comunalidad inicial	Comunalidad final	Varianza específica
Au	0,677	0,554	0,143	0,540	0,786	0,214
Ag	0,662	-0,170	0,189	0,403	0,503	0,497
As	0,431	0,518	-0,590	0,379	0,802	0,198
Bi	0,490	0,170	0,522	0,374	0,542	0,458
Hg	0,533	-0,652	-0,142	0,454	0,730	0,270
Sb	0,651	-0,340	-0,228	0,461	0,591	0,409

Los valores en negra corresponden para cada variable al factor para el cual el coseno cuadrado es el mayor

En la tabla 3.4 se resumen los resultados de la matriz de configuración. Se realizó un análisis multivariable y factorial para estos elementos ya que están asociados usualmente en la mineralización de interés. El factor 1 explica la variación de los valores entre Au-Ag-Sb. El factor 2 explica una variación inversa para valores de Au-Hg. La comunalidad final es aceptable para Au, As, Hg (dado que explica la varianza del total de la suma de las varianzas en un porcentaje mayor al 60%). No obstante los valores de Au y Hg son de menor confianza al estar al límite de detección para el caso del Au, y también es poco representativo ya que el mercurio es un elemento cuya resolución de valores es muy baja (media más una desviación estándar no alcanza para explicar la variabilidad de la población), sumado a que la sensibilidad del instrumento de análisis no es la mejor para analizar este elemento ya que es preferible el método de análisis por vapor frío.

En la figura 3.25 se muestra en el gráfico de la izquierda el análisis de factores F1 y F2. El coseno de del ángulo entre los vectores indica el grado de correlación entre las variables, por ejemplo, el Au y el As tienen un bajo ángulo entre sus vectores, por lo que el coseno de ese ángulo se acerca hacia el valor 1 y explica de esa manera el acoplamiento entre estos elementos. Por el contrario el As con el resto de los elementos tienen un ángulo mayor a 45° por lo que pierde correlación con esos elementos, al menos, desde el manejo estadístico de datos.

En la figura 3.25 a la derecha se muestra los factores en una matriz de correlación rotada, lo que indica un ajuste de datos que usualmente se realiza porque explica mejor las variaciones de los datos en términos estadísticos. Se concluye lo mismo que del gráfico de la izquierda, y además se puede suponer una buena correlación entre los valores de Ag y Sb.

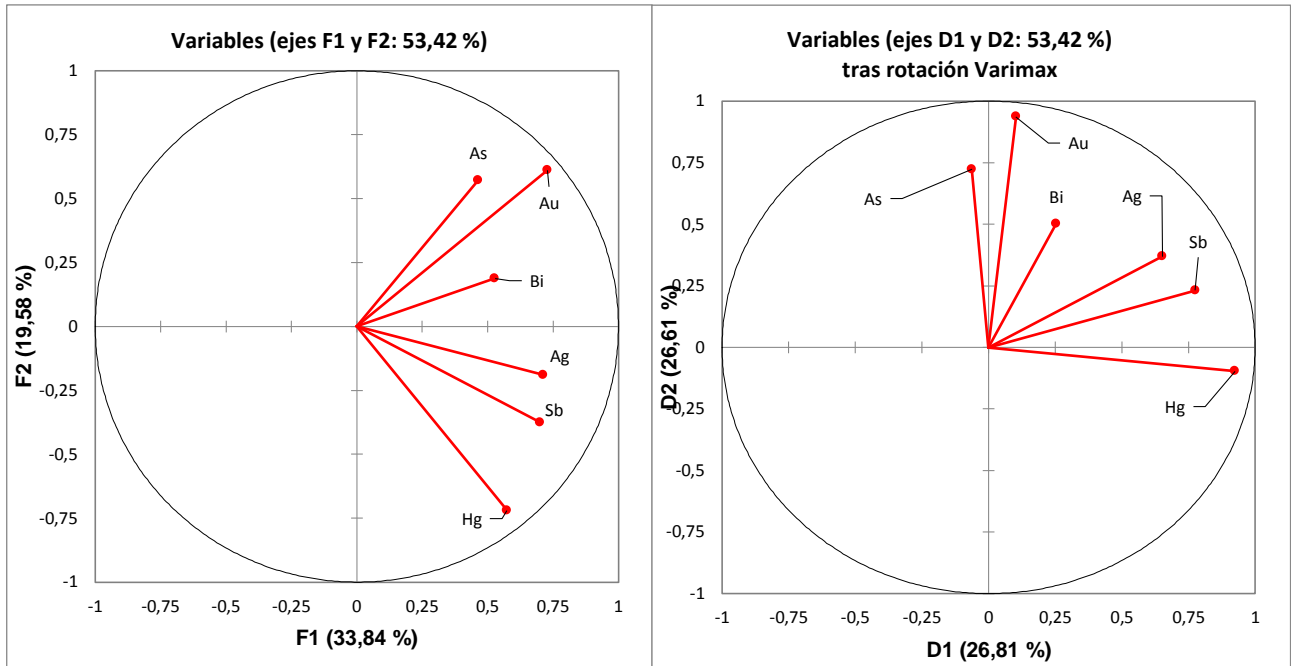


Figura 3.25 Análisis factorial entre factores 1 y 2 a la izquierda. Análisis factorial con valores rotados a la derecha.

De las matrices de correlación y de los análisis factoriales se deduce que los mejores trazadores para este ambiente de alteración es (Bi-Te-Au) por una parte, y (As-Ag-Te). Los posibles minerales relacionados con estos trazadores son los que se muestran en la figura 3.26, y corresponden a pirita, arsenopirita y caolinita. En el capítulo de discusiones se plantearán en más detalle lo referente a estas deducciones y sus relaciones. En la figura 3.27 se muestra la ubicación de las muestras en rojo.

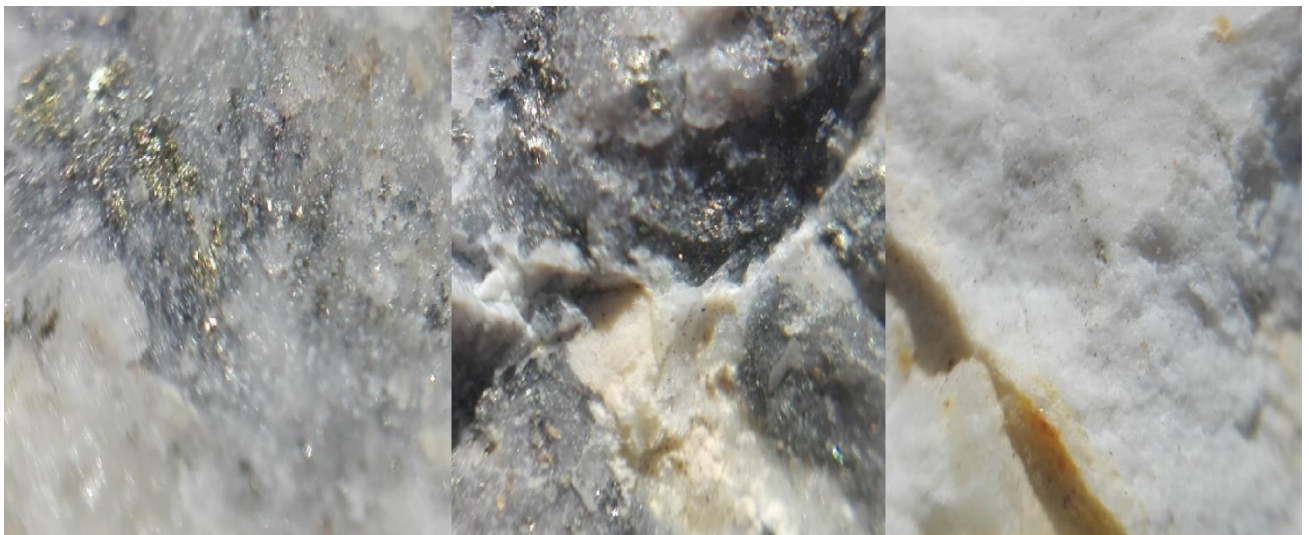


Figura 3.26 Mineralización en estructura de interés

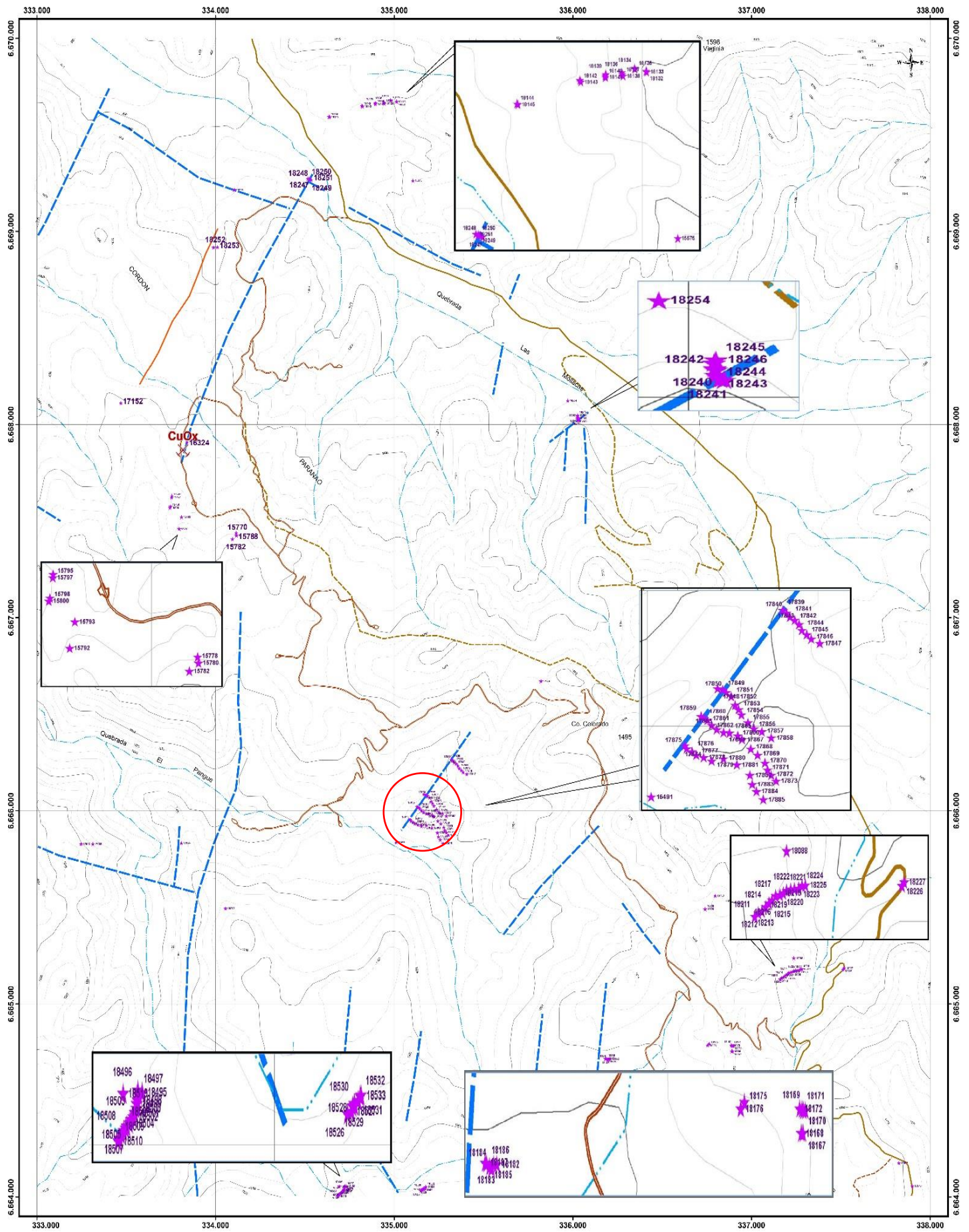


Figura 3.27 Ubicación de muestras para análisis ICP. En azul se muestran lineamiento, las estrellas son el rótulo de las muestras

3.6 Geoquímica superficial en grilla sistemática

3.6.1 Generalidades

Posterior al análisis por ICP se tomó la decisión de realizar una campaña de muestreo en malla regular definida en líneas de muestreo E-W separadas cada 200 m las líneas, y las muestras se tomaron cada 100 m en las líneas (grilla de 200 m x 100 m). Se totalizó una toma de muestras de 981 compósitos. En este análisis solo se tiene la disponibilidad de los valores de Au, Ag, Cu y Mo., los métodos analíticos de laboratorio fueron ICP41 y AuAES23.. Se desconoce el QA/QC

3.6.2 Análisis univariable

En la tabla 3.5 se resumen las estadística básicas de las muestras tomadas en el mapa de litogeoquímica superficial. La descripción de los elementos se realiza a continuación:

Tabla 3.5 Estadísticas univariadas para Cu, Au, Ag, Mo

Summary Statistics - Univariate [CU_PPM, AU_PPM, AG_PPM, MO_PPM]				
981 rows - Univariate	CU_PPM	AU_PPM	AG_PPM	MO_PPM
[Visible] : Count Numeric	981	981	981	981
[Visible] : Count Text	0	0	0	0
[Visible] : Count Null	0	0	0	0
[Visible] : Count Negative	0	0	0	0
[Visible] : Count Zero	1	0	964	0
[Visible] : Unique Values	181	32	10	49
[Visible] : Minimum	0	0.001	0	0.01
[Visible] : Maximum	12935	3.5	51	407
[Visible] : Mean	131.014271	0.020107	0.175331	6.442864
[Visible] : Median	64	0.001	0	0.05
[Visible] : Range	12935	3.499	51	406.99
[Visible] : Interquartile Ra...	46.5	0.009	0	11.95
[Visible] : Standard Deviat...	648.89011	0.121544	2.357758	18.274236
[Visible] : 1 percentile	16.82	0.001	0	0.01
[Visible] : 5 percentile	24	0.001	0	0.05
[Visible] : 10 percentile	29	0.001	0	0.05
[Visible] : 25 percentile	43.5	0.001	0	0.05
[Visible] : 75 percentile	90	0.01	0	12
[Visible] : 90 percentile	123	0.04	0	19
[Visible] : 95 percentile	154	0.07	0	24.9
[Visible] : 99 percentile	1499.04	0.28	2.18	47.54

Cobre: este elemento fue detectado en todas las muestra, el valor mínimo es de 16,82 ppm, el promedio de valores es de 131,01 ppm y la desviación estándar es de 648,8 ppm. Los valores anómalos están sobre el percentil del 95% de la población, con muestras que alcanzan hasta los 12935 ppm.

Oro: este elemento tiene un umbral de detección de 1 ppb. El 75% de las muestras no fue detectado sobre este umbral. El promedio de valores es de 20 ppb y hasta el percentil del 95% de la población se alcanza los 70 ppb. Los valores anómalos son definidos como el promedio más dos desviaciones estándar por lo que sólo el 1% de las muestras son considerados como valores anómalos y se muestran en el mapa litogeoquímico de oro (ver mapa).

Plata: este elemento no fue detectado en el 95% de las muestras. Tan sólo un pequeño porcentaje de muestras presentan un promedio de 0,175 ppm con una desviación estándar de 2,35 ppm. El 1% de las muestras está sobre los 2,18 ppm, alcanzando valores hasta de 51 ppm en muestras erráticas.

Molibdeno: este elemento tiene un límite de detección de 0,01 ppm. El 95% de las muestras fue detectado. El promedio de valores es de 6,44 ppm y la desviación estándar es de 18,27 ppm. Entre el percentil 95 y 99 se tienen valores entre 24,9 y 47,54 ppm, alcanzado máximos hasta de 406,99 ppm y que constituyen valores erráticos con distribuciones puntuales en el prospecto.

En la figura 3.28 se muestra un diagrama de cajas que señala los rangos de variabilidad de los elementos analizados con los círculos rojos. Se puede reconocer que Ag y Au tienen muy pocos valores sobre el promedio, por lo que constituyen poblaciones escasas que ponderan significativamente ya que presentan valores comparativamente mucho más altos que dos desviaciones estándar. El molibdeno presenta un pequeño grupo de valores *outliers* que no se visualizan en el *boxplot*, pero que constituyen valores atípicos en algunas zonas del prospecto y a que se distribuyen en poblaciones puntuales no relacionadas a ninguna estructura o *cluster* espacial, o agrupamiento de datos reconocible al menos en este muestreo. Para mayores detalles de la ver los mapas de valores donde se muestran los resultados de esta campaña de muestreo geoquímico.

La comparación con los valores de la corteza y la discusión sobre estos valores se muestra en el capítulo de discusiones. Finalmente, en anexos se adjunta el mapa con la ubicación de las muestras, el rotulo, y la tabla con las descripciones de tipo de roca y alteración.

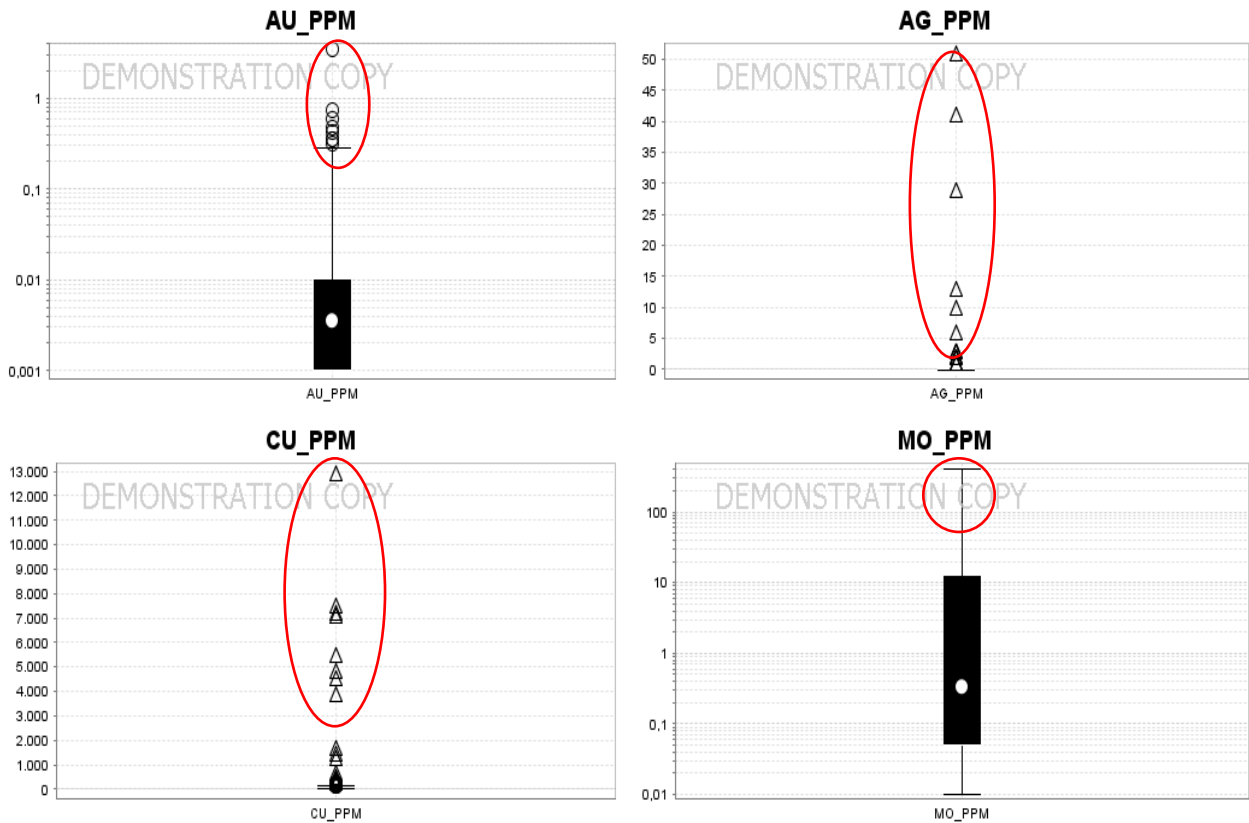


Figura 3.28 Diagrama de cajas para Cu, Au, Ag y Mo. En las elipses rojas se muestran valores anómalos de estos elementos comparados con el background del prospecto.

3.6.3 Análisis de variables

En la figura 3.29 se muestra la matriz de correlación para el Cu, Au, Ag y Mo. De esta figura se desprende que las correlaciones son medianas con factores de 0,58 para el par Cu-Ag, y 0,51 para el par Cu-Mo. En esta misma figura se indica con círculos rojos los valores anómalos que se escapan del promedio de datos. En esencia se puede indicar que las correlaciones no son muy significativas. No obstante el análisis multifactorial si es válido de realizar ya que la creación de un factor explica la varianza de los valores de Cu-Mo y permite acoplarlos aunque no presenten una correlación lineal calculada (la relación entre las variables pueden seguir distribuciones logarítmicas).

En la tabla 3.6 se muestra la matriz de configuración para el análisis multifactorial de Cu-Au-Ag-Mo. De esta matriz se puede deducir que la comunalidad final no es aceptable (menor al 60%), ya

que la plata tiene muchos datos bajo el límite de detección. Luego, los factores que mejor se relacionan son el Co-Mo.

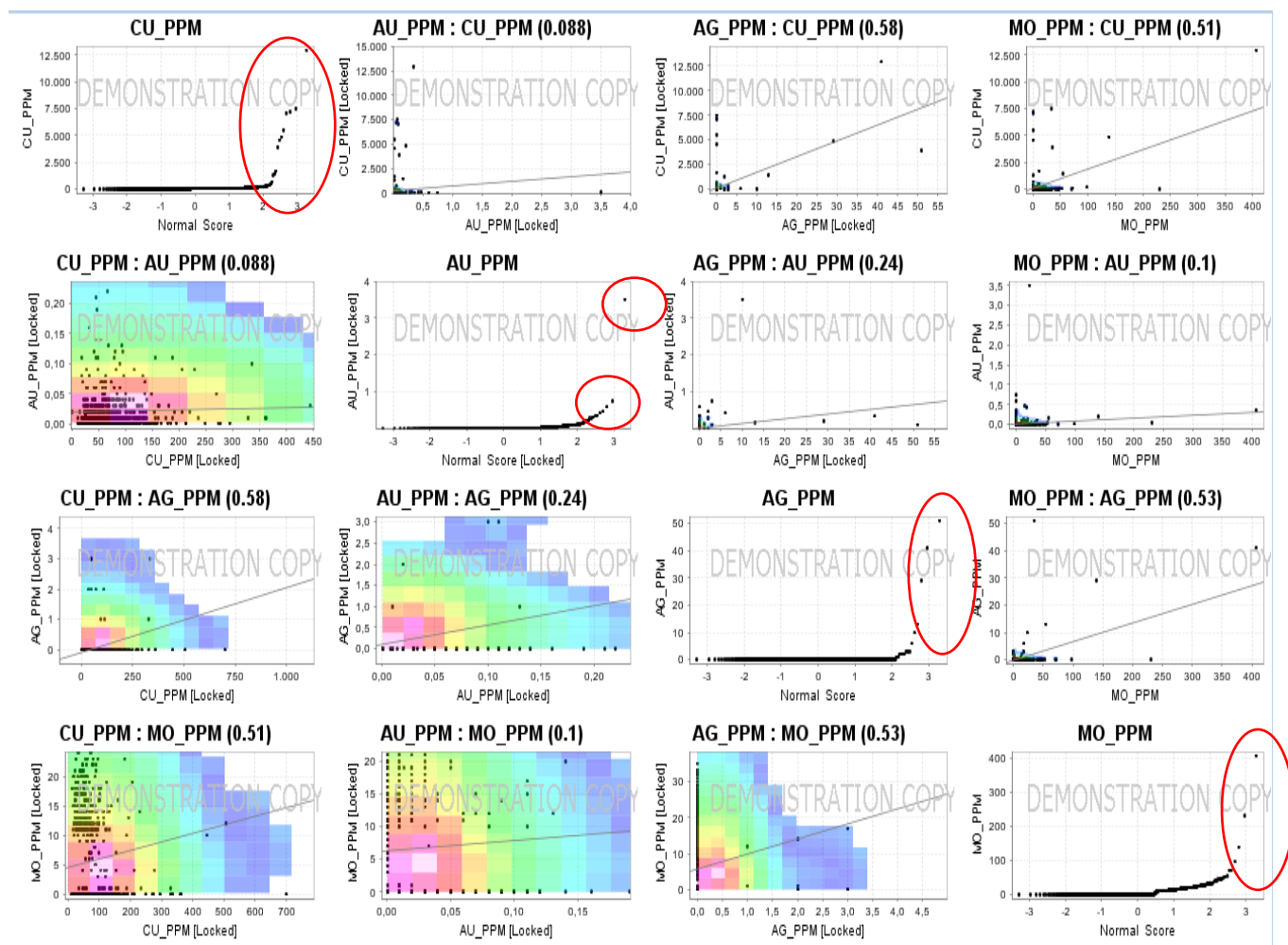


Figura 3.29 Matriz de correlaciones de datos geoquímicos del muestreo superficial. En rojo se indican los valores anómalos para cada uno de los elementos.

Tabla 3.6 Matriz de configuración para Cu, Au, Ag y Mo.

	F1	Comunalidad inicial	Comunalidad final	Varianza específica
Cu	0,722	0,397	0,521	0,479
Au	0,201	0,062	0,040	0,960
Ag	0,816	0,443	0,665	0,335
Mo	0,673	0,346	0,453	0,547

Los valores en negrita corresponden para cada variable al factor para el cual el coseno cuadrado es mayor.

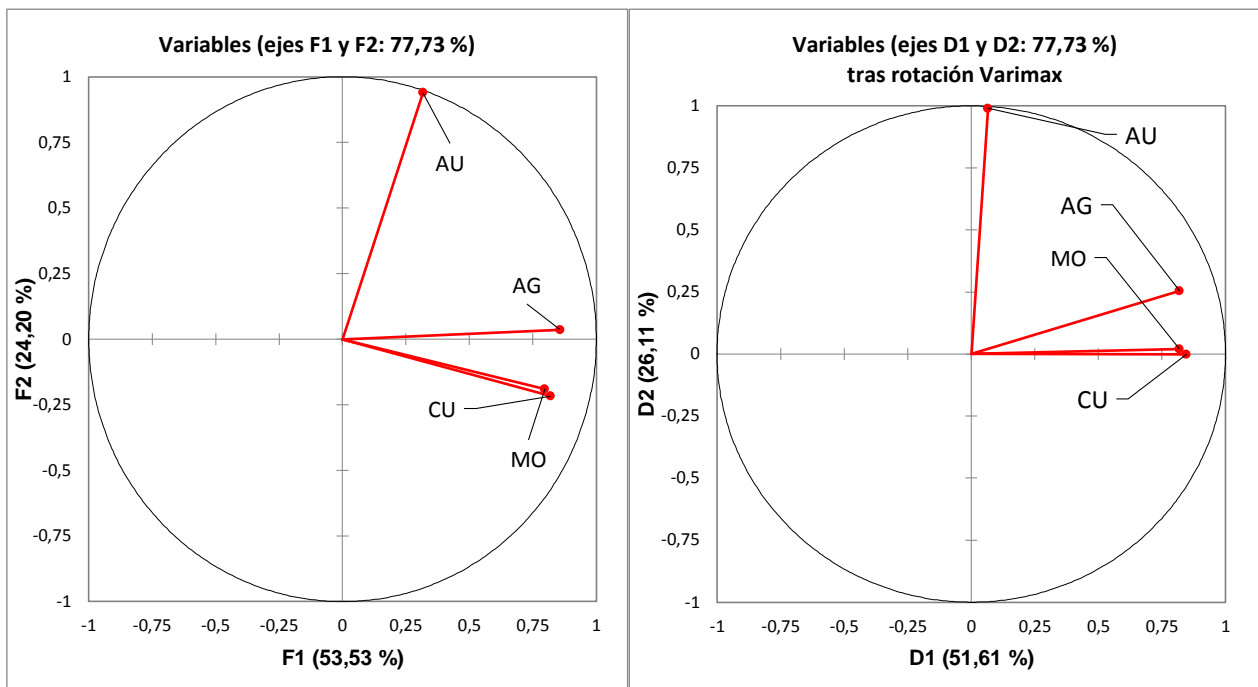


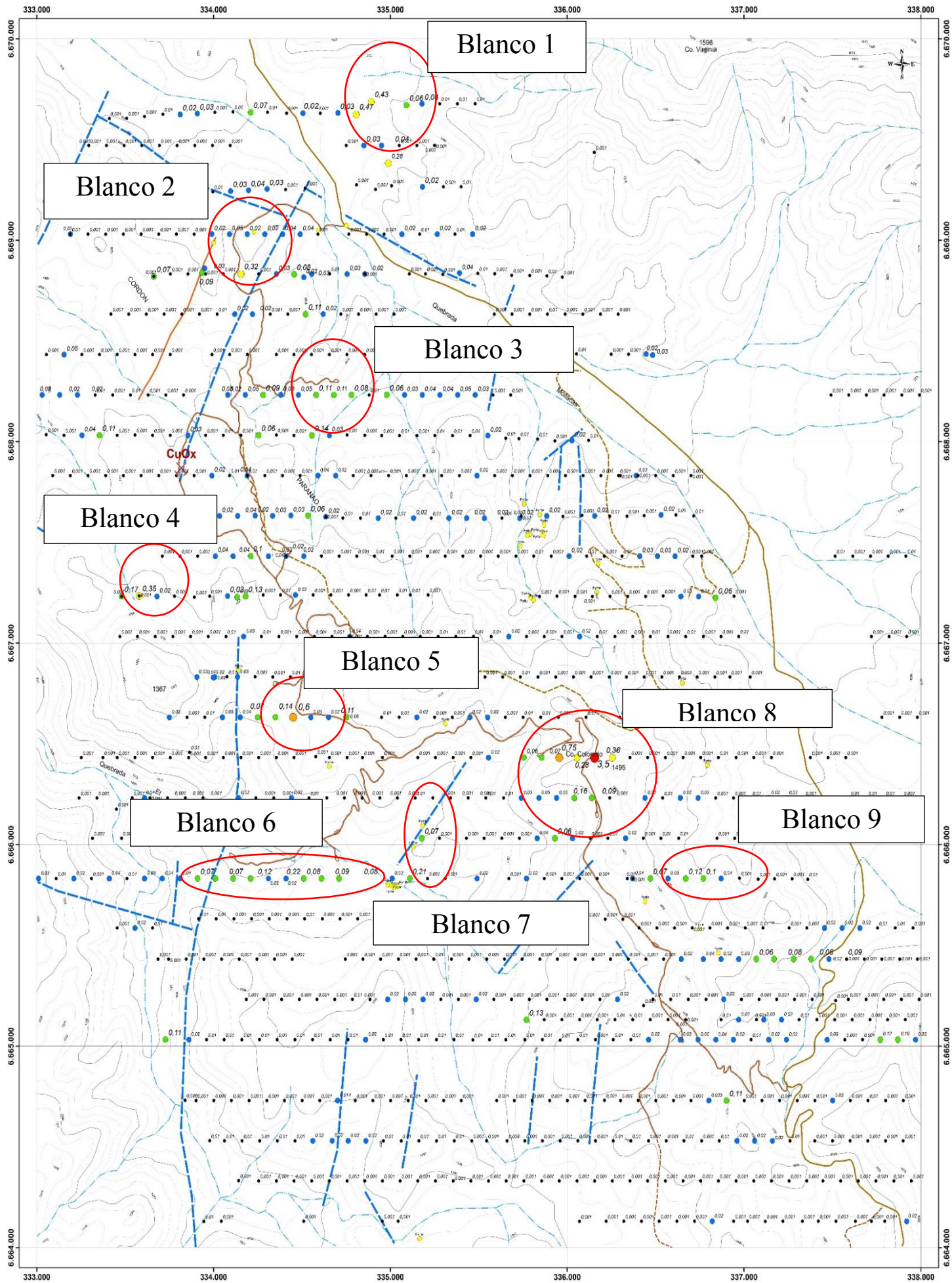
Figura 3.30 Análisis de componentes principales a la izquierda. A la derecha se muestra el mismo análisis tras rotación Varimax.

En la ilustración 3.30 se muestran los factores que mejor explican la variabilidad de datos. De esta imagen se concluye que el Cu-Mo tienen un factor de correlación alto (dado por el coseno del ángulo entre los vectores, en este caso su valor es cercano a 1, lo que indica una relación directa para las variaciones).

3.6.4 Definición de blancos de exploración de Hampton

De acuerdo con los resultados del muestreo geoquímico (Criterio de la empresa Hampton) se marcaron como potenciales blancos de exploración las áreas con mayores anomalías geoquímicas de oro (figura 3.31), luego se realizaron trincheras y se marcaron los blancos definitivos donde se destinaron sondajes (no se tuvo acceso a esta información).

A partir del criterio de selección de grupos de anomalías se definieron nueve blancos de exploración para sondear. El blanco 1 corresponde al cordón Mostaza donde Ulriksen (1990), en el mapa metalogénico a escala 1:1.000.000 señala que hay anomalías de Cu-Au-Ag, si bien es una escala de órdenes de magnitud mayor, en este trabajo se indica que en esa área existían labores de tipo “Chicken scratch”.



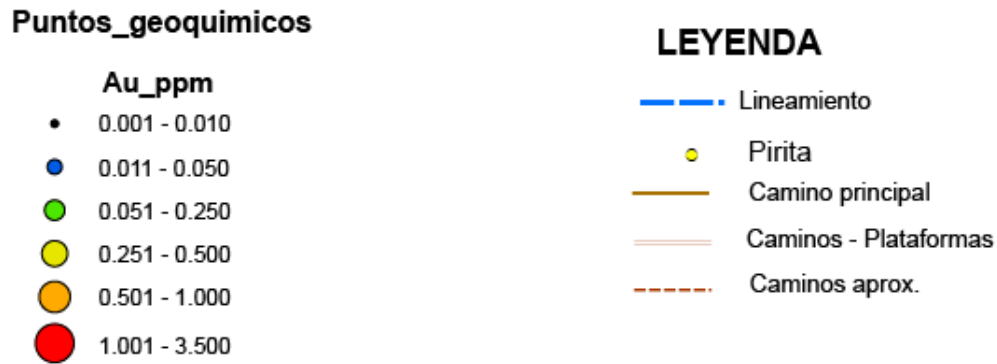


Figura 3.31 Mapa Geoquímico de oro

El blanco 2 sólo tiene dos anomalías en una veta de cuarzo por lo que no se priorizó como blanco potencial para sondajes.

El blanco 3 presenta un agrupamiento de anomalía donde se reconoce por medio de fotointerpretación que corren estructuras que estarían controlando la mineralización.

El blanco 4 marcó 3 anomalías de oro pero no calificó como blanco de sondajes ya que no había ninguna estructura asociada donde apuntar.

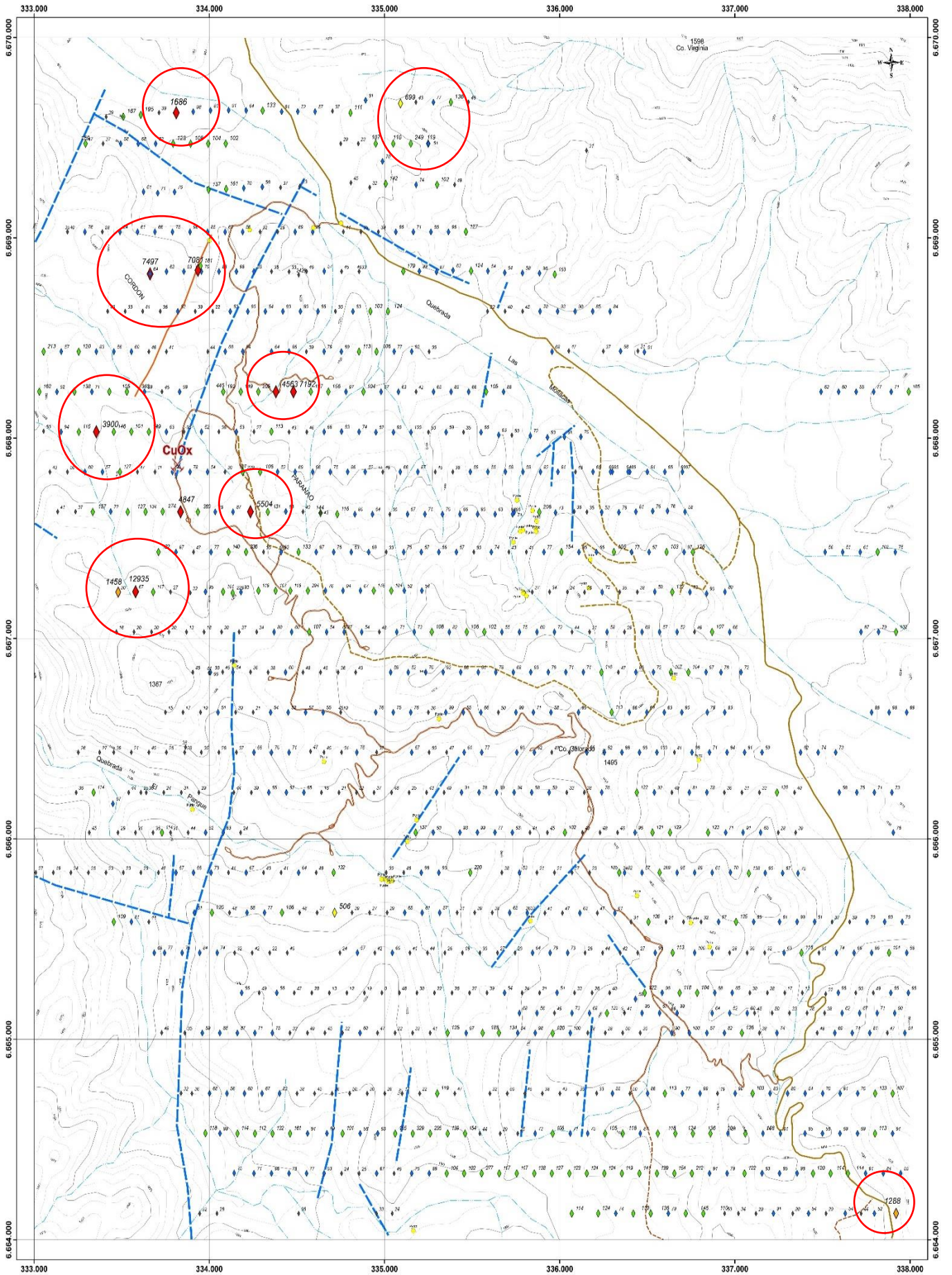
El blanco 5 presentó mejores perspectivas para sondear dadas las mayores anomalías de oro (un valor marcó 0,6 ppm), posterior a las trincheras los valores fueron auspiciosos por lo que se decidió recomendar 2 sondajes a este punto.

El blanco 6 presentó una tendencia de mineralización controlada por un nivel estratigráfico y marcó además un grupo de anomalías de oro por lo que se decidió dar paso al desmuestre en trincheras. Dados los resultados de estas se decidió destinar 3 sondajes en el mismo punto pero con direcciones distintas.

El blanco 7 también marcó 2 anomalías de oro asociadas a una estructura. Como sólo se consideró como prioritario el análisis de esta malla de muestreo se decidió que no sería interceptada esta estructura por medio de trincheras. No obstante el análisis ICP si muestra valores anómalos de Au-Ag y sus trazadores asociados.

En el blanco 8 se obtuvieron los valores más altos de oro por lo que se abrieron zanjas de las cuales no se tienen detalles. Posterior a ello, se decidió realizar 4 sondajes en este sector.

Finalmente el blanco 9 también registró anomalías de oro por lo que se destinó un sondaje a este lugar en dirección a un set de vetas reconocida en terreno.



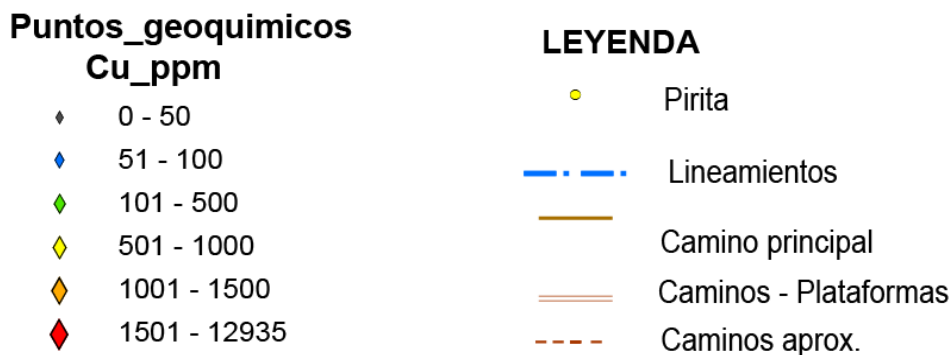


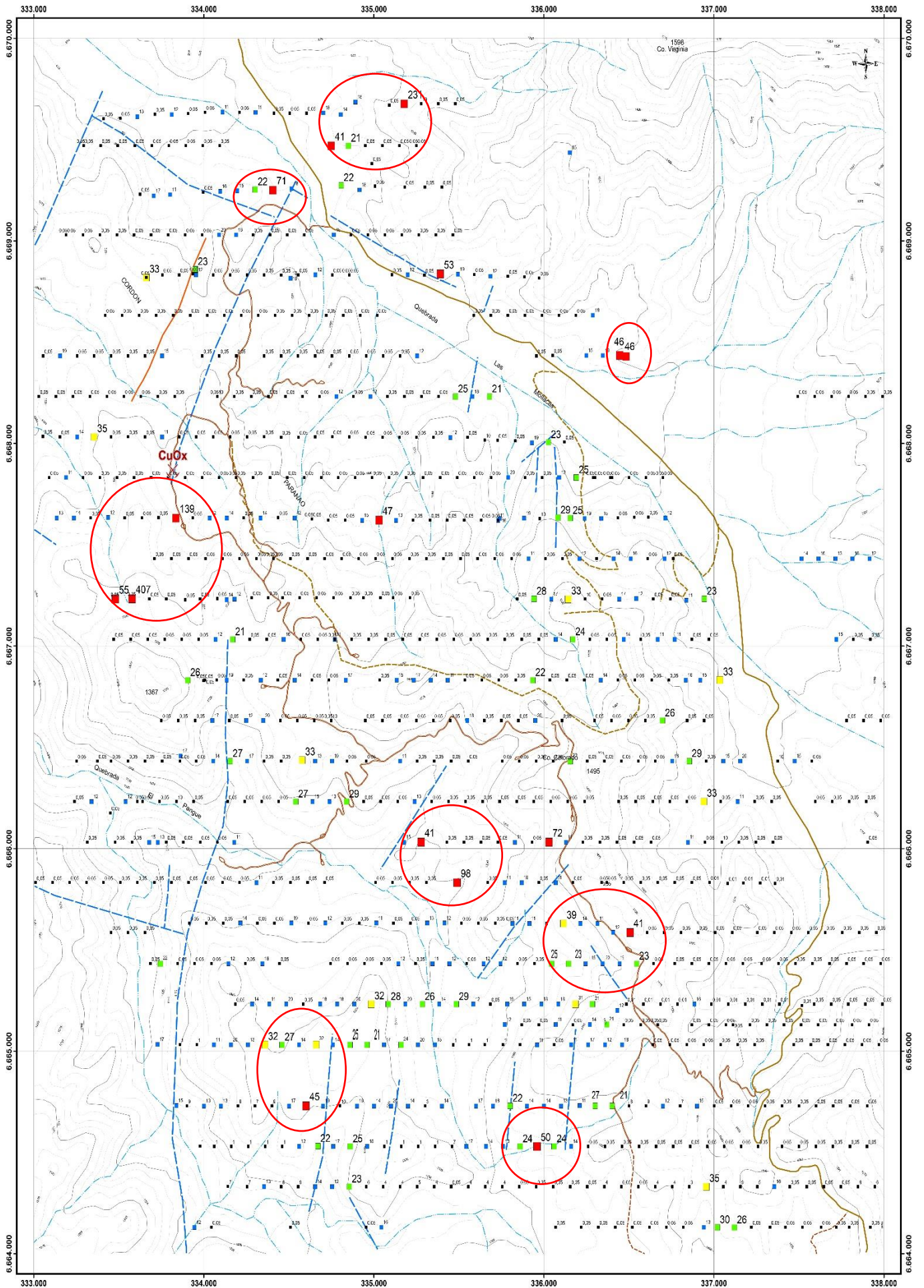
Figura 3.32 Mapa Geoquímico de cobre

En la figura 3.32 se muestra el mapa geoquímico de cobre. Es destacable la cantidad de anomalías en la zona del Cordón Paranao (marcadas con círculos rojos en el mapa de anomalías). En este caso el cobre no fue utilizado como criterio para destinar sondajes exploratorios. Queda propuesto para nuevas exploraciones la introducción de nuevos sondajes exploratorios. En el próximo capítulo se muestra un mapa de detalle que incluye estas anomalías para definir nuevos blancos de exploración.

Finalmente para el cobre, se puede señalar que la mineralización está restringida a cuerpos de vetas de espesores de 0,5-1 m y largos entre 250-1000 m reconocidos en terreno y foto-interpretados. En la figura 3.33 se muestra el material de estas vetas que ha sido explotada por pirquineros.



Figura 3.33 Desmontes de labores artesanales con material de la veta polimetálica.



LEYENDA

Puntos_geoquimicos

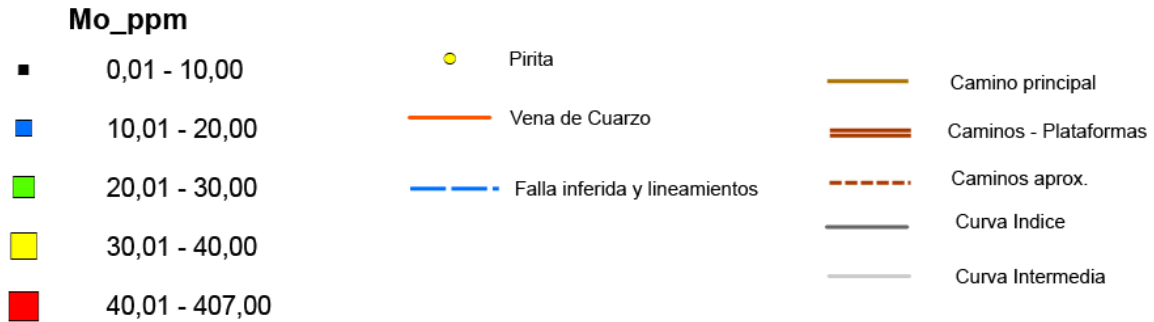


Figura 3.34 Mapa geoquímico de molibdeno

En la figura 3.34 se muestra el resultado del mapa geoquímico para molibdeno. Se tienen 2 poblaciones anómalas marcadas en rojo, las que varían entre 40 -100 ppm, y dos muestras que dieron valores de 231 ppm en el cordón Mostaza y 407 ppm en el sur del Cordón Paranao. En la figura 3.35 se muestra a la izquierda mineralización de molibdenita en brechas y la derecha se muestra mineralización de calcopirita en paragénesis con molibdenita, imagen tomada de la muestra GE-BR3, en la zona de brechas norte.

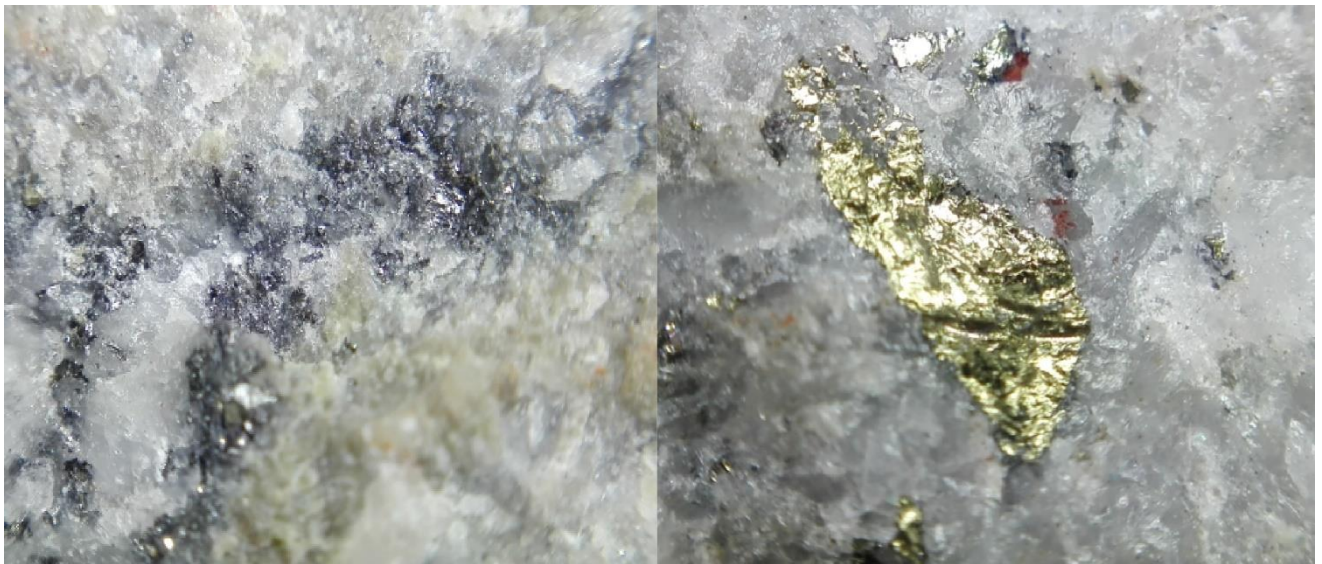


Figura 3.35 Molibdeno en brechas a la izquierda. En la derecha se muestra paragénesis de calcopirita y molibdenita. Imagen tomada de muestra GE-BR 3, en la zona de brechas Norte. Se presentan estas imágenes como la mineralogía probable que entregó algunos de los valores geoquímicos más altos del prospecto.

3.7 Estudios Geofísicos

3.7.1 Generalidades

En el proyecto Génesis se realizó un estudio geofísico usando los métodos Magnético Terrestre (Mag) y Resistividad/ Polarización Inducida (IP) Dipolo-Dipolo. Se encargó la toma y procesamiento de datos a la empresa Geodatos.

La adquisición de datos magnéticos y geoelectrónicos se efectuó durante las dos últimas semanas de Julio y la primera semana de Agosto del 2011, midiéndose un área aproximada de 14 Km² de líneas magnéticas y 3 perfiles de 3 Km cada uno de Res-IP.

Las líneas magnéticas son de orientación E-O, con separación de 100 m. Las líneas geoelectrónicas Dipolo-Dipolo se midieron con longitud dipolar de 200 m y hasta 6 niveles de profundidad.

La información del levantamiento magnético se presenta en un conjunto de mapas estándares del campo magnético. Los resultados de Res-IP, obtenidos mediante inversión 2D, se presentan en perfiles de resistividad y polarización (ver anexos).

Las coordenadas UTM de los levantamientos geofísicos están referidos al Datum WGS84, Zona 19S.

Los trabajos de terreno, las técnicas instrumentales, los parámetros de medición para pruebas magnéticas e IP se detallan en el capítulo de anexos. Se incluye además el detalle de procesamiento de datos y los mapas respectivos a cada una de las pruebas, como también las descripciones de uso de cada uno de los mapas y la interpretación indicada para los resultados y conclusiones de la empresa que realizó la geofísica. Los mapas de importancia para el autor serán descritos en el siguiente documento con su análisis respectivo.

En la figura 3.36 se muestran las líneas de medición de la magnetometría terrestre con las líneas rojas, y también se muestran las líneas de medición de la polarización inducida con los segmentos negros.

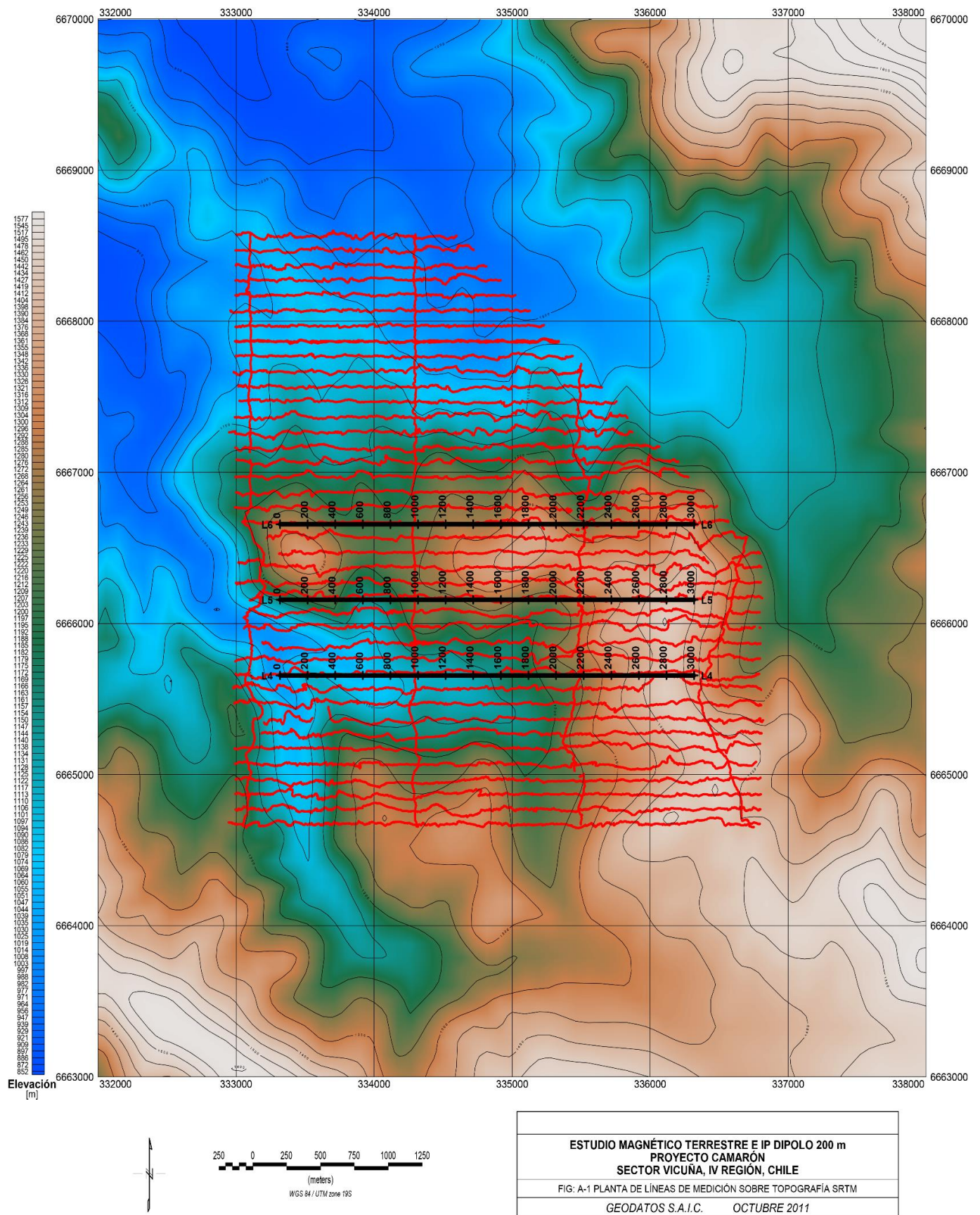


Figura 3.36 Estudio Magnético Terrestre e IP Dipolo 200m. Proyecto Camaron que para efectos de este trabajo es el mismo prospecto Genesis

3.7.2 Magnetometría

En la figura 3.37 se muestra el mapa reducido al polo de campo magnético total (RTP, por sus siglas en inglés). Este mapa es usado ya que ocupa un filtro de reducción al polo para transformar anomalías magnéticas bipolares en anomalías monopolares, localizadas, en planta, sobre cuerpos magnéticamente anómalos. En este mapa se indican altos y bajos magnéticos, variando los valores entre 0 y 500 nT (nano teslas).

En la figura 3.37 se puede reconocer un alto magnético en el sector este coincidente con los afloramientos dioríticos. En la porción sur oeste se muestra otro alto magnético coincidente con el intrusivo andesítico hipabisal. Se observan también en este mapa alineamientos de rumbo NW y NS a NNE que calzarían con estructuras. El patrón de estructuras se puede destacar con los mapas de la primera y segunda derivada, no obstante, en este trabajo sólo se cuenta con el mapa de la primera derivada (ver figura 3.38).

La figura 3.38 corresponde al mapa reducido al polo de la primera derivada vertical, sus valores varían entre $-2,62 - 3,20$ [nT/m]. Este mapa destaca en rojo los sectores con mayor pendiente o variación del mapa reducido al polo, las zonas de contraste o de diferencia magnética pueden significar sectores donde los procesos hidrolíticos que destruyen los minerales magnéticos. En esta figura se marcaron 6 anomalías que se comentan a continuación:

La anomalía 1 se reconoció en terreno y corresponde a una veta de cuarzo de 600 m de largo y que en este caso si es marcada como una señal magnética. Esta estructura se muestra en el capítulo 4.2.

Las anomalías 2 y 3 se reconocieron en terreno y su identificación y extensión será discutida en otro capítulo. Lo que respecta a la señal magnética, estas son nítidas en dirección NNE y tienen extensiones entre 400 y 600 m.

La anomalía 4 podría corresponder a una estructura ciega en superficie y se puede inferir desde este mapa. De la misma manera la anomalía 5 podría corresponder a una estructura ciega en su mayor parte, pero en la zona sur por la quebrada Pangue coincide con un cuerpo vetiforme que se extendería por más de 1500m.

Finalmente la anomalía 6 coincide con un lineamiento regional de más de 3 km que limita el contacto entre el cuerpo hipabisal andesítico en el oeste y las rocas piroclásticas por el lado este.

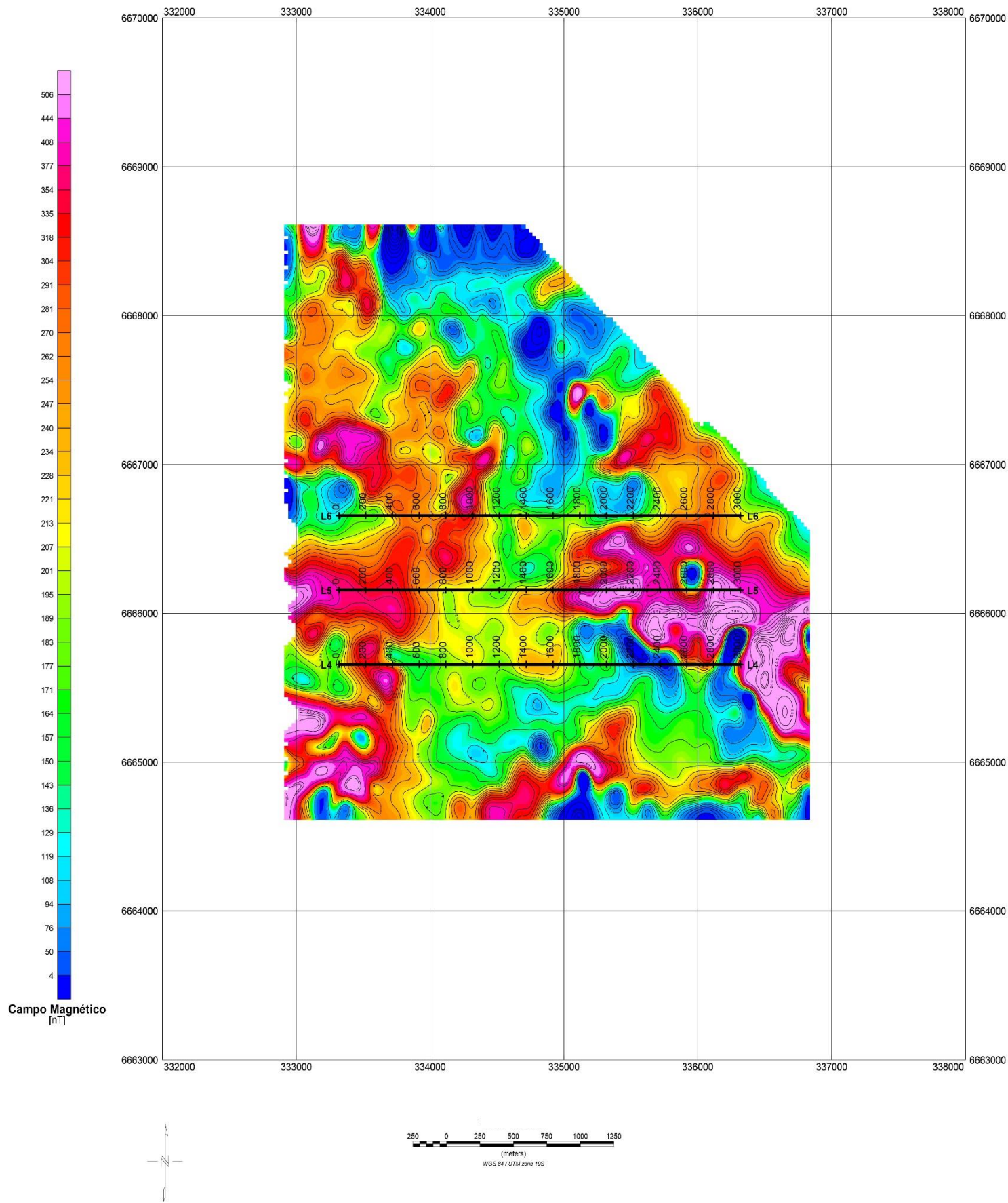


Figura 3.37 Mapa Reducido al Polo del Campo Magnético

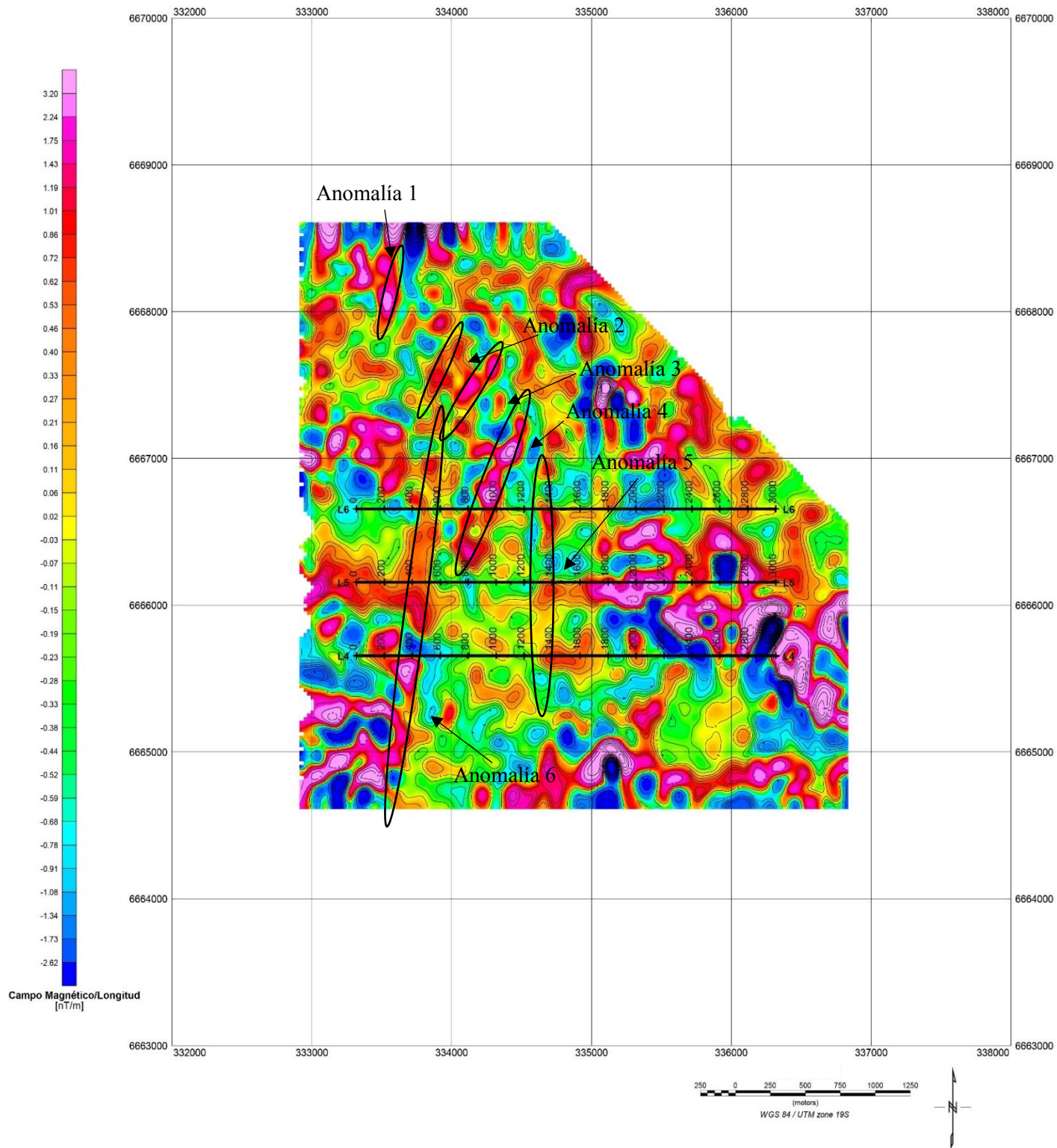


Figura 3.38 Mapa reducido al polo de la primera derivada vertical

3.7.3 Polarización Inducida (IP)

El estudio de polarización inducida corresponde a un arreglo de tres líneas de IP de 3 Km de largo cada una, separadas por 500 m entre ellas. En esos perfiles se pueden ver áreas de conductividad (150 ohm/m) asociadas con áreas de cargabilidad mayores a 40 (mrad) en la zona oeste. Para la zona este, las señales son un tanto más difusas pero muestran zonas conductivas asociadas con estructuras y zonas de alta resistividad, asociadas posiblemente con la litocapa propuesta como hipótesis que se mencionará en mayor detalle en el capítulo de discusiones.

En la figura 3.39m se muestran los perfiles de resistividad en colores y la delineación de las líneas de cargabilidad en cada una de las líneas respectivas.

El estudio geoelectrico con dipolo de 200 m ha logrado definir bien la localización de estructuras polarizables emplazadas en un medio de resistividad intermedia a alta (100 a 500 Ohm-m, hasta 1000 Ohm-m en el extremo Este del perfil L6).

El techo de estos cuerpos de IP se sitúa entre 100 y 300 m de profundidad.

De acuerdo a las secciones geoelectricas, las zonas polarizables se sitúan principalmente en los siguientes tramos:

Perfil L4: stn 600- 1400

Perfil L5: stn 1000- 1600

Perfil L6: stn 1600- 2400

Perfiles de Resistividad (colores) y perfiles de cargabilidad (líneas negras gruesas superpuestas)

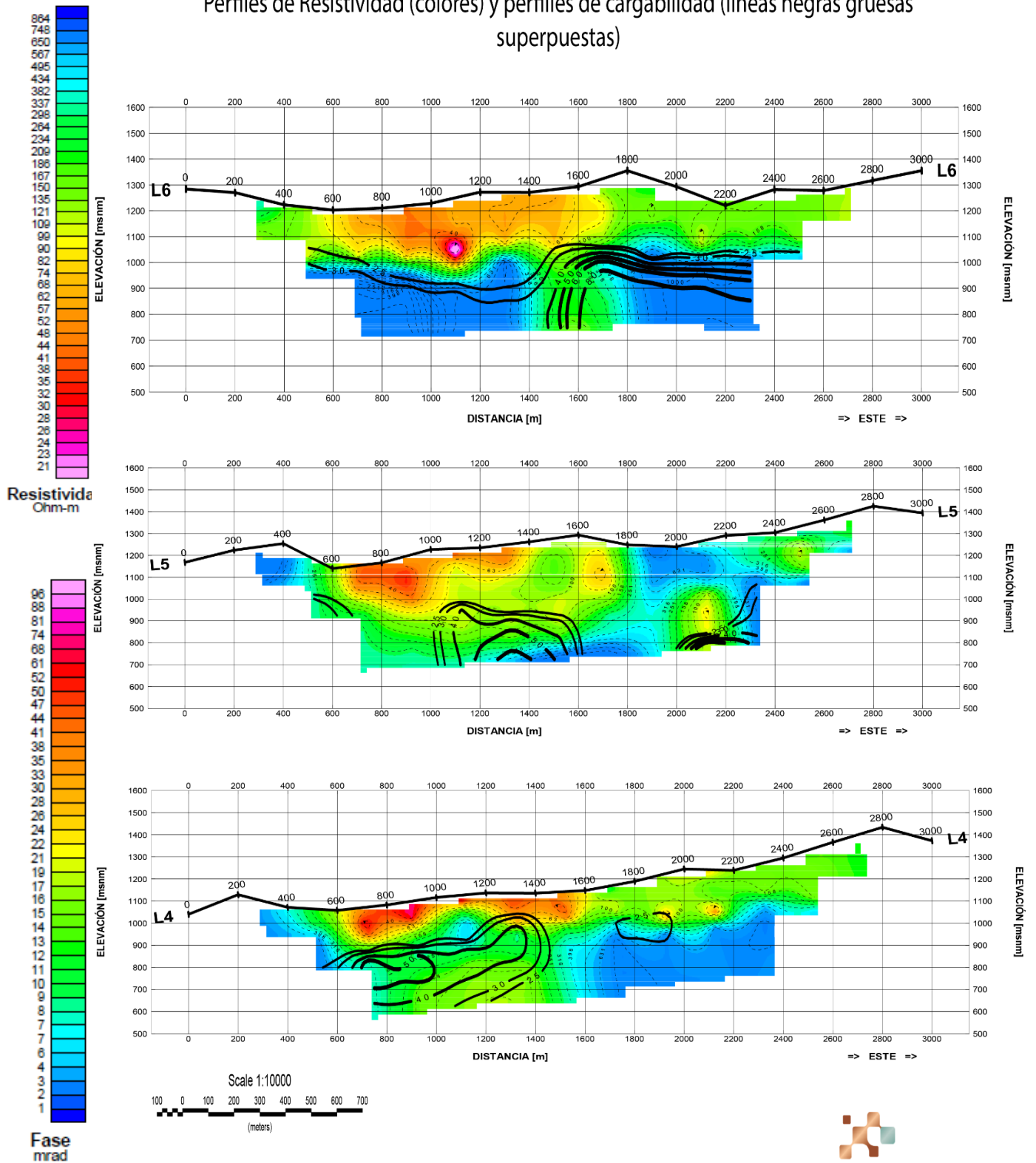


Figura 3.39 Perfiles de IP de resistividad (Colores) y cargabilidad (líneas negras), para las líneas 6, 5 y 4, desde norte a sur respectivamente. Los valores de cargabilidad varían entre 20-50 [mrad] en la línea 6, entre 25-50 [mrad] en la línea 5, y entre 25-50[mrad] en la línea 6

A modo general se puede indicar en la figura 3.40 los perfiles de cargabilidad dispuestos en secciones de planta para la cota de 800 m y la cota de 900 m. Se indican las escalas de cargabilidad y también los sondajes realizados por Hampton.

El primer perfil de coordenadas 666656 N (Línea 6) reporta una extensa área cargable hacia el este bajo los 200-250 m de profundidad, la que se extiende hacia el oeste con menos intensidad pero con valores que exceden los 30 [mrad]. Con respecto a la conductividad, se puede apreciar una geometría de “cuello” conductor en el área central.

El perfil de coordenadas 6666156 N (Línea 5) reporta una extensa área de cargabilidad en el este, centro y oeste de la línea, las que están emplazadas bajo los 200 m de profundidad y superan los 30 [mrad]. En relación a la conductividad, se muestran zonas de conductividad poco claras para interpretar. Aunque se muestra, además, un pequeño cuerpo conductor hacia el este y una zona conductora en la parte centro-oeste, las que aparentemente se extenderían en profundidad y hacia el oeste.

El perfil de coordenadas 6665656 N (Línea 4) reporta una extensa área de cargabilidad al oeste y un área de menor extensión al este, bajo los 900 m de altitud. Los valores de cargabilidad en esta ubicación exceden los 30 [mrad]. En cuanto a la conductividad, se puede ver que un extenso cuerpo conductor aparece hacia el oeste y que podría corresponder al borde este del intrusivo andesítico, lugar que muestra por lo demás un desarrollo de altas cantidades de anomalías de Cu.

Perfiles en planta de cargabilidad en cota 900 y cota 800

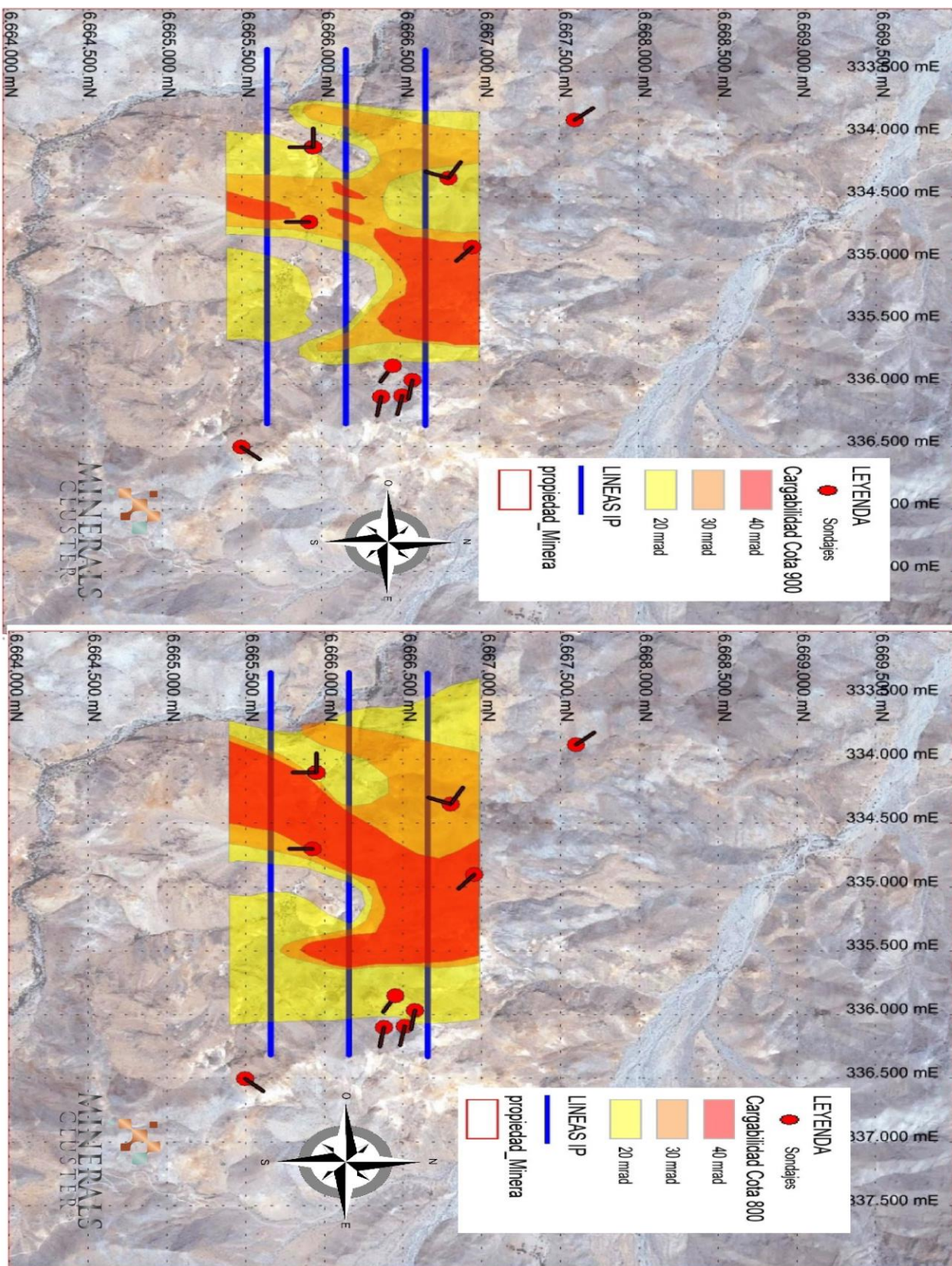


Figura 3.40 Perfiles de cargabilidad en cota 900 y 800. Imagen facilitada por Minerals Cluster

3.8 Campaña de Sondajes

3.8.1 Generalidades

En junio del año 2012 se inició una campaña de sondajes de aire reverso cuyo objetivo era lograr interceptos con mineralización de interés económico. Se desarrollaron un total de 3600 m, cada sondaje con un largo de 300 m, por lo que se realizaron 12 perforaciones en total. El blanco de interés principal era identificar un sistema epitermal de oro en la propiedad, por lo que los esfuerzos se concentraron principalmente en las mayores anomalías de oro identificadas en la malla de muestreo geoquímico (ver figura 3.31). La toma de muestras se realizó cada 1 metro como soporte muestral (ver anexos). Los protocolos de QA/QC no se señalan en detalle, tampoco el uso de duplicados, blancos ni estándares en el laboratorio.

A modo general se puede indicar que las perforaciones interceptaron 14 tramos cortos (menores a 10 m de ancho aparente), con mineralización anómala de metales preciosos/metales base, asociados a vetas de cuarzo que cortan rocas volcánicas y rocas intrusivas con alteración hidrotermal. Las perforaciones comprueban que hay valores anómalos de Au consistentes con un control estructural y también demuestran que la mineralización de cobre es baja, como por ejemplo en el intercepto de 11 m con 0,24% de Cu en GR-04.

3.8.2 Descripción de sondajes

En anexos se adjuntaron las tablas con las descripciones de los sondajes. Se incorporan coordenadas, cota, azimuth de collar e inclinación de collar. Cada sondaje incluye, además. Una indicación de litología, que puede ser: sin información, relleno, aglomerados, andesitas, brecha ígnea, dacita, diorita, dique aplitico, granodiorita, microdiorita, monzodiorita, toba, traquita y veta de cuarzo.

Las alteraciones pueden ser: sin información, argílica, clorita, clorita-sericita, clorita-cuarzo, clorita-sericita (=cuarzo-sericita), clorita-epidota, potásica, cuarzo-sericita, cuarzo-sericita (clorita), silicificación.

Se incluye además una descripción semi-cualitativa para la observación de pirita, creando una escala de 5 rangos posibles de mineralización, los que pueden ser: sin observación, traza, débil, moderado, fuerte y muy fuerte. Esta descripción depende netamente de un consenso entre los geólogos y los asistentes que mapearon los sondajes.

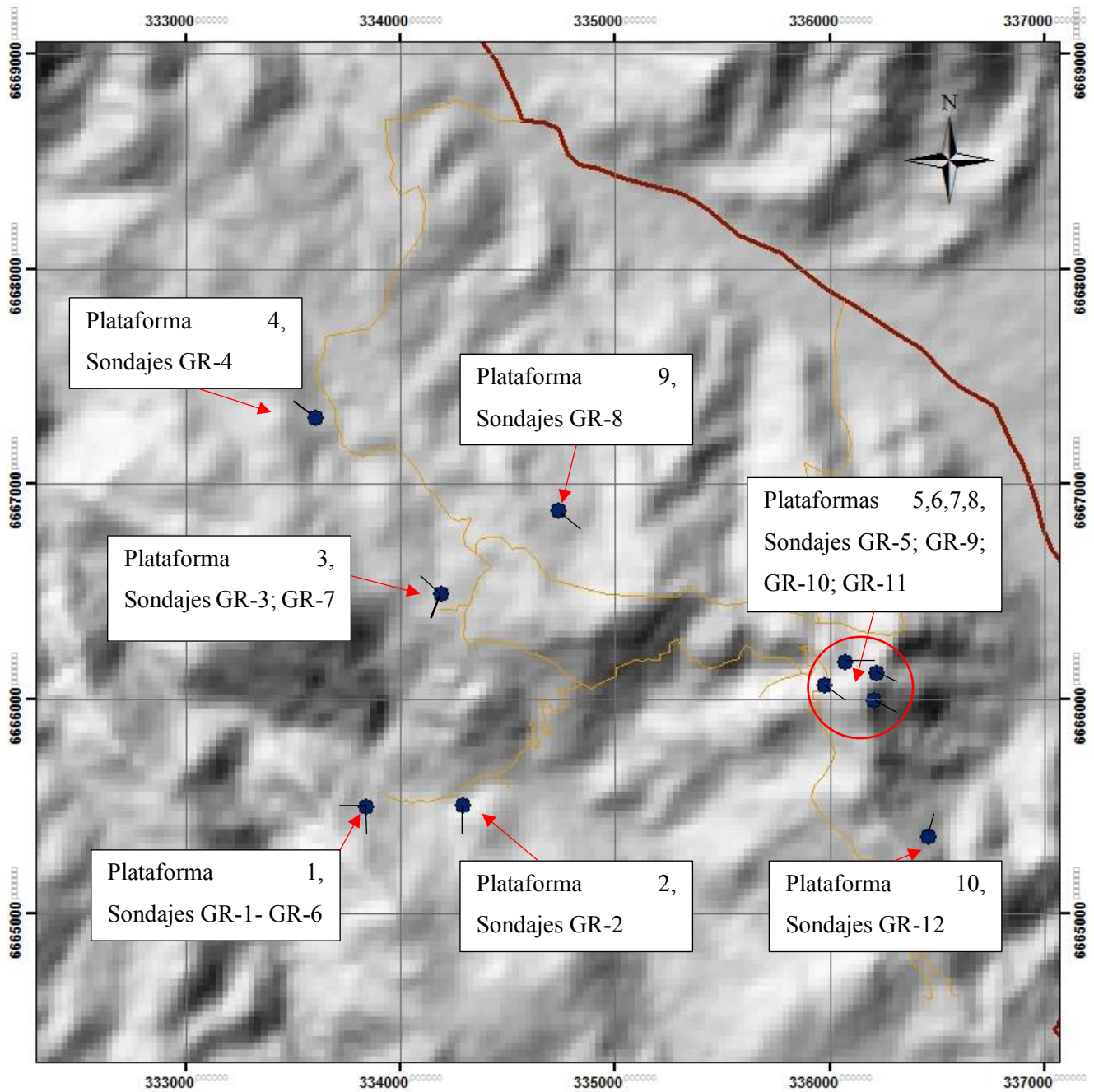
También se realizaron análisis de fluorescencia de rayos X para determinar la composición de las muestras, resultando en cuantificación de: SiO₂, azufre (S), calcio (CaO), hierro (Fe₂O₃), plata (analizada por procedimiento de laboratorio GeoAna indicado en anexos), cobre total (CuT, analizado por GeoAna), arsénico (As, analizado por GeoAna), y oro (Au, analizado por GeoAna). Los valores de cada uno de los elementos se indican en las escalas de análisis respectivas para cada sondaje. Finalmente en las descripciones se incluye un perfil esquemático de litologías y alteraciones.

Como comentarios a las interpretaciones de las geometrías de las litologías se puede indicar que el autor de esta memoria propone dos modelos conceptuales para las litologías. Por una parte, los interceptos de los sondajes GR-1, GR-6 pueden indicar diques dioríticos en vez de plutones (los cuales podrían constituir las rocas de caja de la mineralización y basamento de la Fm. Los Elquinos). Por la otra parte, en sondajes con interceptos continuos de rocas dioríticas, monozodioritas o alguna de sus variaciones se propone que podrían ser rocas de caja pre-mineralización, y la cobertura corresponde a la Fm. Los Elquinos. La Leyenda usada se indica a continuación en la figura 3.41. El mapa con la ubicación de los sondajes se muestra en la figura 3.42.




Leyenda

Litologías	Alteraciones	Mineralización
 Intrusivo (Diorita, Monzodiorita)	 Supérgena	 Pirita
 Aglomerado (Brechas volcánicas, Tobas brechosas)	 Clorita-sericita	
 Andesitas (Brechas, lavas afaníticas, porfir-)	 Cuarzo-Sericita	
 Tobas (Finas, lapillitas, brechosas)	 Cuarzo-Sericita (clorita)	
 Vetas de cuarzo		

Figura 3.41 Leyenda usada como pauta de descripción de sondajes.



Leyenda

-  Sondajes de Aire Reverso
-  Caminos construidos y plataformas
-  Caminos

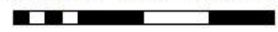
0 125 500 750 1.000
 Metros

Figura 3.42 Mapa con ubicación de perforaciones ejecutadas por Hampton.

3.8.2.1 Sondaje 1 y 6 (GR-1; GR-6)

El sondaje 1 se realizó en el blanco geoquímico de oro 6 (ver figura 3.31), en la cota 1215 m, con un azimuth de 270 y una inclinación de -60° . Los interceptos de interés corresponden al metro 169-175, que indican 15 ppm de Ag, 446 ppm de Zn y 289 ppb de oro en litología de aglomerados (brechas indiferenciadas) con alteración de clorita. Es interesante destacar que mineralización moderada de pirita se acota a un cuerpo intrusivo entre los metrajés 60 y 115, donde se indica alteración cuarzo-sericita. En la figura 3.43 se esquematiza el sondaje 6.

El sondaje 6 se realizó en el mismo punto que el sondaje 1, con azimuth de 180 y una inclinación de 60° . El intercepto de interés corresponde al intervalo 289-291, donde se cortaron 2 metros de un nivel de tobas con alteración clorita-sericita, y mineralización de plata de 80 ppm, y oro con 4,6 ppm. En el siguiente perfil esquemático se resumen los sondajes 1 y 6:

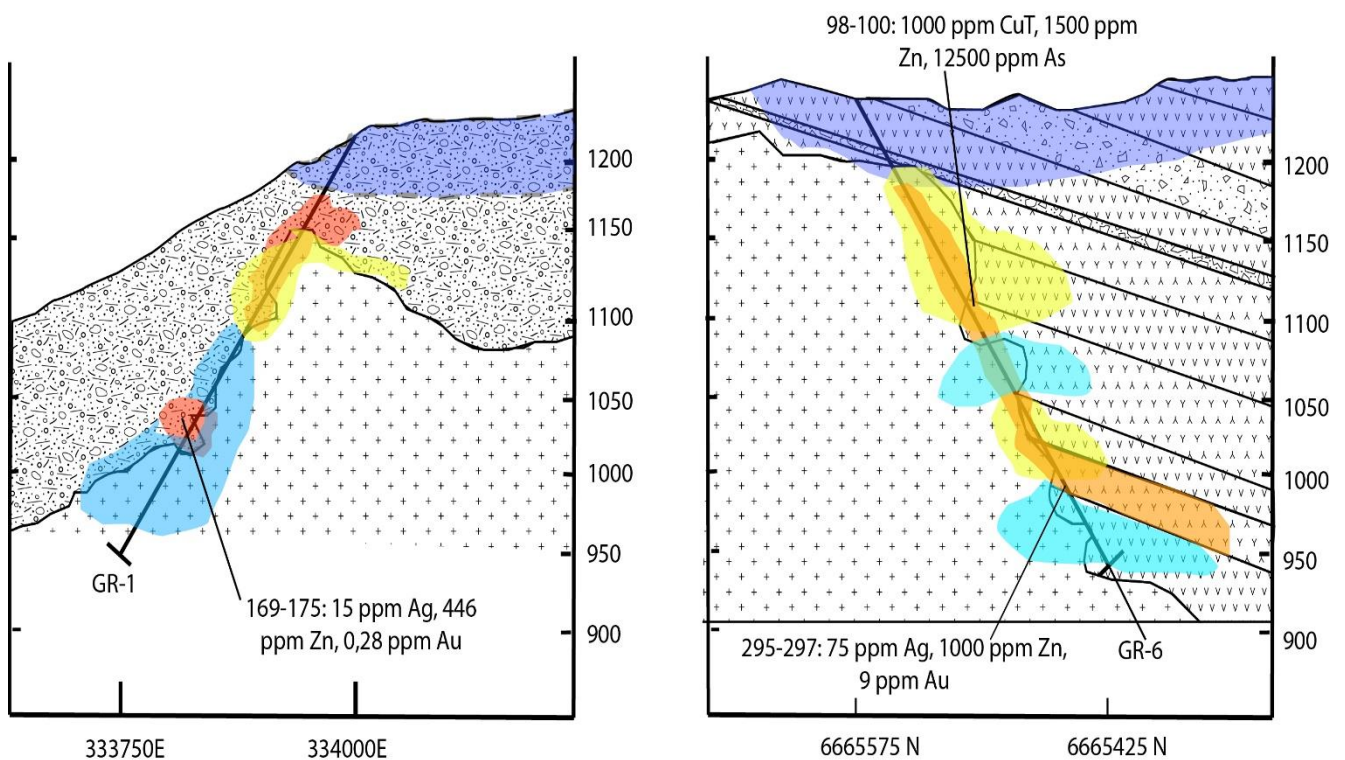


Figura 3.43 Perfiles esquemáticos de sondaje 1 a la izquierda y sondaje 6 a la derecha

3.8.2.2 Sondaje 2 (GR-2)

Este sondaje se realizó en el blanco geoquímico de oro 6, en el extremo este (ver figura 3.44), en la cota 1190 m, con un azimuth de 180 y una inclinación de -60° . Cabe destacar que las litologías reconocidas son brechas, intercaladas con tobas y paquetes de andesitas, estas cortadas por vetas de cuarzo y dioritas. La alteración predominante es cuarzo-sericita en casi todo el sondaje y menor clorita en rocas andesíticas. Es notable el metraje entre 20-50 m, donde se cortó una veta de cuarzo con mineralización de moderada pirita. En el siguiente perfil se resume el sondaje 2:

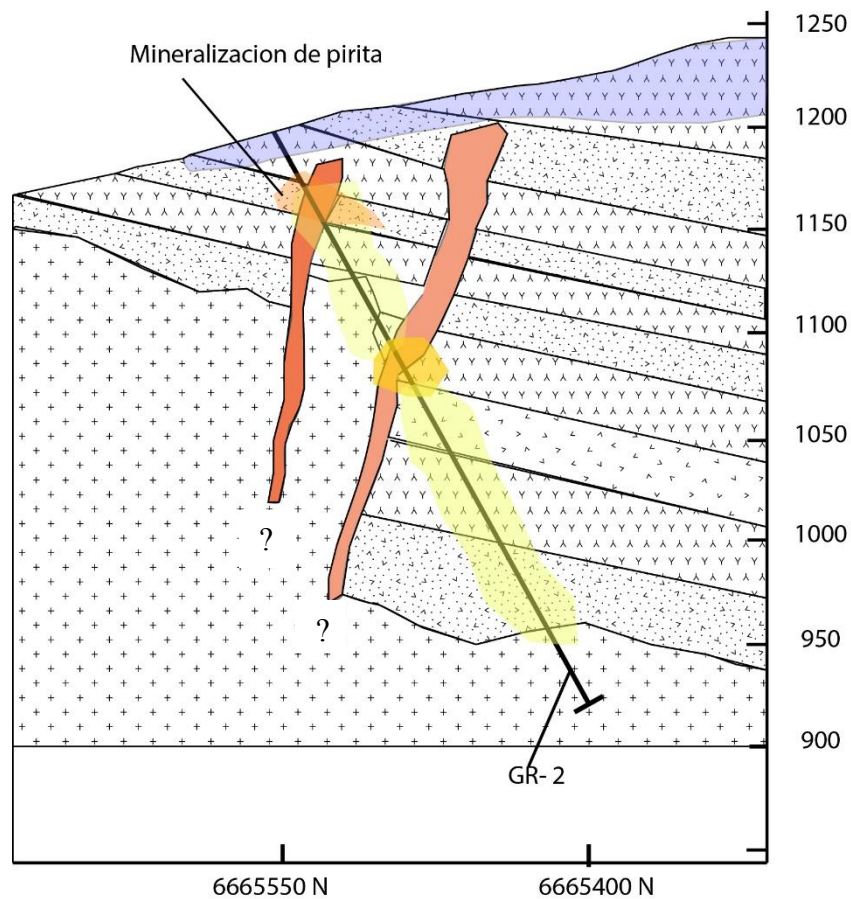


Figura 3.44 Perfil esquemático del sondaje GR-2

3.8.2.3 Sondaje 3 y 7 (GR-3; GR-7)

El sondaje 3 se ejecutó en el blanco litogeoquímico 5, en la cota 1123 m, con un azimuth de 200 y una inclinación de -60° . Las litologías corresponden a aglomerados, andesitas y tobas, dioritas y vetas de cuarzo. Las alteraciones son de clorita en los paquetes de andesitas y cuarzo-sericita preferentemente en el intrusivo diorítico. Cabe destacar que las vetas de cuarzo en este caso presentan escasa mineralización, pero por otra parte los intrusivos con alteración cuarzo-sericita tienen una fuerte mineralización de pirita y en el metro 200 la geoquímica muestra 1000 ppm de CuT, 2000 ppm de Zn y 1500 ppm de As. Finalmente en el intercepto de los metros 290-300 destacan paquetes volcánicos andesíticos intercalados con tobas que han sufrido alteración cuarzo-sericita y silicificación respectivamente, con mineralización traza de pirita. El esquema del sondaje tres se muestra en el perfil de la figura 3.45.

El sondaje 7 se realizó en el mismo punto que el sondaje 3, con azimuth de 300, y una inclinación de -60° . Este sondaje cortó los primeros 30 metros en litologías de brechas que han sufrido alteración argílica producto de procesos supérgenos (ver muestra GE-ARG-SUPER en anexos), cuyos resultados geoquímicos muestran incrementos en valores de arsénico, entre 200 y 1500 ppm. Para este sondaje es importante destacar que los niveles de tobas interceptados presentan en general mineralización de pirita, y en algunos casos incrementos de valores de cobre como en el metro 200 donde hay valores de 1000 ppm de Cu. También el metro 230-232, donde se interceptaron dioritas con alteración de clorita-sericita, y valores de oro de 0,52 ppm. Es importante mencionar que los *cutting* analizados en las briquetas se realizaron de los fragmentos recuperados del sondaje 7, reconociéndose en el microscopio que efectivamente los fragmentos tienen alteración cuarzo-sericita, pero con mineralización de sulfuros de cobre que no se refleja en los análisis geoquímicos, ni tampoco en el reporte de los sondajes que indican sólo mineralización de pirita. (Ver figuras 3.14, 3.15, 3.16, 3.17, 3.18). Este sondaje se esquematiza en la siguiente figura:

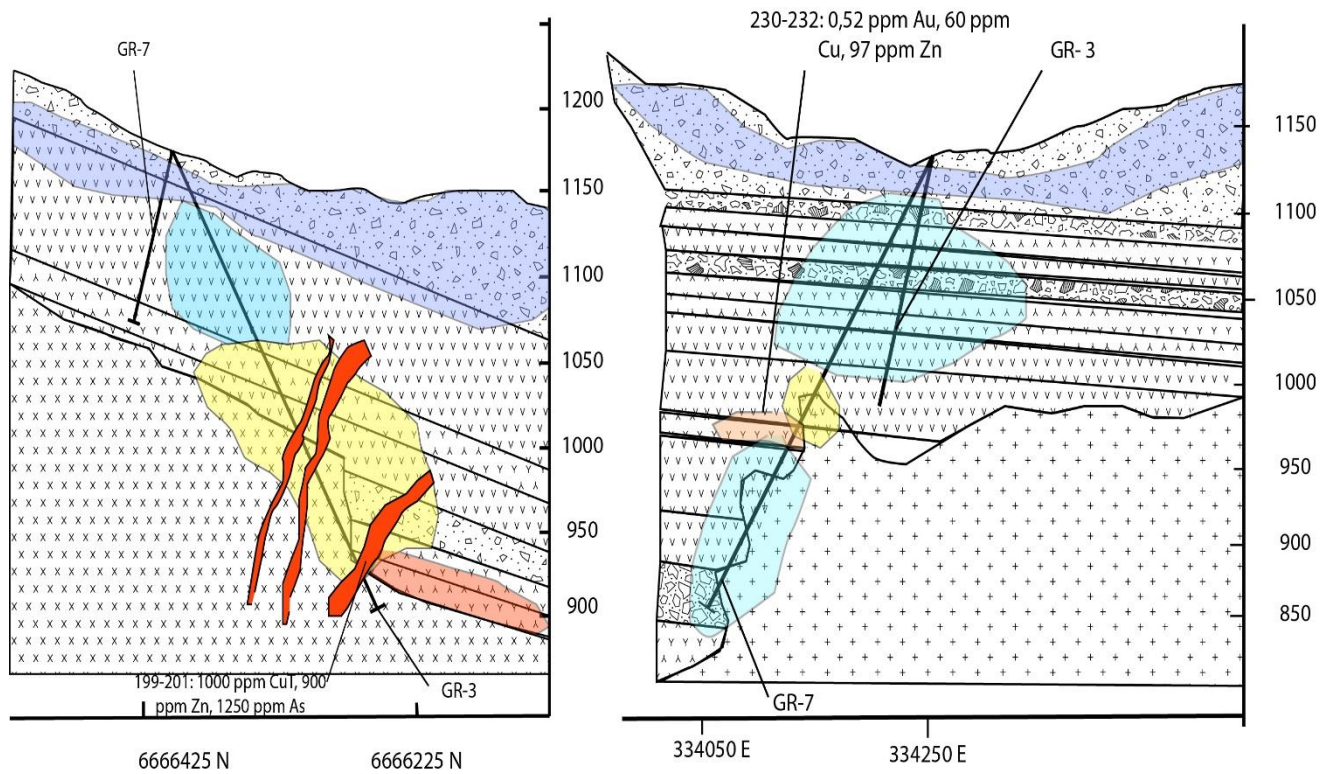


Figura 3.45 Perfiles esquemáticos de los sondajes GR-3 y GR-7

3.8.2.4 Sondaje 4 (GR-4)

Este sondaje se realizó con dirección a las vetas polimetálicas al sur del Cordón Paranao, en la cota 1220 m, con un azimuth de 320 y una inclinación de -60° . Las litologías corresponden a andesita intercaladas con tobas en los primeros 200 m y en granodiorita en los metros restantes. Notas que se describen diques aplíticos que cortan las granodioritas. Las alteraciones dominantes son aproximadamente 50 m de alteración argílica en el techo, que muestran un incremento importante de As con 150 ppm de promedio y valores erráticos de oro de 400 ppb; luego le siguen 30 m de alteración filica afectando rocas andesíticas donde se cortó un intercepto de veta de cuarzo de 11 m aparentes con valores de 0,08 ppm de oro, 2442 ppm de Cu, 5243 ppm de Zn y 15 ppm de Ag. Esta estructura fue reconocida en superficie y se corresponde perfectamente con las anomalías geoquímicas registradas en este intercepto. Notar que en este sondaje a los 220 m se cortó un dique aplítico silicificado que arrojó 40 ppm de Ag. En el siguiente esquema se presentan los resultados de manera resumida para este sondaje:

correspondiente a un tramo de un metro de diorita con alteración sericita-clorita. En la figura 3.47 se muestra el resumen de los sondeos GR-5 y GR-9:

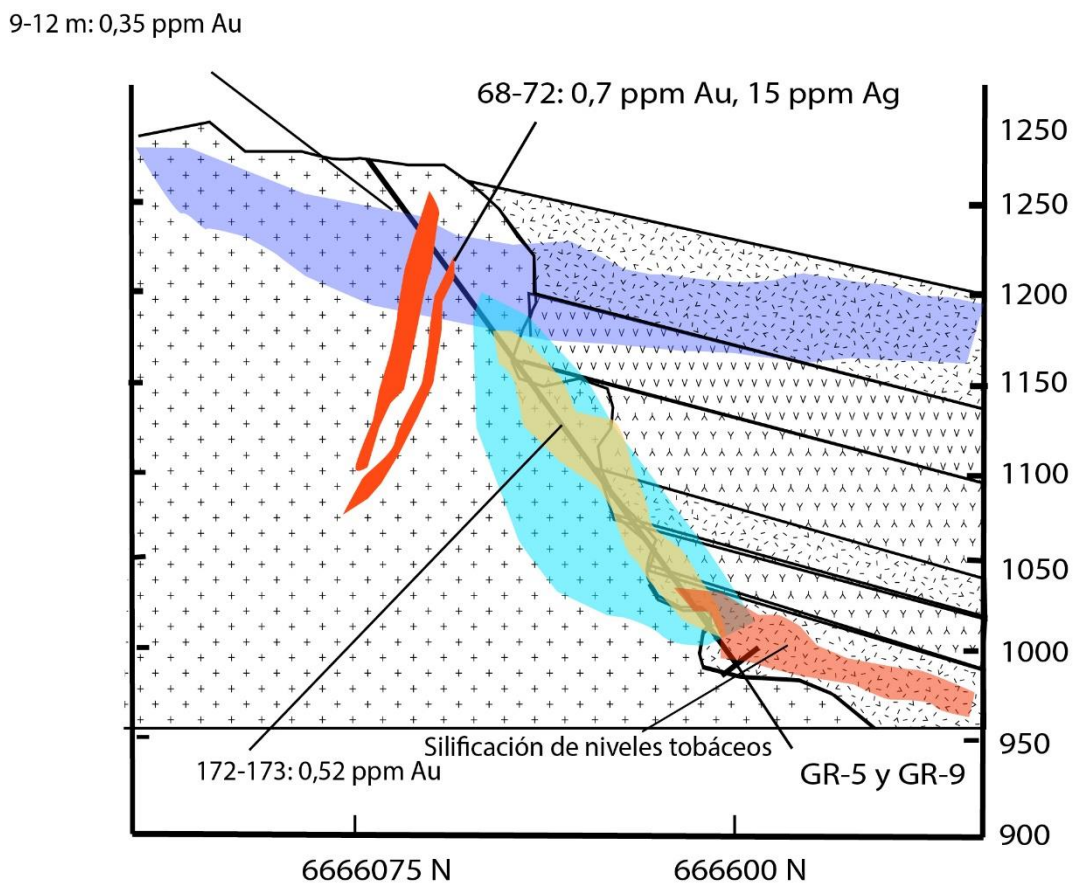


Figura 3.47 Perfil esquemático de sondajes 5 y 9

El sondaje 10 presenta tres tramos con mineralización; entre los metros 9-12 donde arroja 0,35 ppm de Au en dioritas con alteración argílica; entre los metros 172-173 donde se registraron valores de 0,52 ppm de Au en dioritas con alteración de sericita-clorita; y en el metro 240 donde se registran 40 ppm de Ag en diorita. Finalmente entre los metros 265-300 se cortaron tobas silicificadas con una débil mineralización de pirita.

Por último, el sondaje 11 muestra interceptos entre los metros 207-217 con promedio de 0,28 ppm de Au y dos vetas entre los metros 279-284 y 292-295 con valores de 0,18 y 2 ppm de Au respectivamente. Algunos valores de plata erráticos se registran, destacando el metro 180 donde un metro de dioritas con alteración sericita-clorita arrojó 15 ppm de Ag.

El perfil esquemático se muestra en la siguiente imagen:

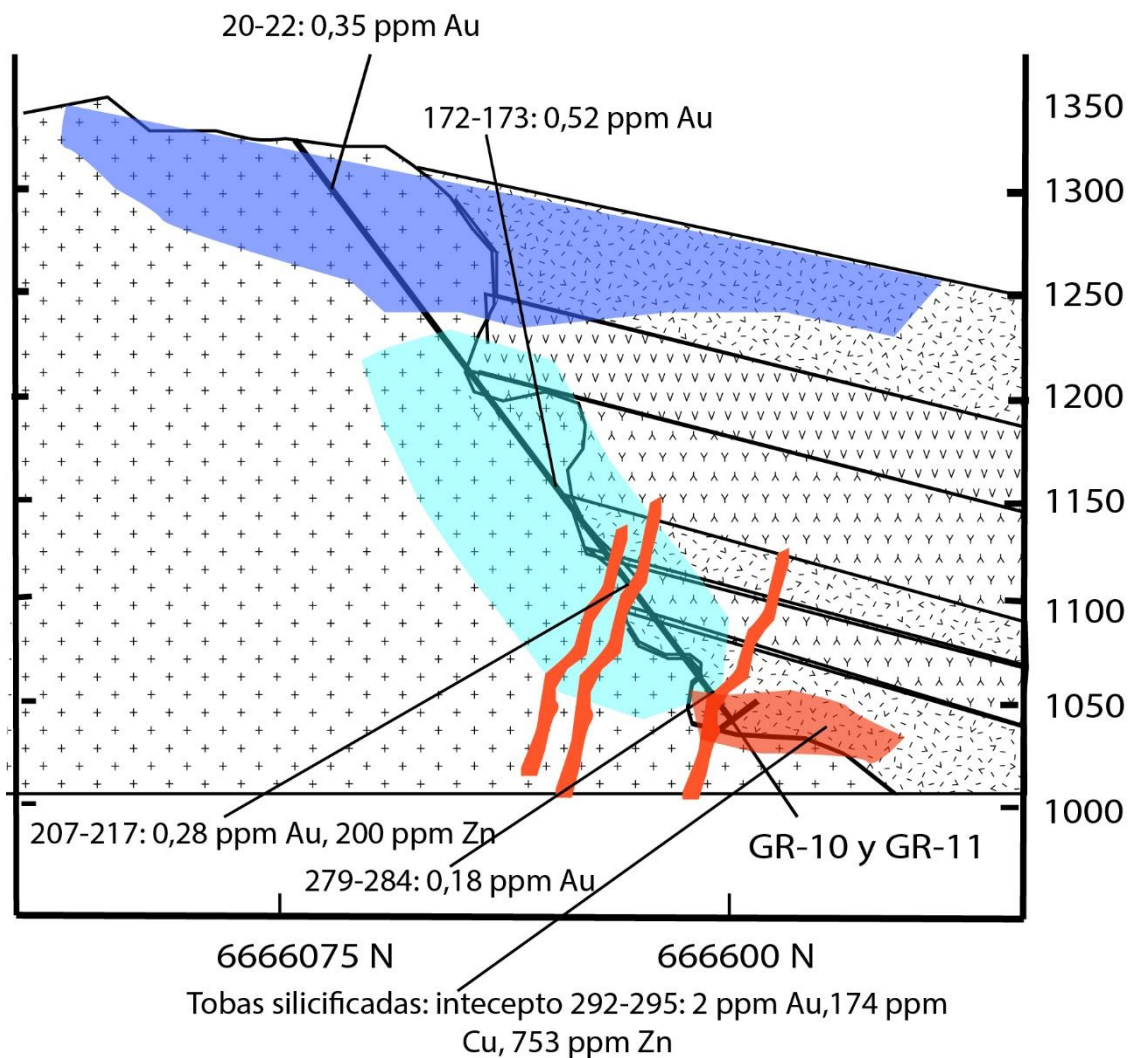


Figura 3.48 Perfiles esquemáticos de los sondajes 10 y 11

3.8.2.6 Sondaje 8 (GR-8)

Este sondaje se realizó en el blanco litogeoquímico 3, en la cota 1260 con un azimuth de 130 y una inclinación de 60°. Las litologías corresponden a brechas (aglomerados) intercaladas con andesitas y dioritas. Las alteraciones principalmente son cuarzo-sericita afectando los paquetes volcánicos y sericita-clorita y filica afectando a las dioritas. Solo un metro de mineralización de interés se registró entre el tramo 90-91 con 0,44 ppm de Au. En algunos metros de dioritas se registra débil

mineralización de pirita y en menor medida una moderada mineralización en tramos métricos. En el siguiente perfil se esquematiza la geología del sondaje 8:

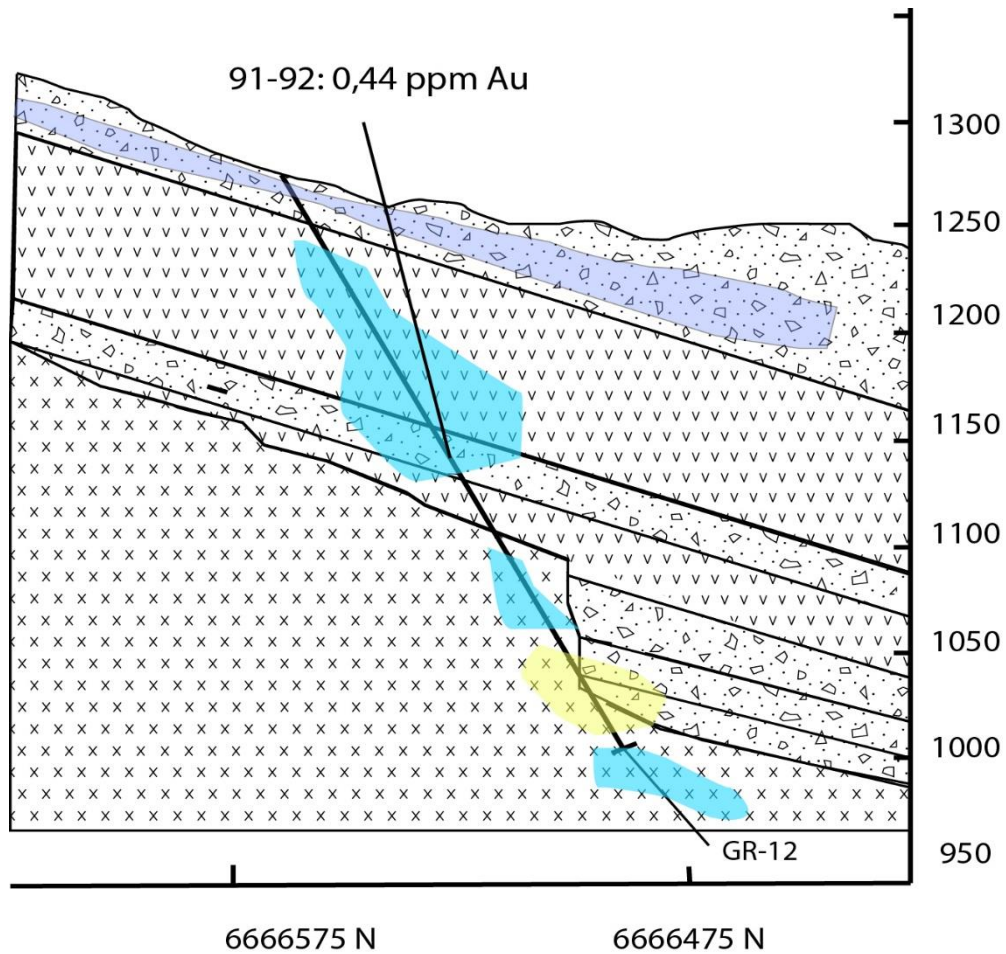


Figura 3.49 Perfil esquemático sondaje GR-8

3.8.2.7 Sondaje 12 (GR-12)

Este sondaje se realizó en el blanco geoquímico de oro número 9, en la cota 1475 con un azimuth de 40 y una inclinación de -60° . Entre los metros 10-50 se cortaron vetas de cuarzo cuyos valores geoquímicos no muestran mineralización de interés. Inmediatamente entre los metros 50-90 se cortaron tobas con alteración cuarzo-sericita con moderada mineralización de pirita y entre los tramos 74-77 y 86-89 arrojaron valores de 0,37 y 2,48 ppm promedio de oro. Finalmente entre el tramo 253-255 se cortaron dioritas que arrojaron valores de 0,68 ppm de Au. En la siguiente figura se esquematiza este sondaje:

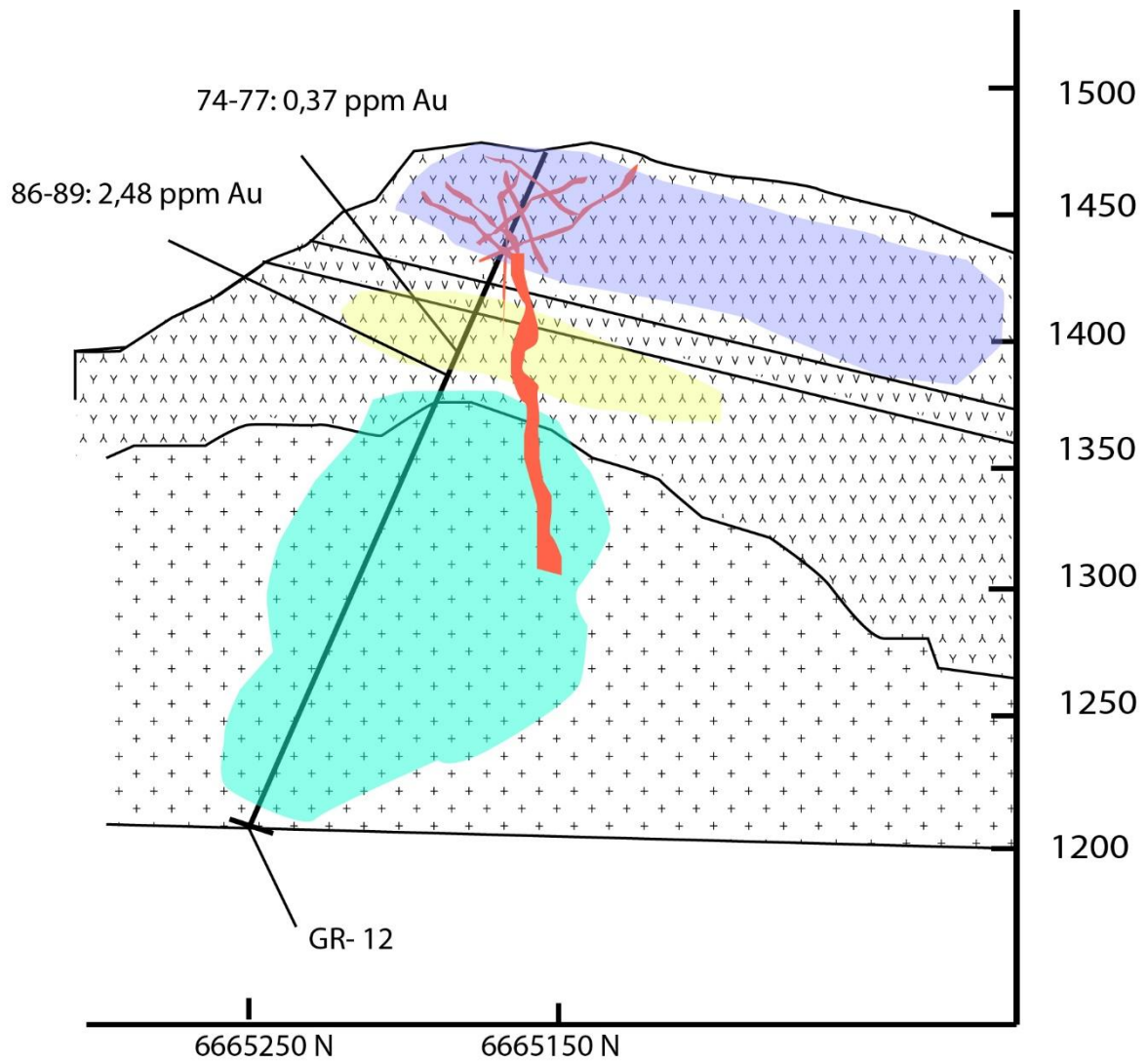


Figura 3.50 Perfil esquemático sondaje GR-12

3.8.3 Resumen de Sondajes

En la tabla 3.7 se muestra el resumen de los interceptos con tramos mineralizados.

Tabla 3.7 Resumen de los sondajes de aire reverso ejecutados. Tabla realizada por Hampton.

Hole ID	Easting (m)	Northing (m)	RL (m)	Azimuth true (degrees)	Dip (degrees)	Hole depth (m)	Depth (m)		Interval (m)	Au (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)
							From	To				
GR-01	333916	666575	1063	270	-60	300	169	175	6	0.28	91	446
GR-02	334516	666553	1106	180	-60	300			No significant Intersection			
GR-03	334166	6666425	1237	200	-60	300			No significant Intersection			
GR-04	333699	6667222	1106	320	-60	300	61	72	11	0.08	2442	5243
GR-05	335666	6666075	1319	120	-60	298	68	72	4	0.70	70	202
GR-06	333916	666575	1063	180	-60	300	289	291	2	4.60	219	830
GR-07	334166	6666425	1237	300	-60	300	230	232	2	0.52	60	97
GR-08	334716	6666575	1284	130	-60	300	91	92	1	0.44	75	110
GR-09	335783	6666198	1330	100	-60	300			No significant Intersection			
GR-10	335909	6666134	1352	100	-60	300	9	12	3	0.35	84	51
							172	173	1	0.52	113	98
GR-11	335915	6666007	1409	100	-60	300	207	217	10	0.28	71	200
							279	284	5	0.18	96	108
							292	295	3	2.00	174	733
GR-12	336316	6665125	1407	40	-60	300	74	77	3	0.37	46	145
							86	89	3	2.48	39	62
							253	255	2	0.68	82	136

Capítulo IV Geología de las zonas de interés

4.1 Generalidades

En el siguiente capítulo se describen las litologías, alteraciones y mineralización de dos zonas de interés para las cuales se efectuaron dos mapas, uno a escala 1:10.000 para el área denominada como “Brechas y vetas de la Zona Norte”, y otro a escala 1:5.000 para el área denominada como “Zona Pangué”. En estos sectores se efectuó un mapeo de mayor detalle donde resalta y se diferencia información que no tenía resolución a la escala de trabajo anterior. Se confeccionaron, además, transectas en los sectores donde también se cuenta con información geoquímica, de sondajes, y de perfiles geofísicos para realizar un cruce de estas capas de información. Finalmente, se realizó un análisis integrado de toda la información y se entrega como producto la definición de nuevos blancos de exploraciones y estimaciones potenciales para los distintos blancos.

4.2 Geología y alteraciones de la Zona Norte

La zona norte es la que cuenta con menos información de sondajes. En el sector estudiado se realizó un mapa a escala 1:10.000, donde se indican litologías que antes no fueron descritas, y nuevas zonas de alteración que tienen extensiones más discretas y acotadas. En el mapa (a) de la figura 4.1 se muestran las litologías. Estas fueron determinadas por su reconocimiento en terreno más los datos que indican los sondajes. Corresponden a rocas volcanoclásticas intercaladas con tobas brechosas rojizas. No se pudo determinar un rumbo y manteo de las secuencias ya que en los contactos y los afloramientos no se reconocieron niveles guías. En la zona centro se identificaron al menos 6 cuerpos de brechas que se describen en detalle en el capítulo de anexos.

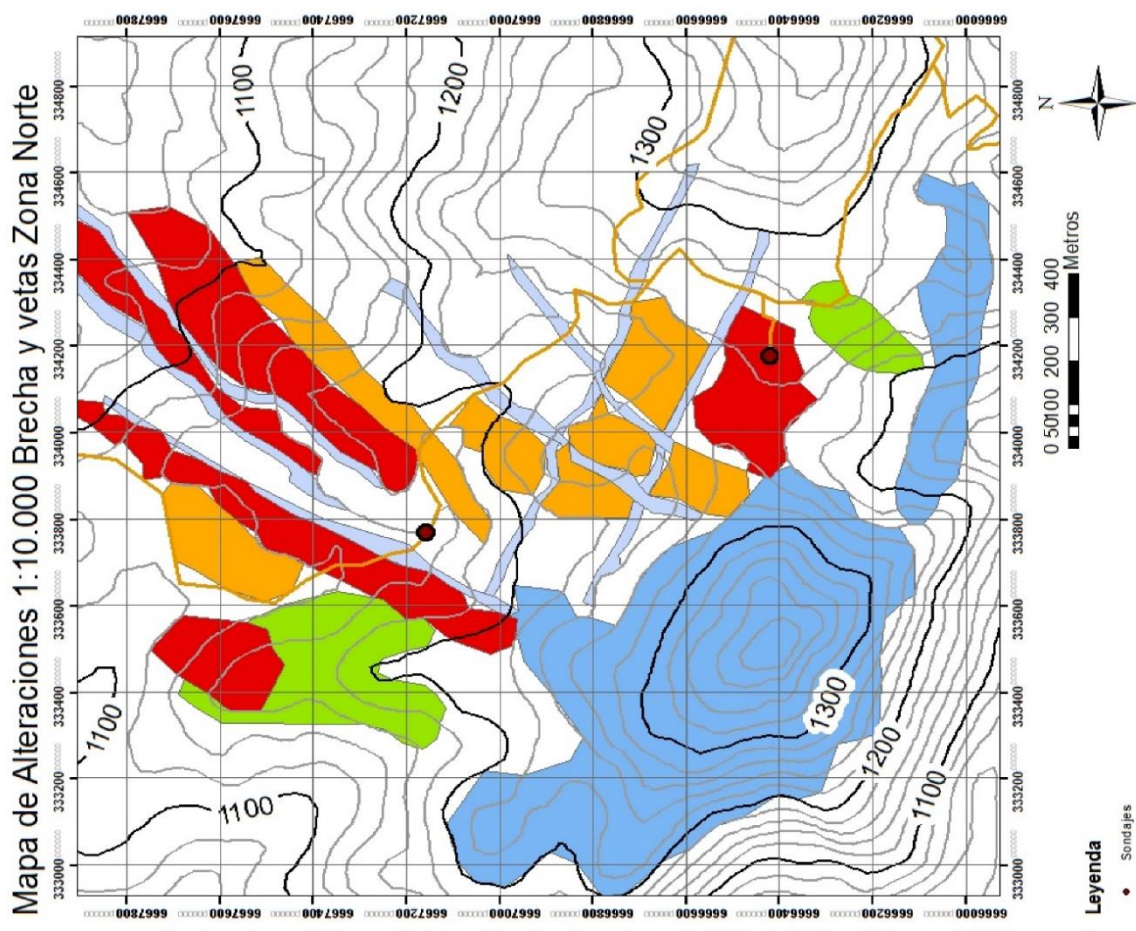
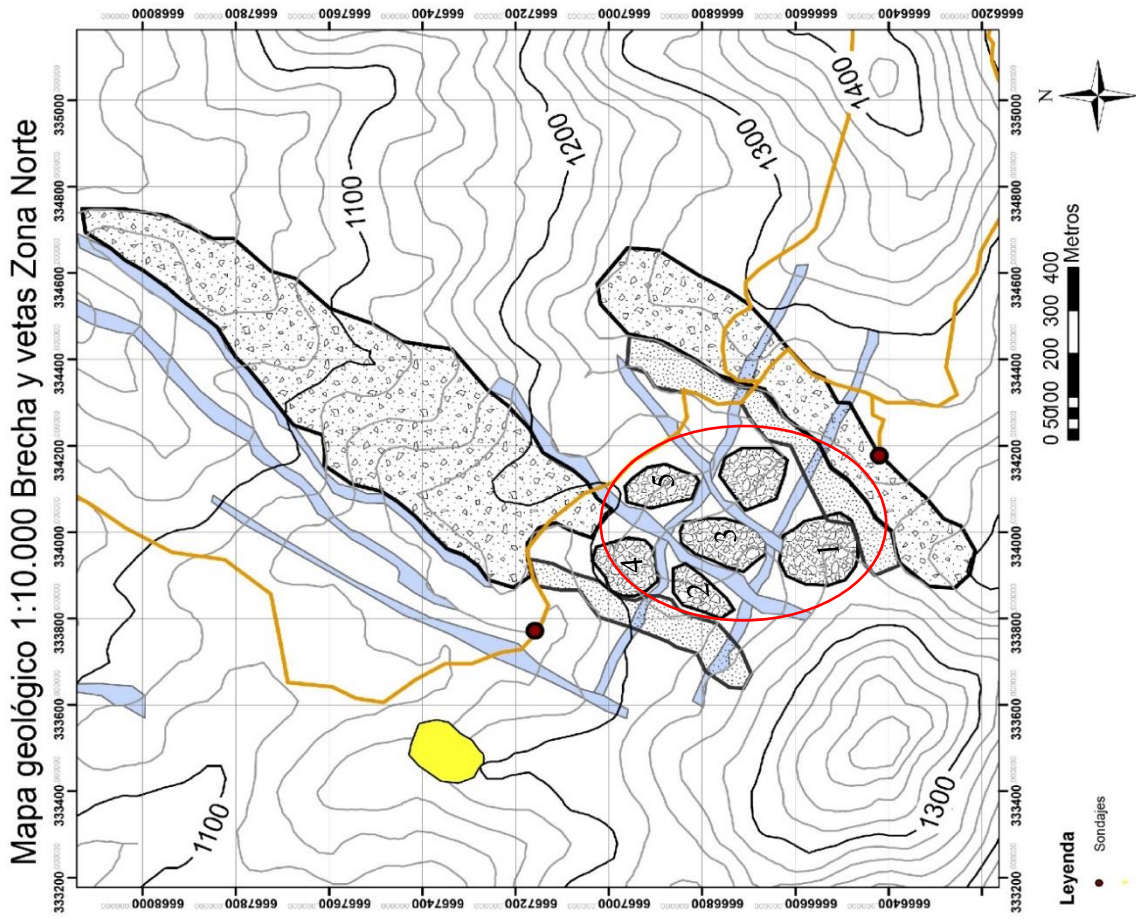


Figura 4.1 Mapa geológico a escala 1:10.000 de Brechas y vetas Zona Norte. A la izquierda se muestra el mapa litológico y a la derecha se muestra el mapa de alteraciones

Se numeraron las brechas del 1 al 5 (círculo rojo de la figura 4.2.1), y a grandes rasgos corresponden a:

- 1) Brecha 1: tiene fragmentos de andesita, angulosos de 5-10 cm. Presenta una razón de fragmentos /matriz de 2:1, clasto-soportada con cemento de cuarzo. Presenta alteración argílica y silicificación. Los colores de las rocas son rojo, amarillo y blanco. Muestra mineralización de Py^{+} - Cpy en drusas.
- 2) Brecha 2: tiene fragmentos tobáceos y de cuarzo, angulosos, semi-redondeados de 1-20 cm. La razón fragmento/matriz es de 3:1, de tipo clasto-soportado con cemento de cuarzo. La roca presenta alteración argílica y silicificación. Los fragmentos son de color blanco. No presenta mineralización en una descripción macroscópica.
- 3) Brecha 3: el protolito de los fragmentos no se reconocen, estos son angulosos de 1-3 cm, con una razón de fragmentos/matriz de 1:2, tipo matriz-soportado con matriz de cuarzo. Presenta alteración argílica y silicificación. El color de la roca es café. Presenta *boxwork* con limonitas.
- 4) Brecha 4: muestra fragmentos de andesita, angulosos, semi-redondeados de 0,5-2 cm, razón de fragmentos/matriz de 1:2, tipo matriz-soportada con matriz de cuarzo pardo. Presenta alteración argílica. Los colores de la roca son blancos, rojizos y café. Muestra *boxwork* con mineralización de Py^{+} limonitas.
- 5) Brecha 5: presenta fragmentos de andesita, angulosos de 1-5 cm, y una razón fragmentos/matriz 1:1, tipo matriz-soportada, con matriz de cuarzo. Los colores de la roca son gris-blanco y presenta mineralización de molibdenita y calcopirita. (Ver figura 3.35)

Los cuerpos de brechas, además son cortados por conjuntos de vetas de cuarzo que siguen direcciones preferenciales $N^{\circ}20-30^{\circ}$ E, E-W, y $N70^{\circ}$ W. (Ver figura 4.1). Estos conjuntos de vetas delimitan los contactos aparentes de las brechas, por lo que se estima que las dimensiones en planta de estos cuerpos varían de tamaño en planta entre 100-150 m² de manera estimativa. Se ha

encontrado además, como en el sector de la brecha 5 donde ha habido labores artesanales. (Ver figura 4.4).

Un pequeño cuerpo intrusivo es reconocido en un afloramiento de 100 m², la litología es principalmente de microdiorita de grano fino (amarillo en el mapa) que se reconoce en la parte oeste.



Figura 4.2 Conjunto de vetas en zona de Brechas Norte

En la figura 4.2 se ilustra la densidad de los conjuntos de vetas y vetillas de cuarzo que cortan a los cuerpos de brechas. El tipo de cemento de todas las brechas es de cuarzo, por lo que se puede indicar que el proceso de formación sería de brechas hidrotermales. Notar en la figura 4.3 la dimensión de los clastos angulosos y el relleno de cuarzo.

Según Sillitoe (2010) las brechas en los sistemas tipo pórfido de Cu que tienen las características antes mencionadas pueden ser las brechas magmático-hidrotermales y las brechas freáticas. La distinción entre ellas es principalmente su posición en el sistema ya que las freáticas estarían a un nivel más bien epitermal. También varían los tipos de alteración ya que sería esperable que las brechas magmático-hidrotermales presentaran alteración potásica+-clorita-sericita+-sericita y de

manera infrecuente alteración argílica, y las brechas freáticas en niveles epitermales presentan de manera frecuente alteración argílica, como es el caso de las brechas descritas en este trabajo.



Figura 4.3 Fotos de brechas hidrotermales en la Zona Norte por el Cordón Paranao.

En la figura 4.3 se muestran fotos con las zonas de mayor abundancia de cuarzo como relleno de matriz, llegando a alcanzar una razón de fragmentos/matriz de 1:5 como se indica en la parte (a) de esta figura. En la parte (b) se muestra la dirección preferencial E-W de un set de vetas que corren en ese sentido y a su vez delimitan como zona de contacto a los cuerpos de brechas.

La mayor aproximación a estos cuerpos de brechas es la que alcanzó el sondaje GR-7 que en planta le faltaron entre 50-100 metros para alcanzar la brecha sur. No obstante, cabe destacar que en el sondaje 3 y 7 se realizó una recuperación de fragmentos que presentan alteración filica con mineralización de calcopirita, y en unos detritos en particular se reconocieron vetillas sinuosas con

feldespato potásico y cuarzo, además de otras vetillas de 0,5-1 mm con relleno de biotita que podrían corresponder a vetillas tipo EDM (“early dark micaceous”). En el capítulo de discusiones se retomara esta descripción para ejemplificar los posibles orígenes de estos detritos y su relación con las brechas.



Figura 4.4 Labores artesanales en cuerpo de brecha 5

En la figura 4.4 se muestra una visión lateral de la brecha 5 (línea continua). En esta parte se reconocen labores de tipo artesanal efectuadas por pirquineros. Una muestra de reconocimiento muestra que estas brechas tienen mineralización de calcopirita y molibdenita (ver figura 3.35), cuyos valores geoquímicos de molibdeno no se ven reflejados en el muestreo litogeoquímico superficial, no así los valores de cobre y oro de este sector, que muestran 0,11% de Cu y 0,03 ppm

de Au en una muestra. Un espécimen aledaño de esta misma zona arrojó valores de 0,13 ppm de Au.

Por otra parte, en la zona de vetas Norte también se han reconocido distintos tipos de vetas con mineralización polimetálica de galena, esfalerita, sulfosales de cobre, minerales oxidados de cobre y óxidos de manganeso. Estas vetas tienen extensiones reconocidas en terreno que varían desde 500 m hasta 1000 m de corrida, potencias de 1-10 m y dimensiones en la vertical desconocidas en la mayor parte de ellas. Para tener nociones el sondaje GR-4 cortó entre los tramos 61- 71 m, alrededor de 11 metros con valores promedio de 0,08 ppm de Au, 15 ppm de Ag, 2442 ppm de Cu, 5243 ppm de Zn y 5000 ppm de Pb, lo que reflejaría la extensión vertical de la veta polimetálica reconocida en superficie, que con un simple cálculo matemático indicaría un valor en la vertical de 70 metros de esta veta.



Figura 4.5 Fotografía de set de brechas hidrotermales. En la imagen del borde inferior derecho se muestra el espécimen recolectado del cual se realizó el corte transparente GE-BR4.

Es importante destacar también la presencia de 2 vetas (figura 4.6) que presentan abundante mineralización de óxidos de Fe y óxidos de manganeso (no determinado con geoquímica e indicación del término “abundante” como suposición en base a determinación macroscópica). Estas vetas tienen potencias de 5-10 metros y extensiones en planta de 800-1000 metros reconocidos por fotointerpretación. La extensión vertical es desconocida. En el capítulo de discusiones se realizan algunas analogías con los modelos de vetas epitermales de manganeso ya que estas podrían tener un potencial económico aún no explorado. Por otra parte es interesante comentar que el sondaje GR-4 cortó niveles de tobas de potencias considerables entre 20-40 m que calzan en proyección con estas vetas de manganeso a una profundidad entre 50-100 metros donde podrían cortar los niveles de tobas. De ser así, calzaría con los estratos de manganeso cuyo valor económico fue significativo en otros sectores como Corral Quemado, distrito conocido por sus estratos de manganeso.

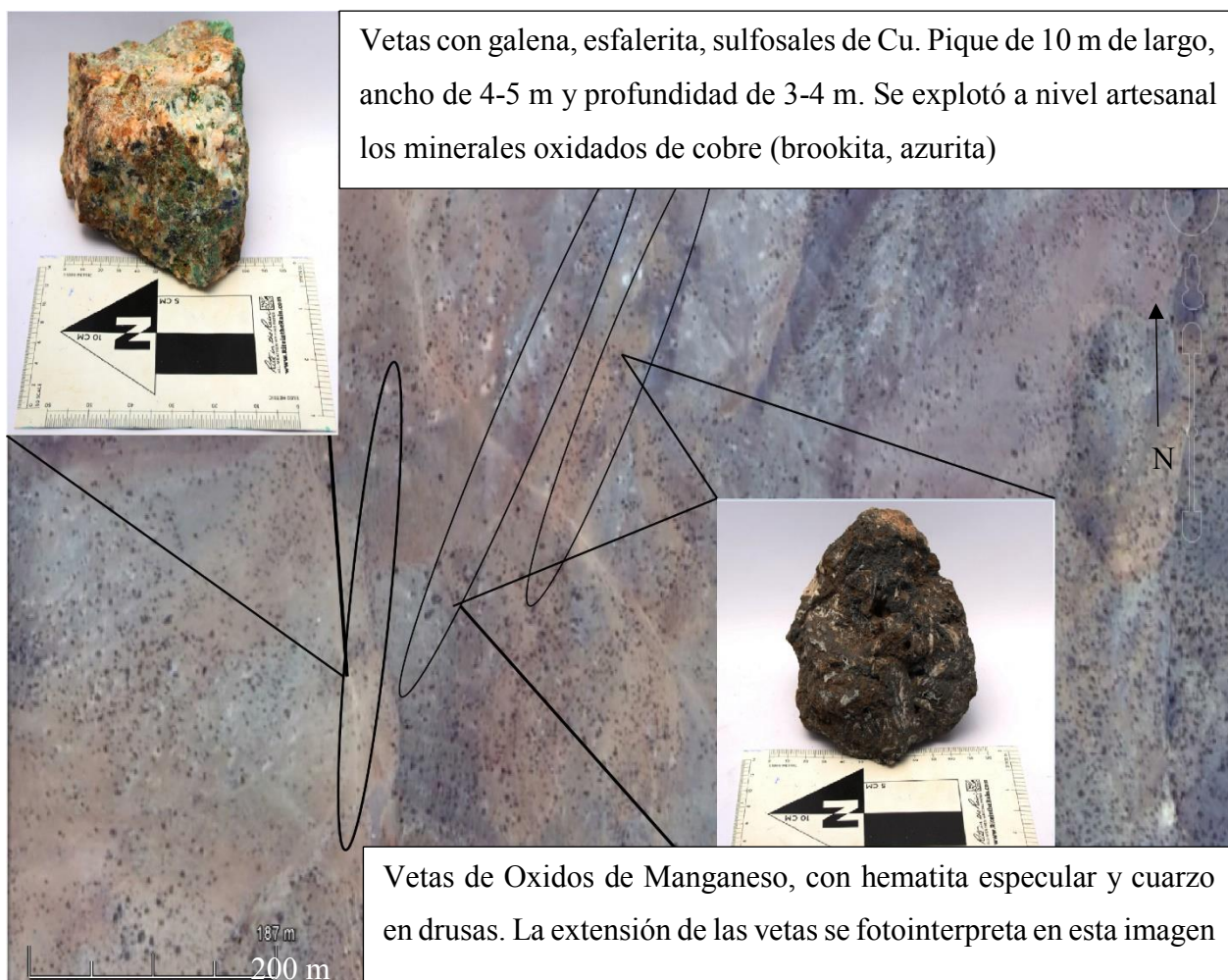


Figura 4.6 Zona de vetas polimetálicas.

4.3 Geología y alteraciones de la Zona Pangué

La zona de alteración Pangué se encuentra ubicada a 1,5 km al sur-este de la zona de Brechas Norte, entre 1160 y 1200 m.s.n.m de elevación. (Ver figura 4.8).

La zona Pangué corresponde a un sector de alteración. Las litologías predominantes son tobas intercaladas con brechas volcanoclásticas, y vetas que cortan estas secuencias de rocas de caja. Gradan hacia los bordes desde *light vuggy silica* a cuarzo-alunita en vetillas de 0,5-1 cm. En la figura 4.8 se muestra una imagen satelital de la estructura (en naranja), reconociéndose una extensión de 500m a lo largo de un rumbo N 20°-30°E/ 70°-80°W. Las extensiones laterales varían entre 1-3 m y las dimensiones verticales son desconocidas, no obstante, el sondaje GR-2 cortó vetas entre los metros con 20-50 demostrando interceptos aparentes de 25-30 metros de cuarzo (ver figuras 3.44 y 4.8).

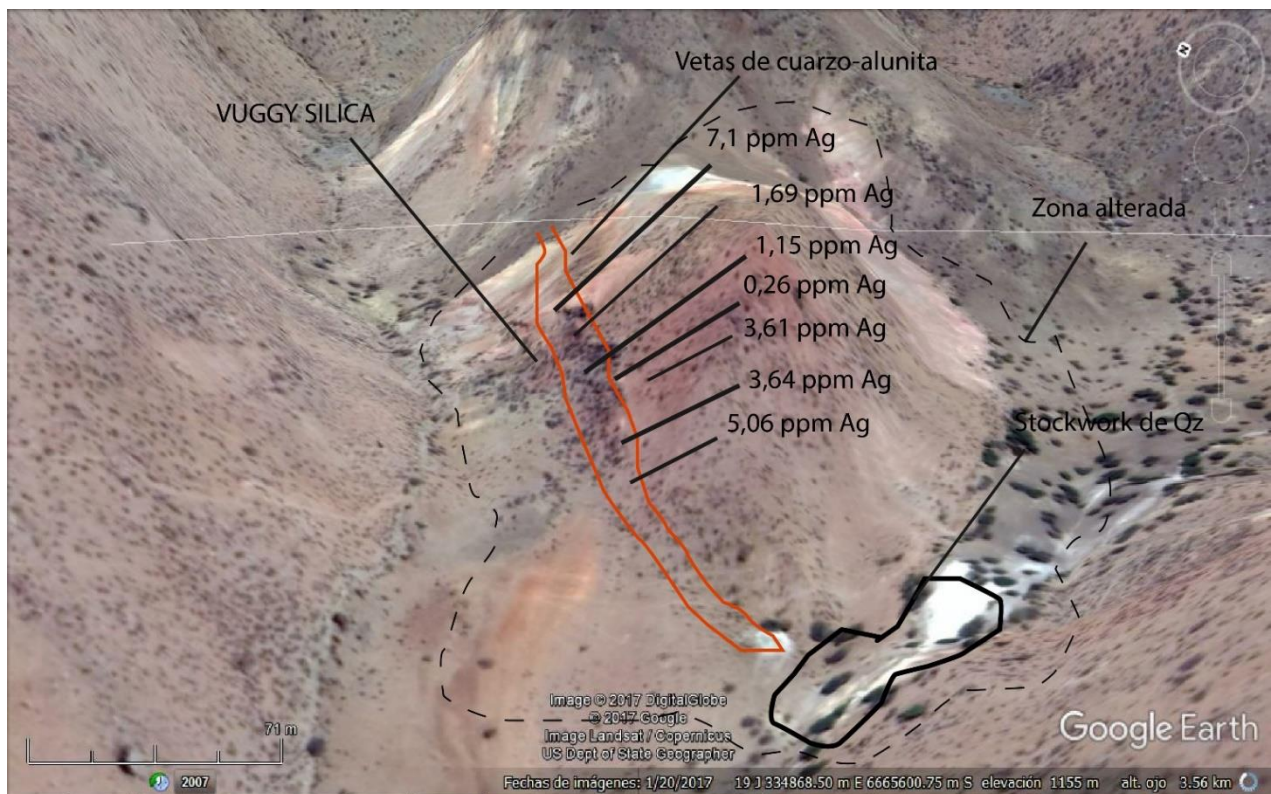


Figura 4.7 Imagen satelital de la estructura en Zona de ambiente epitermal (Zona de alteración Pangué)

Mapa Geológico de Blanco epitermal en la Zona Pangué

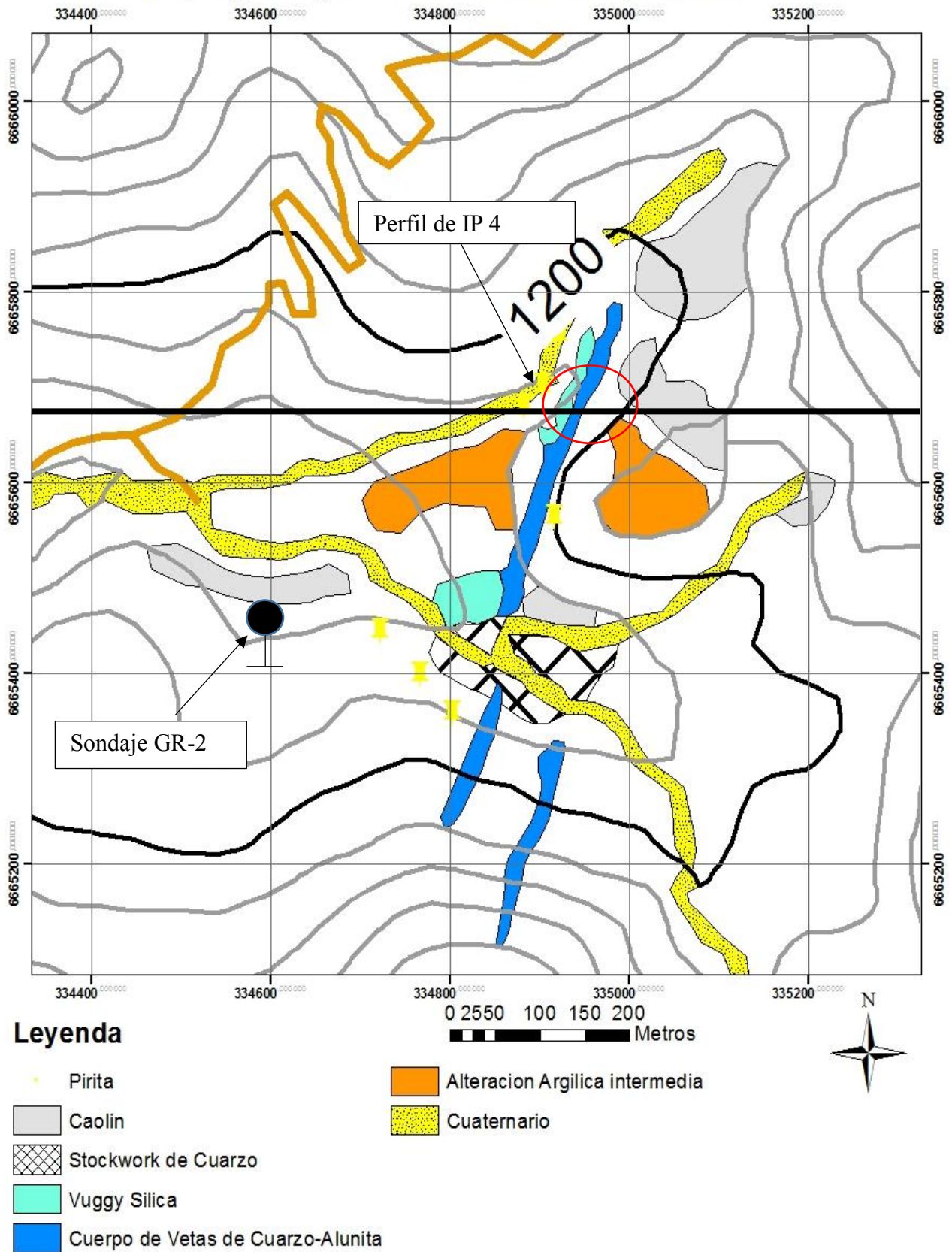


Figura 4.8 Geología de la zona Pangué. En el círculo rojo se muestra la intersección de la estructura con el perfil de IP 4. En el punto negro se indica el sondaje GR-2

El *vuggy silica* corresponde al centro de la estructura, este dispone de espacios centimétricos a milimétricos de formas circulares, que han sido interpretados como parte del proceso de lixiviación hidrotermal ácida de la litología anterior, posiblemente las tobas o andesitas. Fragmentos líticos de 1-3 cm han sido transformados a *vuggy silica*. Hacia los bordes se reconocen vetas y vetillas de 1-5 cm, rellenas con cuarzo-alunita y que siguen a lo largo del rumbo general de la estructura (Ver figuras 4.9 y 4.10).



Figura 4.9 A la izquierda se muestra foto de *vuggy silica* y a la derecha un *stockwork* con vetillas de cuarzo

En general un núcleo de *vuggy silica*, con vetillas de cuarzo-alunita en los bordes, y más hacia los bordes dominan de manera secuencial la caolinita, luego arcillas y clorita. Bajando 30 metros al sur por la estructura se reconoce un cambio en el estilo de mineralización y alteraciones, identificándose un *stockwork* de cuarzo, con alteración argílica avanzada evidenciada por caolinita y sericita(¿) (Figura 4.11, cuadro(5)). No se cuenta con un análisis de XRD para determinar con exactitud los minerales de arcilla, pero la caolinita y clorita han sido reconocidas con facilidad. En algunos sectores se ha identificado yeso relleno de espacios y que es interpretado como una alteración posterior producto de flujos de fluidos meteóricos.

Las alteraciones hidrotermales presentan una zonación típica de depósitos de alta sulfuración, de tipo epitermal Nansatsu (Hedenquist et al., 1994).

La Mineralización se restringe en el sector de *vuggy silica* y cuarzo-alunita donde un análisis anterior tipo ICP muestra interesantes valores de plata (ver figura 4.7 y figura 4.10). Los minerales que arrojan estos valores de plata no se han determinado, pero una hipótesis se plantea en el capítulo de discusiones, dado el análisis de correlaciones estadísticas entre los trazadores determinados en este lugar. En la zona de *stockwork* se ha reconocido mineralización de pirita+arsenopirita+calcopirita, donde labores artesanales previas se han realizado por pirquineros locales (Ver figura 4.11 y 4.12). Una muestra de la malla litogeoquímica arrojó valores de 0,21 ppm de Au en un punto cercano al *stockwork*. Otros minerales posteriores de limonitas se reconocen en texturas tipo *boxwork* que posiblemente correspondan a la alteración supérgena de pirita y arsenopirita. En el afloramiento hay afluentes de agua cuya coloración rojiza y amarillenta dan cuenta de la presencia de sulfuros contenidos en las rocas.

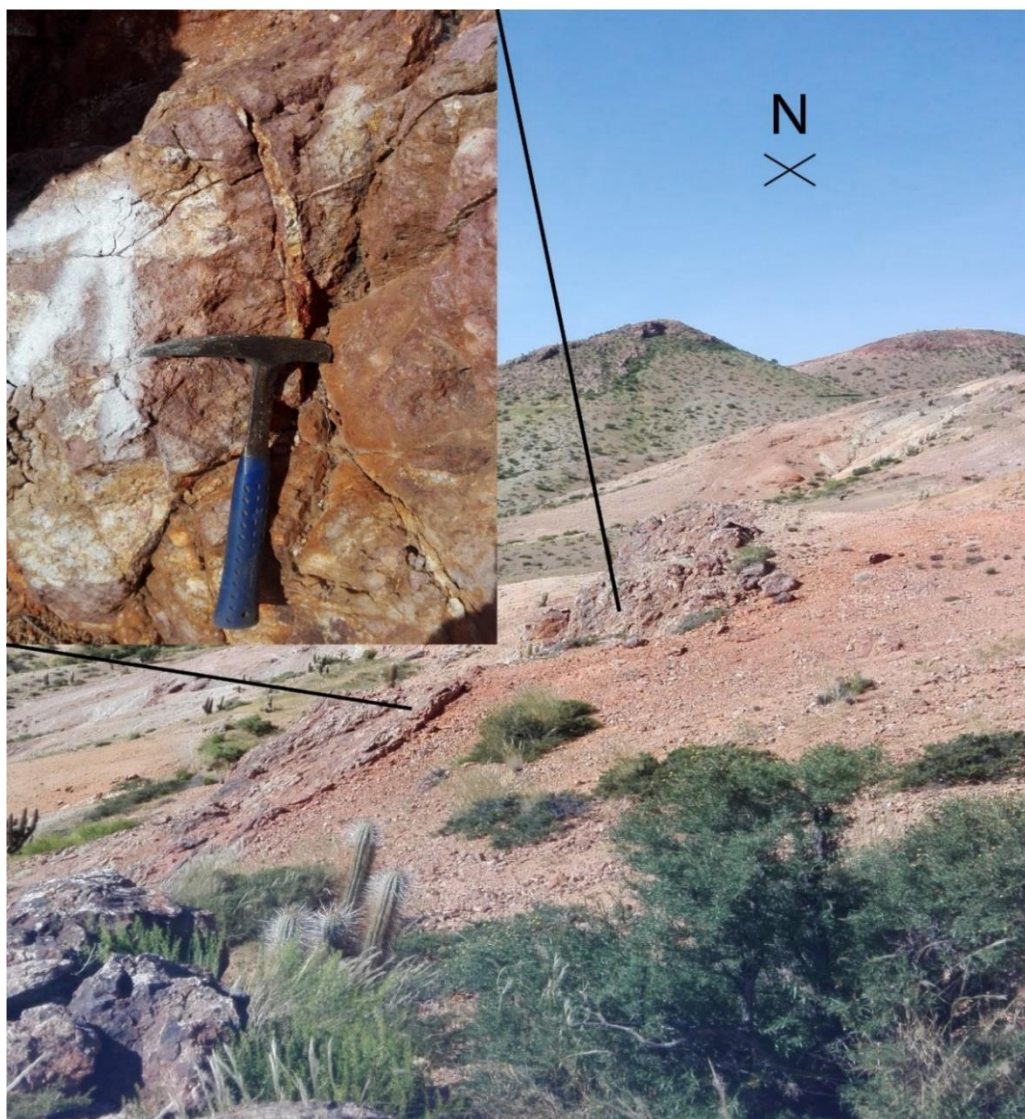


Figura 4.10 Fotografía de estructura de veta epitermal. En zoom se muestra una veta de alunita de 1-5 cm con dirección subparalela al rumbo de la estructura mayor

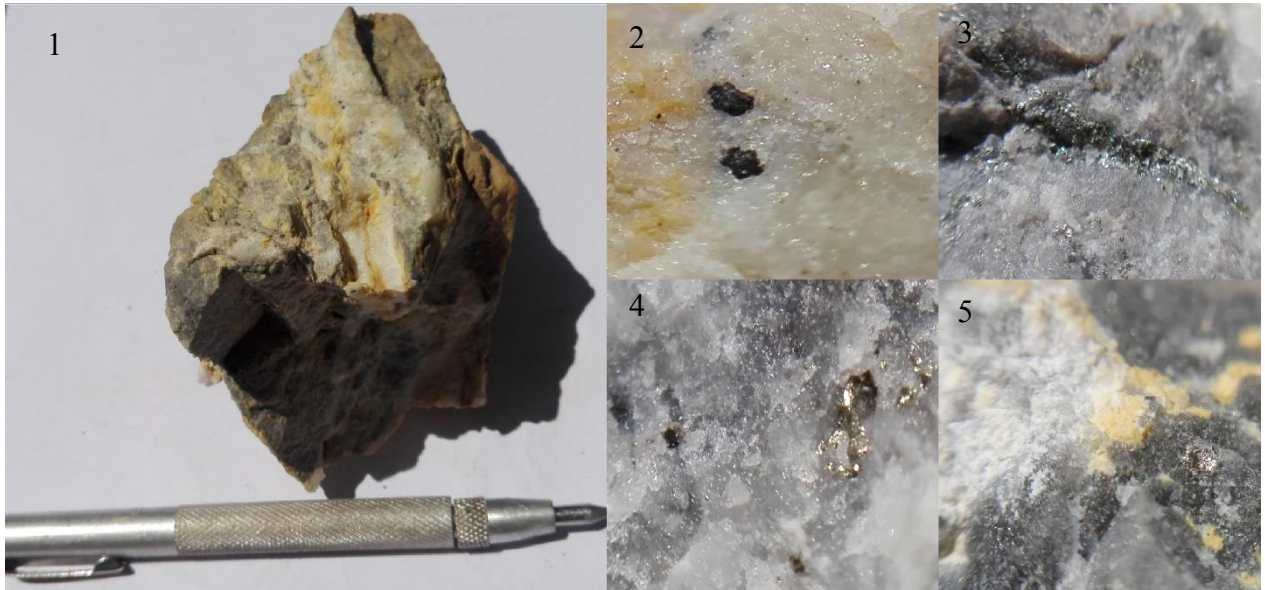


Figura 4.11 Detalle de stockwork de cuarzo y su mineralogía. A la izquierda una veta de 1-4 cm de cuarzo granular tipo "dientes de perro" (1). En (2) se muestran sulfosale. En (3) se muestra calcopirita En (4) se muestra pirita. En (5) se muestra caolín.



Figura 4.12 Especímenes de vuggy silica de la Zona de alteración Pangué.

Capítulo V Discusiones

5.1 Generalidades

En este capítulo se vierten la gran mayoría de interpretaciones sobre modelos de depósitos y de procesos que dan como producto las rocas, alteraciones y mineralización descritas en los capítulos anteriores. Para partir se discuten las características de las zonas de alteración y mineralización, esto es que se contraponen los rasgos superficiales reconocidos en terreno más la información de exploraciones previa con los modelos de depósitos que propone el autor de esta memoria para la zona Pangué. Luego se discute la relación entre los depósitos epitermales con los pórfidos o más bien con las brechas hidrotermales reconocidas en la zona de Brechas Norte. Finalmente, se proponen algunas de las actividades siguientes necesarias para avanzar el proyecto a una etapa de prospección temprana.

Una reflexión sobre las exploraciones de los depósitos epitermales es traducida directamente desde el inglés de Hedenquist (2000): “El geólogo explorador exitoso usa su conocimiento de relaciones geológicas y los estilos de depósitos y mena, ayudado por su experiencia, para interpretar todos los datos disponible desde un prospecto dado con el propósito de crear una comprensión de la estimación potencial de mineral. Sólo las habilidades geológicas y experiencia en exploración son elementos definitorios de la filosofía de exploraciones, las necesidades de una compañía determinan, así como el financiamiento y las habilidades disponibles, el nivel de exploraciones propuesto y los lugares para explorar: *grassroots*, blancos de etapa temprana, blancos avanzados. Los depósitos epitermales tienen tamaños, geometrías y leyes que pueden variar ampliamente alrededor de distintas clases genéticas y, de esa manera, influenciar la manera de explorar o la filosofía exploratoria usada”.

5.2 Análisis Distrital

En la figura 5.1 modificada de la carta de depósitos minerales de la Región de Coquimbo, Sernageomin (Serie de recursos energéticos No. 35, 2017) se hace mención de la provincia

metalogénica de la mediana montaña, donde se caracterizan los depósitos, las edades de mineralización, ambientes geológicos y relaciones entre sus recursos minerales (polígono celeste).

Esta provincia es la prolongación de la franja de Domeyko reconocida en las regiones de Antofagasta y Atacama. En la provincia predominan los depósitos vetiformes de Au-Cu-Ag, dispuestos en los distritos mineros que se señalan en la imagen. Un segundo grupo es el de los yacimientos estratoligados de cobre-plata. El tercer grupo se conforma por los pórfidos como por ejemplo Las Pascualas, Las Mollacas, Loica y Llahuín. Un grupo excepcional lo conforman depósitos de chimeneas de brechas de Cu-Au-W, tal como Ra-(ex Chacritas), La China, San Ignacio y Llamuco.

Es importante señalar que ningún proyecto de gran ni mediana minería opera en esta provincia metalogénica por lo que sus perspectivas exploratorias son poco conocidas como las de las Regiones I, II y III donde se concentran la mayoría de los gastos en exploraciones mineras. No obstante hay distritos mineros que han tenido producciones históricas como Condoriaco y otros donde se han identificado recursos auríferos por algunas empresas, tales como El Dorado (Distrito El Sauce), Resplandor de Au, Vallecito, entre otros.

El concepto de *benchmarking* puede ser útil para comparar los potenciales de recursos que hay en esta franja. El proyecto más avanzado corresponde a Las Pascualas en el distrito el Morro, el cual corresponde al tipo pórfido cuprífero en el cual se han evaluado 8Mt de 0,37% Cu en la zona oxidada y 20 Mt con 0,68% Cu en la zona de sulfuros supérgenos (Investika, 2007). Por otra el depósito Mollacas reporta una cantidad de recursos medidos más indicados de 28,8 Mt @ 0,41%CuT 0,16%Au (Metminco, 2015), encontrándose este en etapa de *scoping study*. El pórfido Loica también fue perforado por Metminco y fue desechado por no representar el potencial esperado para la empresa que en un principio se estimaba en 100 Mt @ 1,5% Cu y 2 g/t Au (Camus, 2003). Otros menores como el pórfido San Félix (ubicado a 5 km al noreste de Génesis) fue evaluado y descrito por (Urrutia, 1998) que señala una zona de alteración hidrotermal con núcleo potásico y la zonación clásica de un sistema tipo PC, no obstante, fue descartado por la empresa que perforó en el proyecto, según indica el autor por presentar un débil enriquecimiento supérgeno. El prospecto Cluster Dragón (Las Ñipas) ubicado entre el distrito Chacritas y la Corina, también da cuenta de un Pórfido cuprífero, este se encuentra en etapa de *scouting* avanzado y sus representantes legales (Compañía minera Las Ñipas) dan cuenta de un potencial de roca mineralizada de 80 Mt @ 0,21% Cu 0,19% Au.

En toda la franja de la provincia metalogénica de la mediana montaña hay sólo una estimación oficial conocida en formato NI 43-101 para los depósitos de vetas polimetálicas. Este corresponde al proyecto Vallecito ubicado a 50 km al este de Ovalle. Es descrito como un sistema de cuerpos vetiformes con mineralización polimetálica, además de vetas de cuarzo y turmalina. Se reportaron un total de recursos medidos e indicados por 8,1 Mt @ 0,82 g/t Au, 10,06 g/t Ag, 1,06% Zn, 0,06% Cu, 0,33% Pb (Metminco, 2015).

En resumen las perspectivas exploratorias son desfavorables para la gran minería en este distrito. Un enfoque que apunte hacia la mediana minería podría tener un potencial para explorar yacimientos tipo pórfido de mediano-bajo tamaño, que por los antecedentes estudiados presentan débiles desarrollos de enriquecimiento secundario. Otros tipos de depósitos como los que corresponden a epitermales de sulfuración intermedia a baja sulfuración podrían presentar una propuesta favorable para la pequeña-mediana minería dependiendo de los tonelajes y leyes de recursos de los depósitos. Finalmente, las características de alteración HS propuestas en esta memoria para el proyecto Génesis resultan excepcionales para la provincia metalogénica de la mediana montaña al no registrarse ningún depósito epitermal de alta sulfuración en las cartas de Sernageomin.

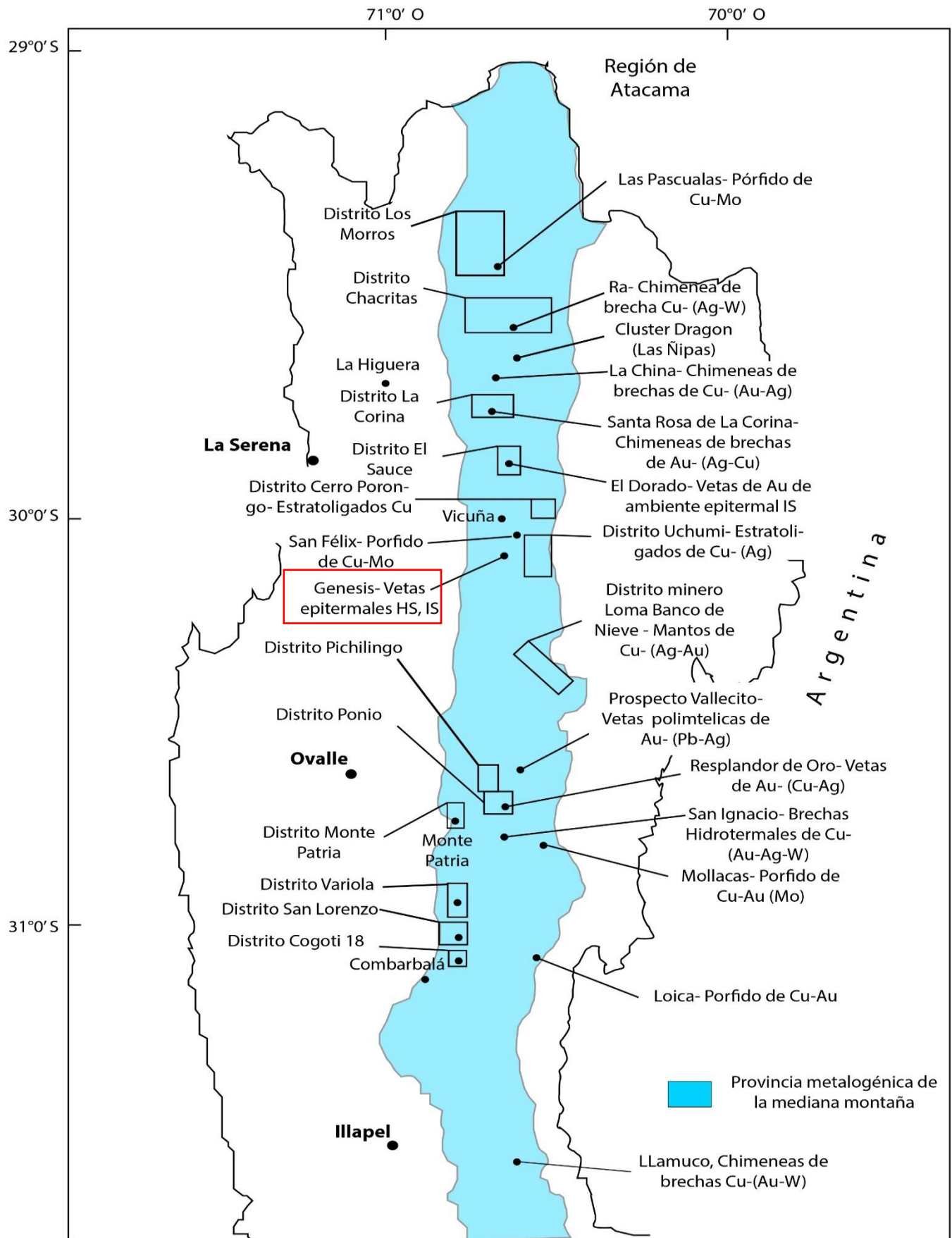


Figura 5.1 Provincia metalogénica de la mediana Montaña. Tomada de Sernageomin, Serie de recursos energéticos No. 35, 2017

5.2 Los depósitos epitermales, modelos varios

Los depósitos epitermales han sido explotados desde tiempos remotos, pero una rigurosa definición de un tipo de depósito epitermal tiene complejidades al existir tantas variaciones entre estos depósitos. Lindgren (1922) definió estos depósitos como ambientes de alteración hidrotermal someros, que hospedan depósitos de oro, plata y metales base (ver tabla 5.1).

Tabla 5.1 Denominaciones de los depósitos epitermales con el tiempo. Tomado de Hedenquist (2000).

Geothermal (dominated by neutral pH and reduced hypogene fluid)	Volcanic-hydrothermal (dominated by early acidic and oxidized hypogene fluid)	Reference
	Goldfield type	Ransome, 1909; Bethke, 1984
Au-qtz veins in andesite and rhyolite Ag-Au, Ag, Au-Te, and Au-Se veins Base metal veins with Au, Ag Cinnabar, stibnite veins	Au-alunite	Lindgren, 1922, 1933
	Enargite Au	Ashley, 1982
Hot spring		Giles and Nelson, 1982
Adularia-sericite	Acid sulfate	Heald et al., 1987
Low sulfur	High sulfur	Bonham, 1986
Low sulfidation	High sulfidation	Hedenquist, 1987
Adularia-sericite	Alunite-kaolinite	Berger and Henley, 1989
	Intermediate sulfidation	This study
	Barren quartz-alunite lithocap	Sillitoe, 1995a; this study

Lindgren estimó que el máximo emplazamiento para estos depósitos era de alrededor de 1000 m de profundidad, basado en reconstrucciones geológicas. Además, estimó los rangos de temperatura entre 50° a 200°C desde las estabildades teóricas de ciertos minerales, sus texturas y las similitudes entre las vetas. El conocimiento actual, por medio del estudio de inclusiones fluidas estima que las temperaturas de formación van desde los rangos entre 160°-270°C.

El estado de sulfuración corresponde a los valores relativos de potencial químico del S del fluido hidrotermal, implícito por las asociaciones de sulfuros en los depósitos. Está directamente relacionado a la fugacidad de S₂ y la T, y es definido en relación a reacciones experimentales de estos complejos (Einaudi y Hedenquist, 2003). En la figura 5.2, simplificada de Einaudi et al.

(2003), se muestra el diagrama de fS_2 -T que indica las variaciones de las asociaciones de sulfuros en depósitos epitermales, los cuales reflejan el estado de sulfuración, desde muy bajo, pasando por el intermedio, a alto y muy alto, cambio que se produce en ese orden al declinar la temperatura.

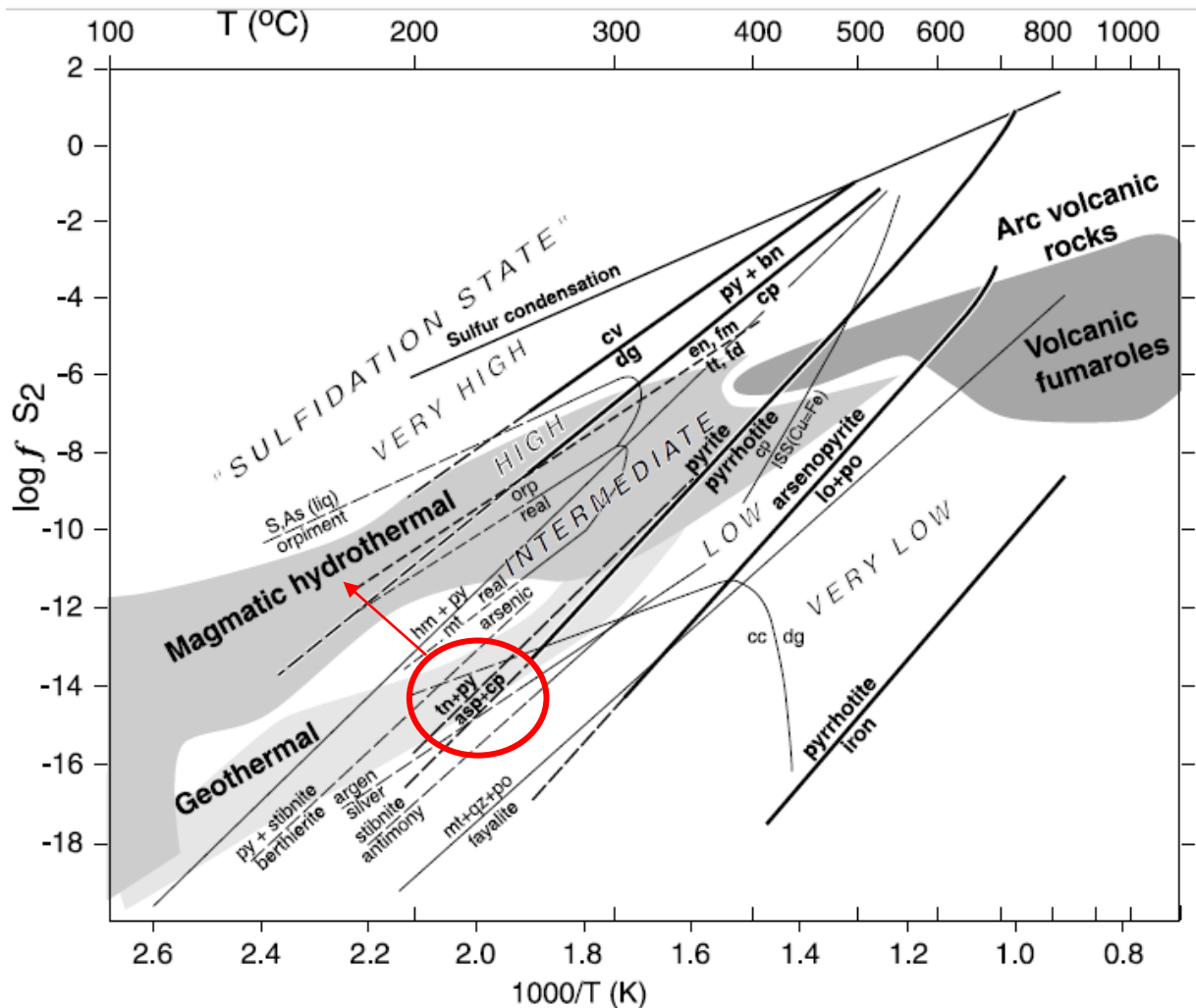


Figura 5.2 Diagrama de fugacidad de S -T de las asociaciones de minerales en depósitos epitermales que reflejan su estado de sulfuración desde muy bajo, a bajo, intermedio, alto a muy alto. Simplificado de Einaudi et al. (2003).

En la zona de alteración Pangue se distinguen asociaciones de minerales de Cpy+Aspy+Py+-Tn en la zona de stockwork, lo que indicaría un rango posible de estado de sulfuración intermedia. Por otra parte, en la misma estructura 10 m al norte se produce una transición del estilo de mineralización con un cambio hacia vetas, y un cambio también en la mineralogía. Esto se refleja ya que 30 metros arriba en cota se reconoció una zonación desde el núcleo a los bordes de vuggy silica, cuarzo-alunita, caolinita, arcillas y clorita respectivamente, asociación que corresponde a vetas de alta sulfuración y que se condicen con una neutralización de fluidos progresiva hacia los

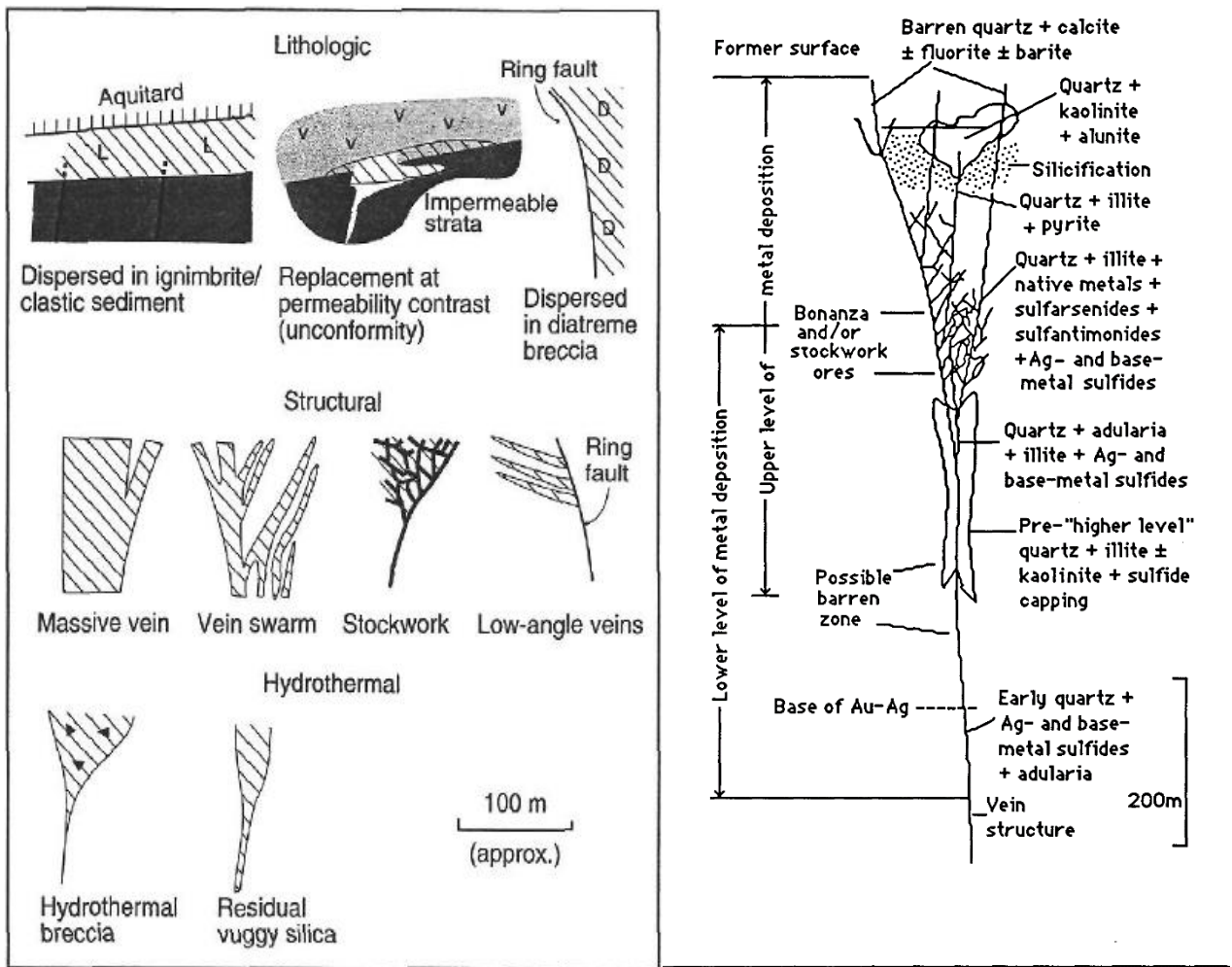


Figura 5.3 A la izquierda se muestran ejemplos de formas de cuerpos de mena, controlados por litologías, por estructuras y por procesos hidrotermales. (tomado de Sillitoe, 1993a). A la derecha se muestra una veta tipo Creed, descrita por Boyle (1979)

bordes producto de la interacción con la roca de caja. La evolución en el otro sentido, desde fluidos de alta sulfuración a fluidos de sulfuración intermedia también es un mecanismo posible, pero el estilo de mineralización desde *stockwork* a vetas se condice con una evolución de fluidos desde condiciones de sulfuración intermedia, a condiciones de alta sulfuración, promovidos por un cambio del gradiente de presión hidráulico que controla la mineralización favoreciendo la permeabilidad secundaria desde *stockwork* a vetas. El mecanismo de precipitación probablemente es un cambio de temperatura producto de la descompresión del sistema, promovido también por la interacción fluidos/roca de caja en la veta tipo HS.

En la figura 5.3, a la izquierda se muestran distintos tipos de cuerpos de mena de manera simplificada. Los controles de mineralización son de tipo estructural en la zona de alteración Pangué, estos corresponden a *stockwork* entre las cotas 1160-1170 m en la parte baja y vetas o enjambres de vetas en la parte superior a esas cotas. No se descarta que la mineralización de esta

estructura también puede estar controlada por gradientes de presión hidráulica laterales, como lo muestra el sondaje GR-2, donde un nivel de tobas concentra la mineralización, posiblemente por ser una roca más permeable y receptiva, permitiendo una mayor interacción fluido/roca y siendo el mecanismo precursor de la precipitación de minerales. Por último, a la derecha de la figura 5.3 se muestra una veta tipo creed (descrita por Boyle, 1979), que calza para el modelo de vetas epitermales polimetálicas de la Zona de Brechas Norte que indicarían un estado de sulfuración intermedia, y también calza con en la parte alta de las vetas de cuarzo-alunita de la Zona Pangué. Probablemente en el prospecto existan manifestaciones parciales de esta veta que el autor anterior registró como ilustración de las vetas polimetálicas de Colorado. Notar la extensión vertical que llegan a tener estas vetas tipo Creed en la región de San Juan, Colorado. Las leyes para estas vetas en este distrito (Colorado) tenían un promedio general de 0,1 oz/ton a Au y 12 oz/ton de Ag.

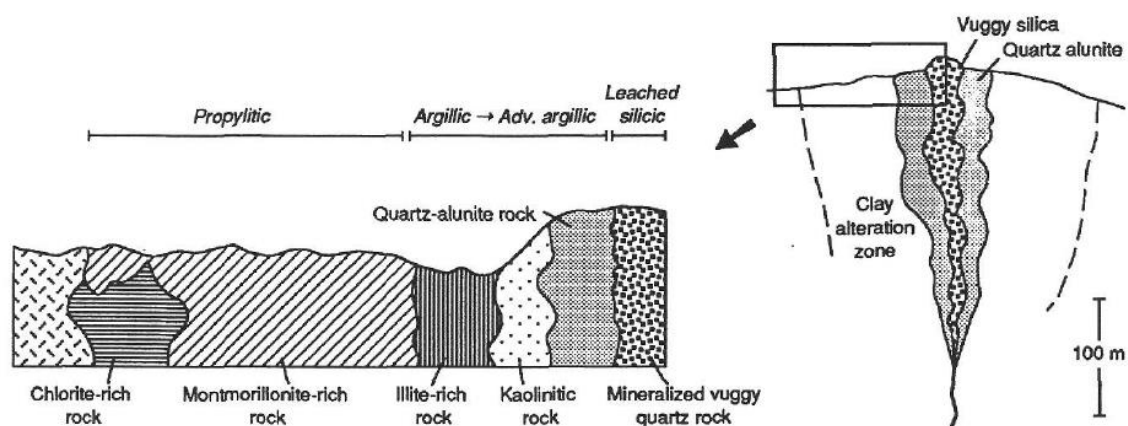


Figura 5.4 Modelo esquemático de las zonaciones de alteración de depósitos epitermales de alta sulfuración. Tomado de Hedenquist (2000).

En la figura 5.4, tomada de Hedenquist, (2000), se muestra un modelo esquemático de la zonación clásica de las vetas epitermales de alta sulfuración. En la zona Pangué se reconoce de manera parcial la zonación desde un núcleo de vuggy silica, gradando hacia los bordes a cuarzo-alunita, alteración argílica y alteración propilítica, esta zonación de alteraciones es reflejo de los cambios de pH que varían desde muy ácidos en el núcleo de vuggy silica, hasta pH neutro en los bordes de alteración propilítica. Las zonaciones reconocidas no son exactas al no poder ser identificados los minerales de arcillas, reconociéndose parches de alteración en los bordes de la estructura principal tal como se muestra en la figura 4.8. En cuanto a los indicadores de mineralización, el muestreo de reconocimiento registró valores de plata tal como se muestran en la figura 4.7, los que podrían

corresponder a la Ag que en algunos casos está contenida en la alunita (Halley, Dilles and Tosdal, 2015, pág 14, tabla 1). Por otra parte los trazadores indicados por el análisis estadístico de correlaciones de Bi-Te-Au se corresponden a elementos que se asocian a ambientes epitermales, como por ejemplo en El Indio (Jannas, 1990), donde se proponen dos eventos principales de mineralización, el evento 1 de cobre, y el evento 2 de oro, mostrando el oro una afinidad química directa con Te, aparentemente una similar en la zona Pangué del prospecto Génesis.

En la figura 5.5 se muestran los ambientes de formación de tres tipos de aguas acidas que pueden producir la alteración argílica avanzada. Describiendo ordenadamente, en (a) se muestran los procesos de acidez hipógena primaria, derivada del ascenso y enfriamiento de HCL y SO₂, se explica por la fórmula, $(4\text{SO}_2 + 4\text{H}_2\text{O} = 3\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{S})$, indicando el proceso de desproporcionalización (sustancia que se oxida y reduce al mismo tiempo). En (b) se muestra el proceso de acidez primaria supergéna, $(\text{H}_2\text{S} + 2\text{O}_2 = \text{H}_2\text{SO}_4)$, lo que refleja una oxidación simple producto de un fenómeno superficial en la zona vadosa. En (c) se muestra la tercera forma de generar aguas acidas, o también conocida como acidez secundaria supérgena, promovida principalmente por la generación de aguas acidas desde la pirita cuando reacciona con agua y oxígeno, pudiendo producir drenaje ácido.

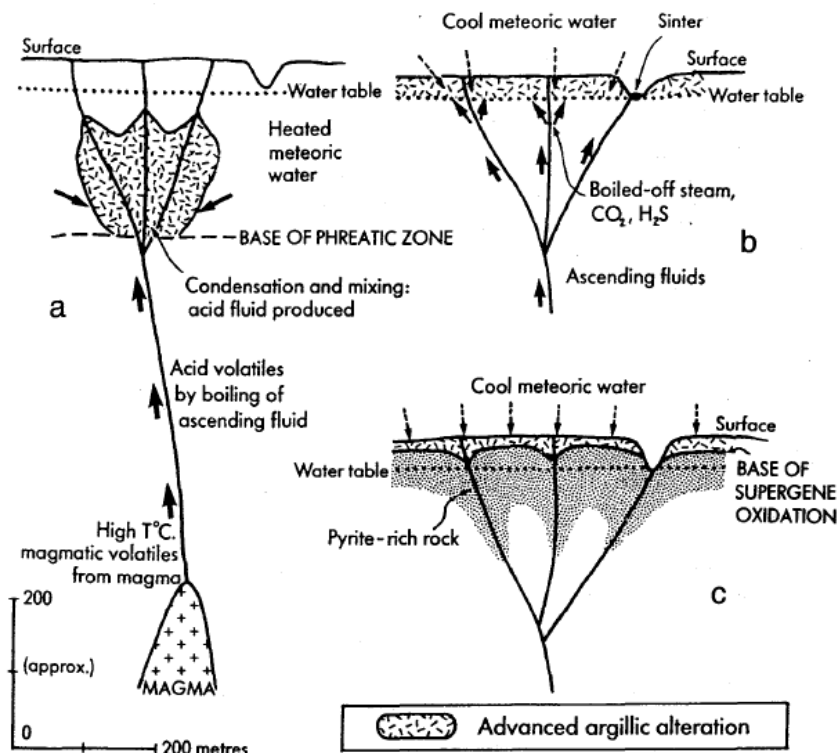


Figura 5.5 Diagrama esquemático de ambiente de formación de aguas acidas. Tomado de Hedenquist (2000).

En la figura 3.2 se muestra el mapeo utilizando imágenes ASTER. Esta metodología detectó zonas con espectros similares al de la alunita, no obstante su origen puede indicar procesos de formación distintos. En la figura 5.6 se muestran los tipos de alunita reconocidos en el prospecto. A la izquierda se reconoce alunita supérgena, asociada con arcillas e hidróxidos de hierro, e identificada por su dureza (4 en la escala de Mohs), y por su textura tipo *chalky*, o porcelanada de agregados de polvo. La alunita de la derecha, está asociada por su cercanía a la estructura de vuggy silica, siendo la propiedad diagnóstica su hábito de mosaicos cristalinos, en espadas o tabulares. Ambas alunitas son de color blanco.



Figura 5.6 Alunita reconocida en el prospecto. A la izquierda alteración supérgena, a la derecha alunita en vetas de estructura de la Zona Pangué.

A modo de resumen se puede mencionar que el prospecto Génesis corresponde a un ambiente de alteración donde se han reconocido distintos tipos de alteración que han afectado a las rocas. Es importante discriminar los procesos responsables que generaron las alteraciones, y las manifestaciones reconocidas se condicen con un ambiente de alteración epitermal. En próximos capítulos se realizará la conexión con los sistemas tipo pórfidos, que en ambientes de subducción pueden producir depósitos epitermales en la denominada litocapa.

5.3 Relación entre los depósitos epitermales y los pórfidos cupríferos, modelos varios

Es ampliamente conocida en la literatura la relación entre los pórfidos cupríferos y sus manifestaciones superficiales en los ambientes de subducción y sus contextos volcánico-tectónicos subsecuentes. No obstante, en el margen continental andino, particularmente en los segmentos metalogénicos del norte y centro-norte chileno abundan los depósitos epitermales de alta sulfuración, por sobre los de baja sulfuración, además de registrar algunos depósitos de sulfuración intermedia como ciertos sectores en El Indio, o como el distrito el Dorado, donde el distrito El Dorado parece ser el equivalente epitermal de las vetas polimetálicas al norte de Vicuña, mostrando características de alteración y mineralización similares a algunas vetas del prospecto Génesis (Carrillo-Rosúa et al., 2008).

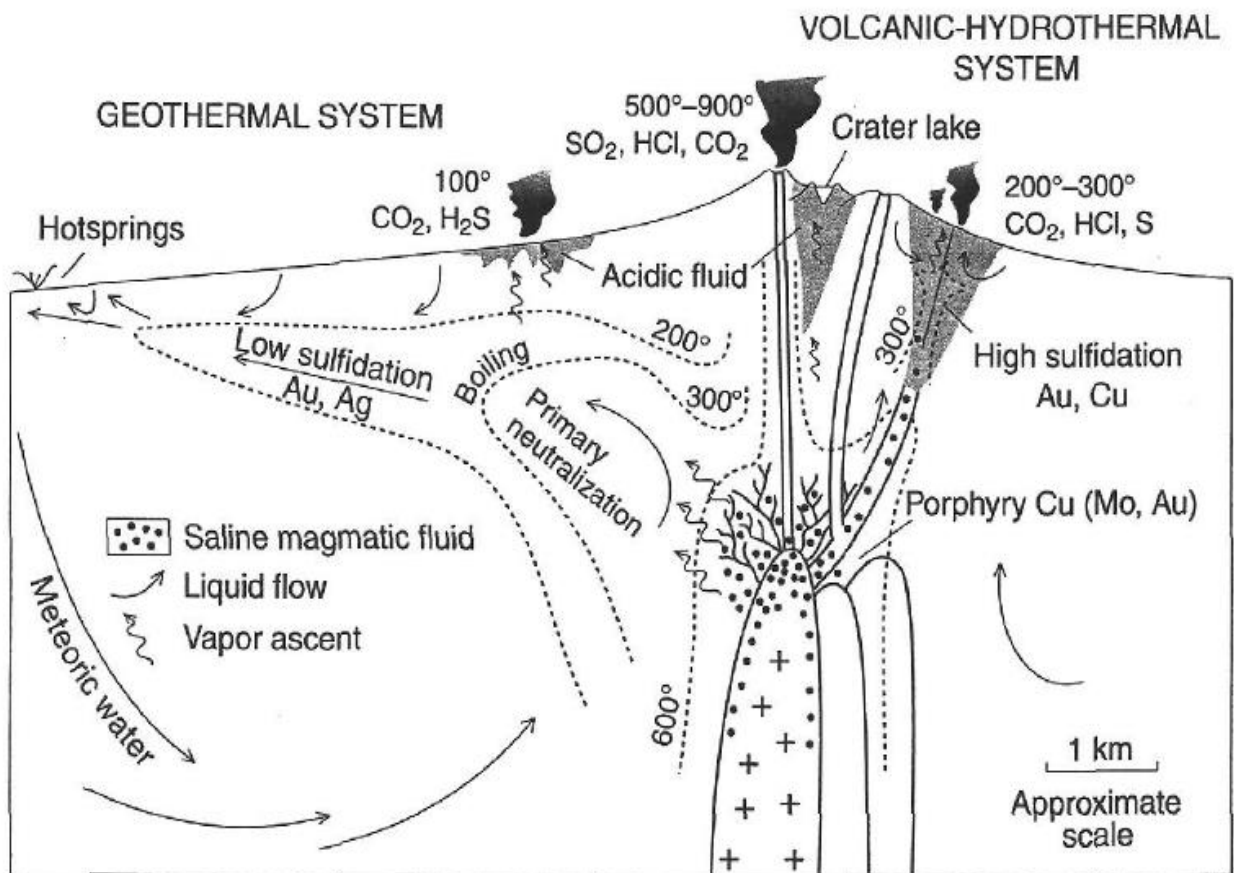


Figura 5.7 Dibujo esquemático de procesos en sistemas volcánicos-hidrotermales y geotermales.

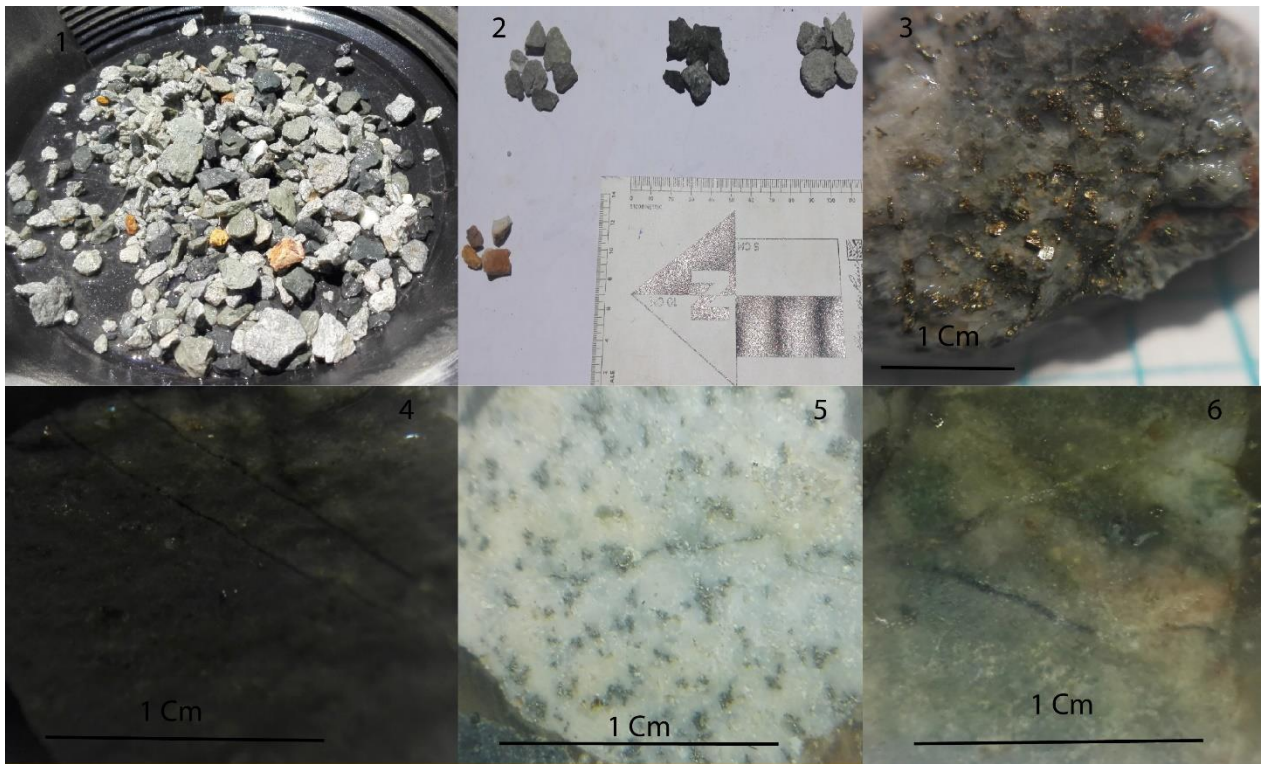


Figura 5.8 Fragmentos recuperados del sondaje GR-3. En 1 se muestra el molido de detritos, en 2 la separación y agrupamiento de fragmentos. En 3 se muestra un aglomerado de cuarzo y líticos con mineralización de cpy+py. En 4 se muestran vetillas sinuosas de 0,5-1 mm de biotita. En 5 se muestra fragmento con Alt. Filica y mineralización de cpy. En 6 se muestra fragmento con vetillas sinuosas rellenas con cuarzo+feld-K.

En la figura 5.8 se muestra la evidencia que sustenta la hipótesis del autor con respecto a la existencia de un pórfido cuprífero en profundidad. Notar los cuadros 4 y 6 con fragmentos que presentan vetillas sinuosas; en 4 se presume que podría ser relleno de biotita por la coloración negra, pudiéndose relacionar a las vetillas tipo EDM (“early dark micaceous”, por sus siglas en inglés); en 5 se reconocen fragmentos con mineralización diseminada de calcopirita en fragmento que presenta alteración filica, tal como lo indica el corte transparente Briq-2 Rev/Filica, ver figuras 3.7, 3.16 y 3.17. Si bien se trata de hallazgos puntuales, son indicativos de las alteraciones que producen los sistemas hidrotermales tipo pórfido cuprífero, por lo que se sustenta la hipótesis de que el sondaje cortó el halo de alteración sericita-clorita que en parte se pudo sobre-imponer al halo distal de alteración potásica evidenciado por las EDM de la figura 5.7, donde los fragmentos se encuentran parcialmente alterados a sericita.

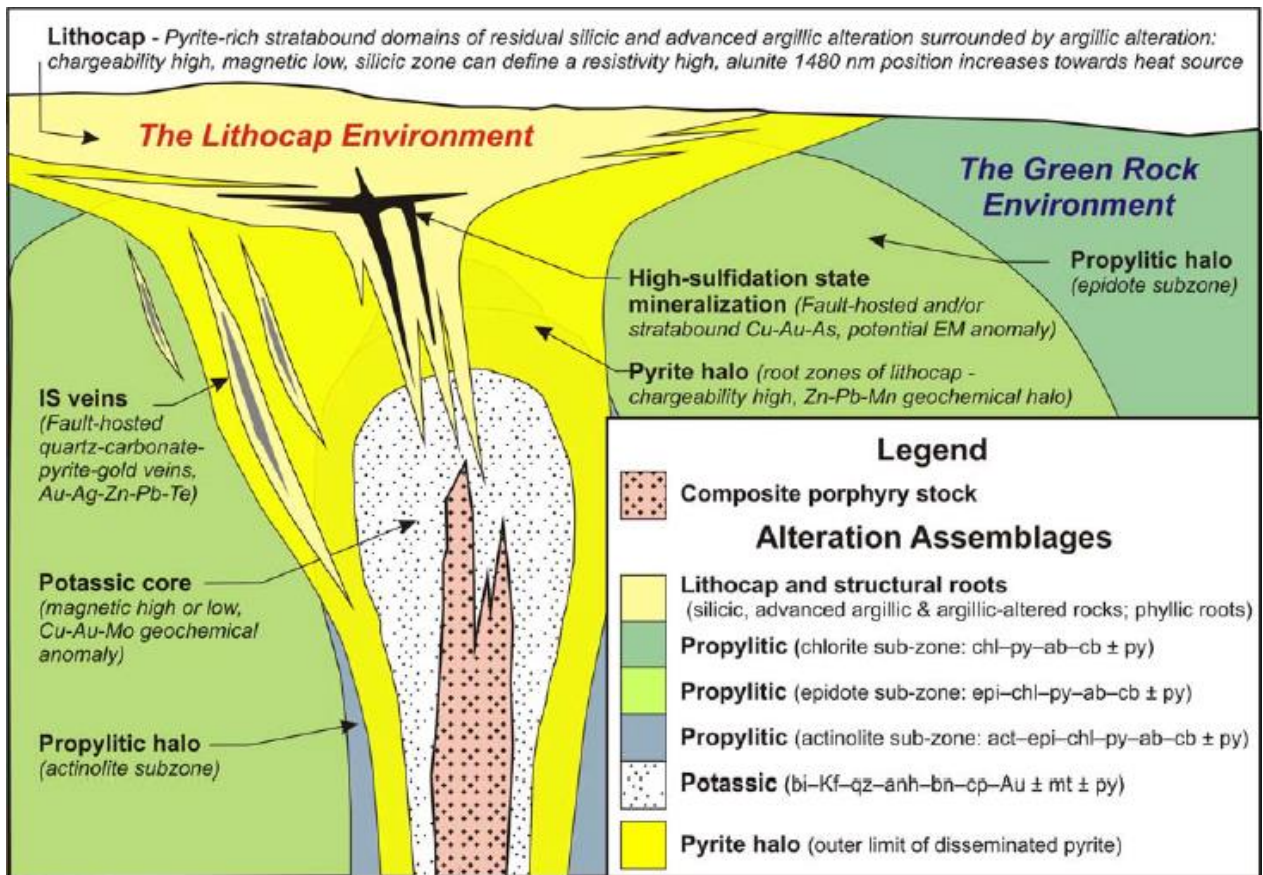


Figura 5.9 Modelo de depósito de Cu-Mo y los ambientes de litocapas. Tomado de Cooke, et al., (2017).

De la evidencia que muestra el sondaje GR-7 se puede intuir que un posible pórfido de Cu emplazado en profundidad está posiblemente relacionado con las alteraciones que se reconocen en superficie. En la figura 5.9 se muestra un modelo de depósito de Cu-Mo y la litocapa asociada en la paleosuperficie. Como se indica en la figura, algunas zonas de alta sulfuración ricas en enargita están controladas por fallas y/o por estratos, presentando además, anomalías magnéticas como evidencia geofísica. La zona del halo de pirita presenta también anomalías de cargabilidad, y el núcleo potásico presenta altos o bajos magnéticos. Esto serán los criterios de definición de nuevos blancos de exploración para un pórfido en profundidad. Los parámetros de búsqueda y la proposición de sondajes se indicarán en el capítulo de exploraciones propuestas.

Perelló et al., (1996) postula que el Cluster Fortuna, hoy en día “El Morro”, muestra características de un pórfido cuprífero de Cu-Au tipo Filipino o de Indonesia. En el prospecto Génesis se asumirá de manera grosera que hay un pórfido en profundidad para lo cual se propone una campaña de sondajes más profundos que se indicarán en el capítulo de exploraciones. En los siguientes párrafos

se interiorizarán los modelos de depósitos tipo filipinos para manejar un modelo de depósito para la etapa de exploraciones en que se encuentra el prospecto Génesis.

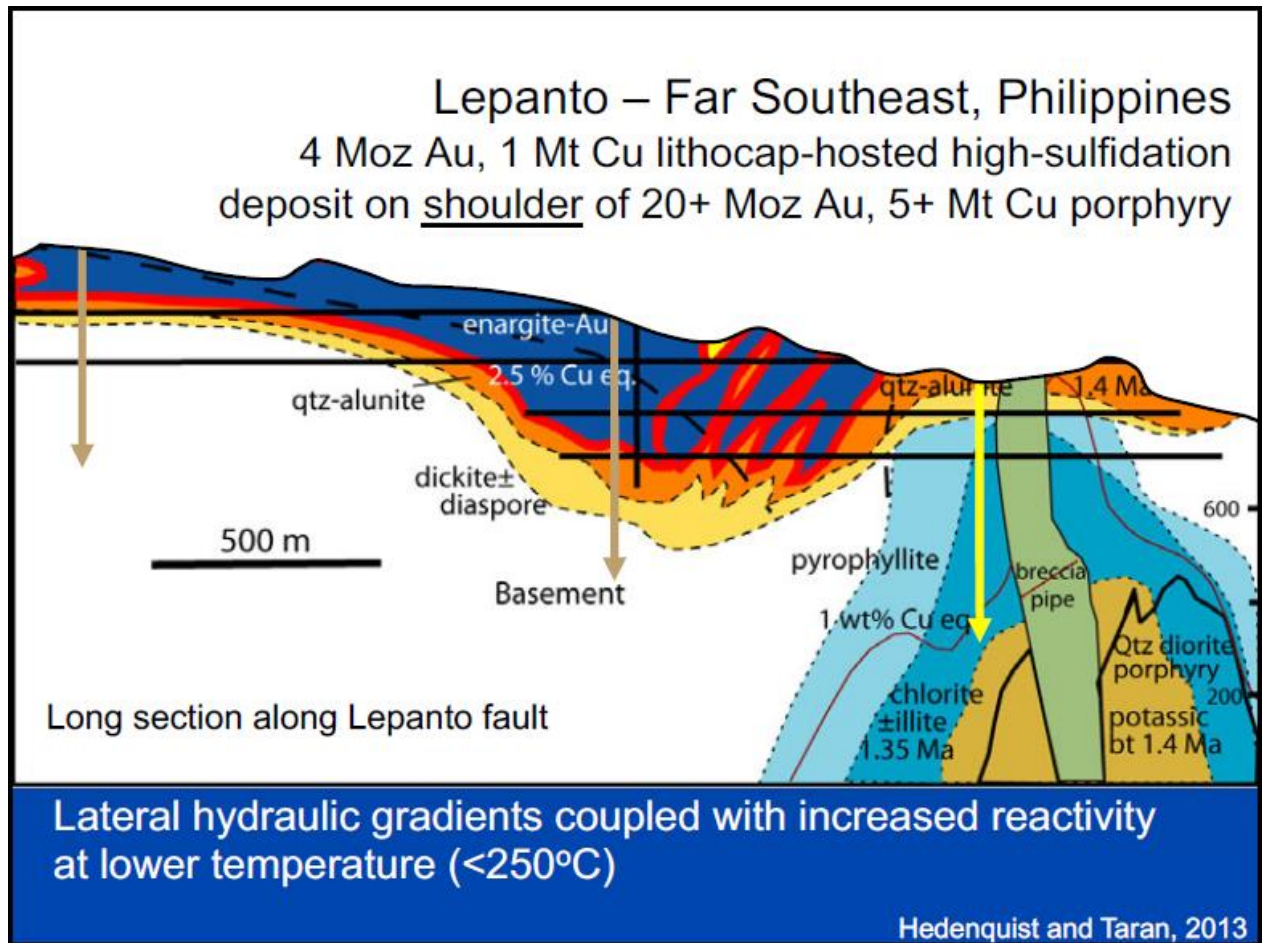


Figura 5.10 Modelo de Pórfido cuprífero tipo Lepanto, Filipinas. Tomado de Hedenquist y Taran (2013).

En la figura 5.10 tomada de Hedenquist y Taran (2013), se muestra un dibujo esquemático del pórfido en profundidad y la litocapa asociada en la paleosuperficie. De este modelo es destacable el nivel de emplazamiento del núcleo potásico con respecto a la superficie actual y la extensión de la litocapa en la paleosuperficie, dominada por gradientes hidráulicos laterales. En el prospecto Génesis los sondajes *scout* registraron paquetes de tobas mineralizadas que calzan con un modelo donde el control de la mineralización es vertical por las fallas, y también es horizontal, controlado por los niveles de brechas y tobas que favorecen la permeabilidad secundaria y el flujo de fluidos en esas direcciones y posterior interacción roca de caja/fluidos como mecanismo de precipitación de metales. Esta hipótesis se propone como favorable para las vetas epitermales de sulfuración intermedia y alta sulfuración, tanto para elementos polimetálicos como para oro.

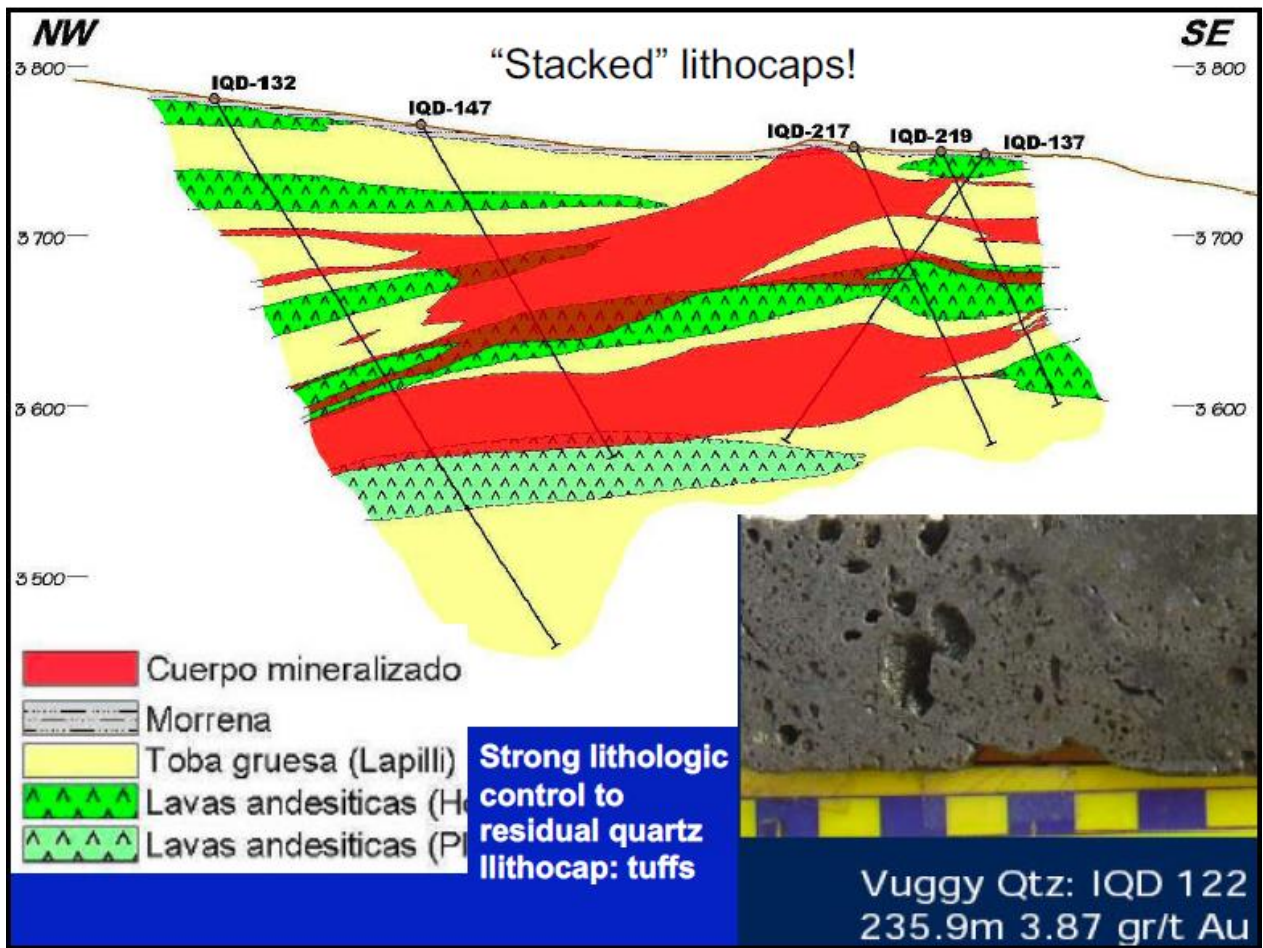


Figura 5.11 Apilamiento de litocaps. Tomada de Hedenquist (2017). Quimsacocha, Ecuador.

En la figura 5.11 se muestra el depósito epitermal de Au, Ag, Cu del distrito de Quimsacocha, Ecuador. En el documento presentado por Hedenquist (2017) se afirma que toda las litocaps tienen alimentadores, pero no todos los alimentadores tienen litocaps, y que cuando los alimentadores están mineralizados, usualmente tienen mejores leyes que las litocaps. Las litocaps pueden ser indicativas de potenciales zonas de mineralización de depósitos epitermales y/o pórfidos de Cu-Au en profundidad. Esto nos lleva al planteamiento de las tasas de alzamiento y erosión necesarias para exhumar y preservar los depósitos que se están buscando, donde se puede tomar como ejemplo el caso del proyecto El Morro (Perelló et al., 1996), en el que se proponen condiciones de alzamiento y erosión que permitieron preservar los depósitos superficiales y el pórfido en profundidad. En la figura 5.11 se muestra además, que la generación de litocaps puede ser recurrente, produciendo un “stack” o apilamiento de la litocaps producto de sucesivos eventos

mineralizadores, aunque, como se muestra en la figura 5.12 la litocapa superior demostró ser estéril cuando fue interceptada, pero los sondeos perforaron aún más profundo encontrando niveles con interceptos muy atractivos.

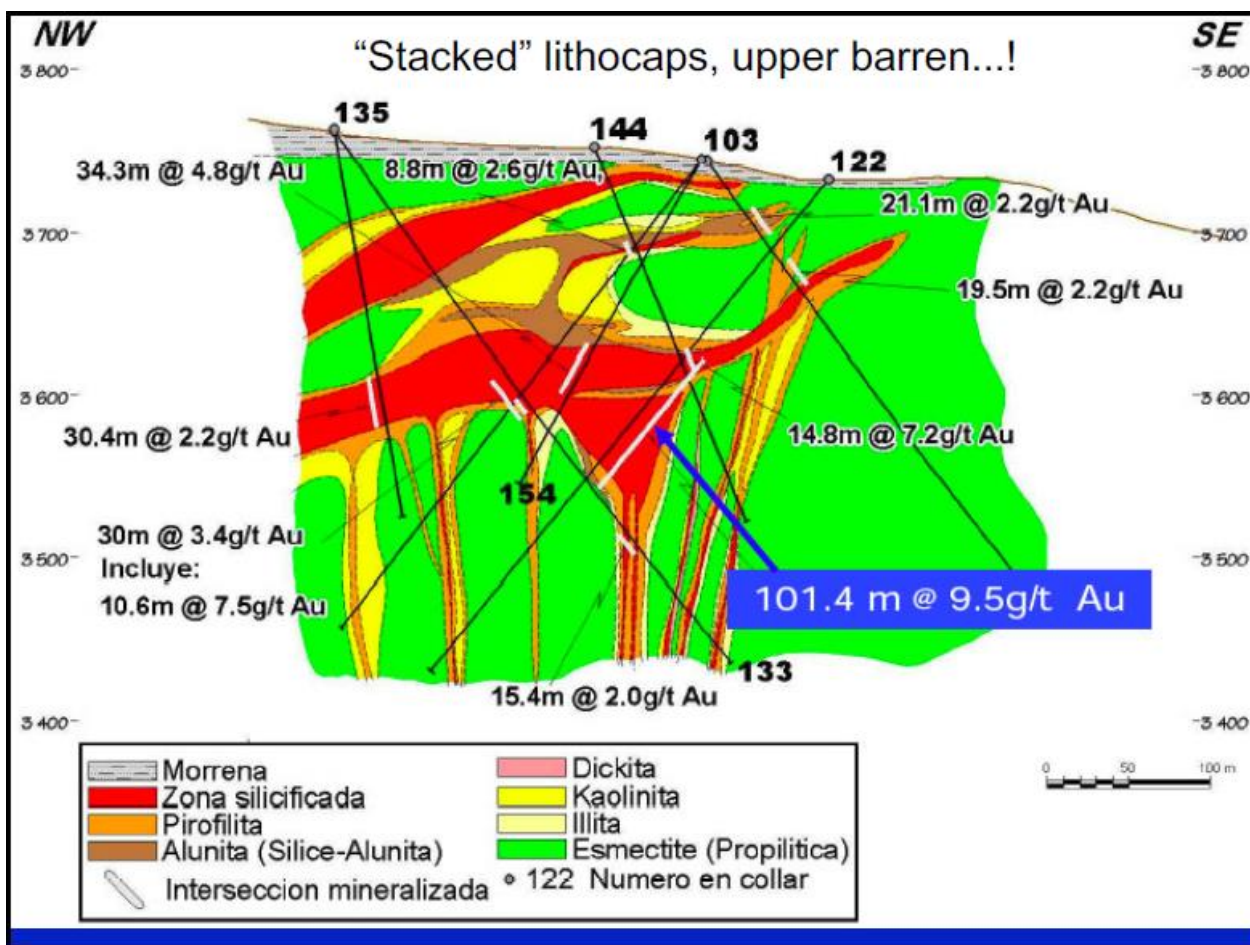


Figura 5.12 Apilamiento de litocapas, niveles estériles y niveles ricos. Tomado de Hedenquist (2017).

Las figuras 5.11 y 5.12 se muestran como ejemplos para establecer criterios de búsqueda para los depósitos epitermales. La mineralización ha seguido los patrones laterales sugeridos por niveles de tobas que favorecieron el flujo de fluidos en esas direcciones preferenciales, no obstante se requiere de un claro entendimiento de la estratigrafía para determinar cuáles son los posibles niveles guías para la mineralización de interés, como por ejemplo, en la figura 5.12 se muestra que todos los sondeos fueron orientados en distintos ángulos hacia la cota 3.600 donde interceptaron los niveles guías de mineralización.

5.4 Programa de exploraciones propuesto

5.4.1 Generalidades

Como inicio de este capítulo se proponen los pasos a seguir para retomar la campaña de exploraciones que abandonó la empresa anterior. Se plantean los lineamientos para continuar con una campaña de exploraciones para dos tipos principales de blancos. Un programa para blancos epitermales de oro y para las vetas polimetálicas, y otro programa de exploraciones para blancos de exploraciones de un pórfido. El programa de exploraciones de los blancos epitermales considera una primera campaña de trincheras y posterior toma de muestras de canaletas. Si los resultados son auspiciosos se procederá a la primera etapa de definición geométrica de los cuerpos mineralizados con sondajes diamantinos, para brechas y vetas, con el objetivo de determinar los controles de mineralización, finalmente se propone la etapa de “*infill*” con sondajes de aire reverso para los cuerpos mineralizados si sus resultados son positivos. Por otra parte el programa de búsqueda de pórfido se basó más bien en criterios geofísicos y en los resultados del sondaje 7 (figura 3.42), generando de esa manera una ubicación óptima para estos sondajes que son más profundos por la naturaleza de su búsqueda.

5.4.2 Exploraciones en blancos epitermales

El objetivo del muestreo geoquímico por canaletas es definir la geometría en superficie de las anomalías indicadas en el primer muestreo geoquímico y determinar la correlación espacial con el resto de los elementos, en especial con los volátiles. Otro objetivo propuesto para este estudio es validar la presencia de mineralización bajo los controles de alteración (Ver figura 5.13 para puntos de ubicación de canaletas propuestas).

Cada canaleta propuesta debe consistir en un parche de 10 x 5 cm, constituyendo cada muestra de 5 a 8 kg de roca. Los canales tienen coordenada, altitud, azimuth e inclinación, se pueden muestrear regularmente en tramos métricos y pueden haber puntos de quiebre con cambios de orientación. Se propone un total de 1107 puntos posibles de muestrear para los blancos: “Brechas Norte”, “Vetas polimetálicas”, “Cordón Mostaza”, “Veta Norte” y “Zona Pangué” (ver figura 5.13), pudiéndose

totalizar más muestras por canal si se estima pertinente. En esta primera etapa se busca conseguir indicios de mineralización económica de oro y también se busca indicar si es que existe algún potencial para mineralización económica de otros metales como manganeso y cobre.

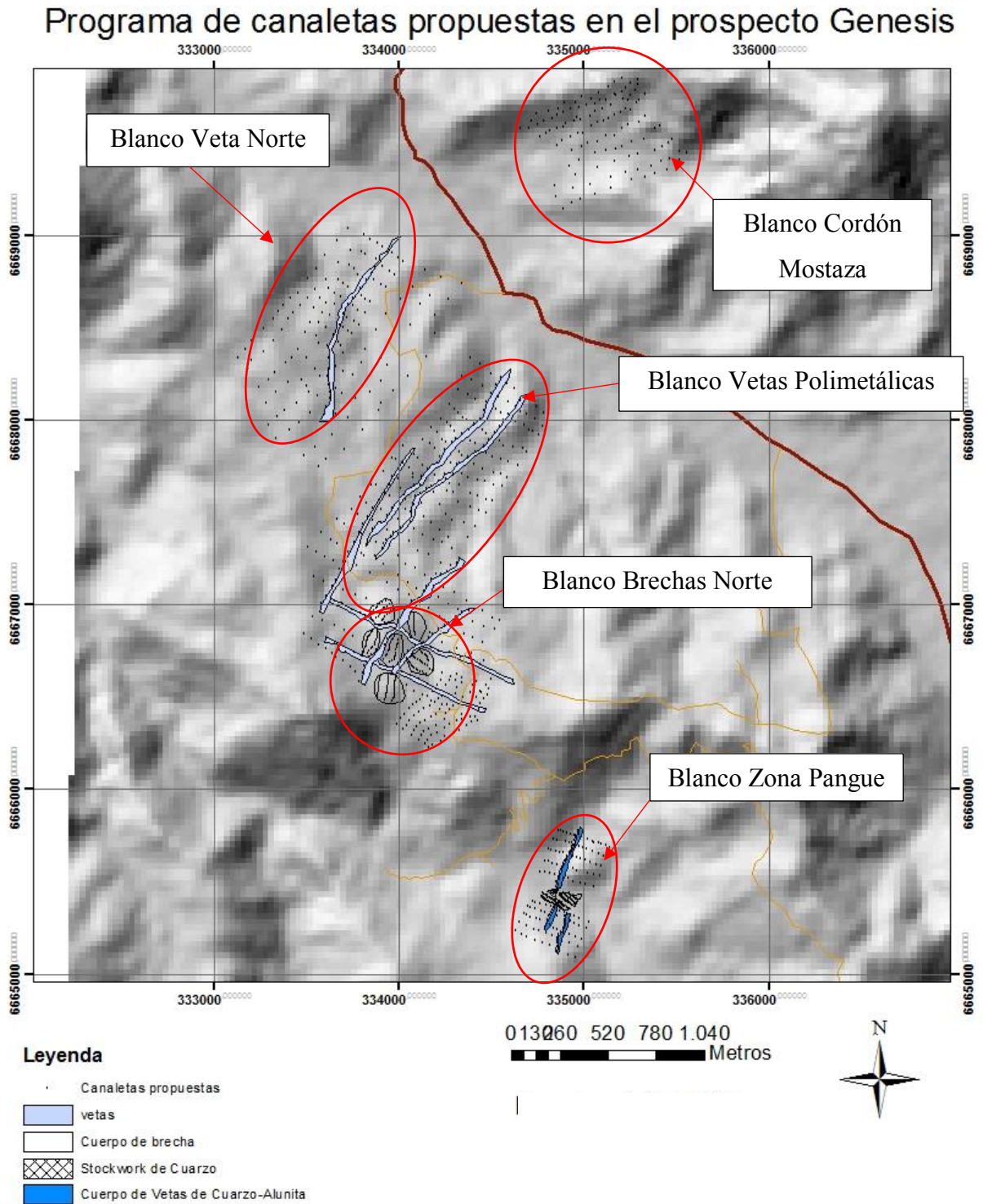


Figura 5.13 Programa de canaleta en el prospecto Génesis.

5.4.3 Exploraciones en blancos tipo pórfido cuprífero

En la figura 5.14 se muestra con puntos azules los tentativos sondajes propuestos para una exploración para un blanco tipo pórfido en profundidad. Chang et al., (2011) muestra en este estudio en la zona de los pórfido de Lepanto, Filipinas, que un mapa geofísico de magnetometría reducido al polo indica que el pórfido se encuentra emplazado en una zona de contraste magnético, más bien desplazado hacia la zona de bajos magnéticos. Este método no marcó como anomalía otro depósito tipo pórfido emplazado 3 km al sureste, por lo que no es regla general que un mapa pueda indicar con exactitud si existe un pórfido en profundidad o no. Por otra parte los lineamientos cercanos al pórfido que si se detectó están bien delineados en las zonas de anomalías magnéticas y exploraciones posteriores indicaron sistemas de vetas de alta y mediana sulfuración relacionadas al pórfido. En la figura 5.15 se superpone el mapa magnético reducido al polo de la primera derivada, y en un polígono azul se delineó la cargabilidad de 40 mrad en la cota 800. Los sondajes fueron orientados en las zonas de anomalías magnéticas, con dirección hacia las zonas de cargabilidad. El secuenciamiento de ejecución busca priorizar las áreas donde ya se tienen nociones de alteración filica de la campaña de sondajes anteriores, por lo que la propuesta de sondajes se resume en la siguiente tabla:

Tabla 5.2 Sondajes propuestos para pórfido en profundidad

Sondaje	Coordenada E	Coordenada N	Azimuth	Inclinación	Metros
1	334190	6666632	150°	-75°	300
2	339123	6666139	-	-90°	300
3	334127	6666142	90°	-75°	300
4	334567	6665540	0°	-75°	300
5	334672	6666142	-	-90°	300
6	335403	6666007	330°	-75°	300
7	335589	6666912	-	-90°	300
8	335278	6667091	180°	-75°	300
9	335083	6667161	-	-90°	300
10	334907	6667062	-	-90°	300
11	335188	6667421	270°	-75°	300
12	335155	6667562	90°	-75°	300

Sondajes propuestos para Pórfido en el prospecto Genesis

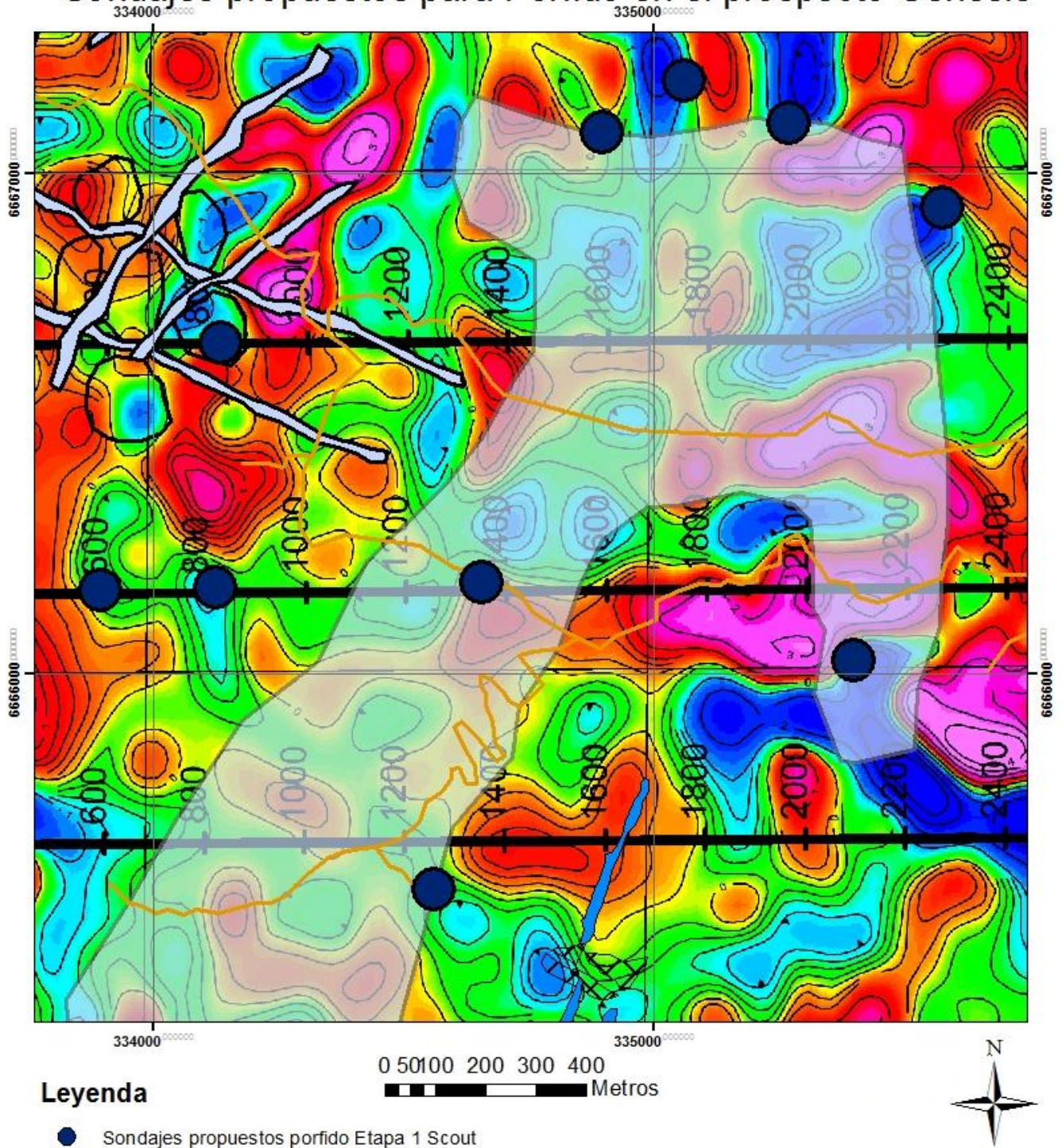


Figura 5.14 Sondajes propuestos para blanco pórfido en profundidad

Capítulo VI Conclusiones y Recomendaciones

A modo de conclusiones finales se puede decir que:

- Los datos geológicos y las alteraciones indican que en el prospecto hay características mineralógicas de alteraciones hidrotermales que se desarrollaron dentro de un área de 6x5 km² cuya asociación a una franja metalogénica tiene como edad máxima el Paleoceno. La preservación de un ambiente epitermal indica que los niveles de erosión desde esa edad debieron ser muy bajos por lo que una edad entre el Paleoceno-Eoceno es plausible.
- Los sensores remotos, el reconocimiento de terreno y los estudios en microscopio indican tipos de alteración hidrotermal relacionados a depósitos epitermales en la Zona Pangué. También se postula un pórfido de Cu dada la evidencia que se obtuvo del sondaje GR-7 y la evidencia de clastos con fragmentos de vetillas con feldespatos potásicos en la Zona de Brechas Norte. La zona alterada presenta anomalías geoquímicas, geofísicas, pero las rocas cortadas por los sondajes fueron esencialmente estériles, con excepción de anomalías métricas de Au relacionadas a estructuras.
- Los estudios geofísicos identificaron anomalías de resistividad y cargabilidad compatibles con la ocurrencia de sulfuros diseminados en profundidad. La presencia de sulfuros no es indicativa de cuerpos de mena con mineralización de Cu y/o Au pero puede servir para vectorizar sondajes en los blancos propuestos. Por otra parte las zonas de transición entre una alta magnetización y baja magnetización también puede servir para vectorizar los sondajes a un blanco tipo pórfido cuprífero en profundidad.
- La información que se ha presentado da cuenta de un potencial de recursos sub-explorado en: El Cordón Mostaza, con vetas de Cu-Ag-Au; Vetas Norte, con anomalías de Cu-Au, Vetas Polimetálicas, con anomalías de Cu-Ag, Pb, y Mn; Blanco de Brechas Norte, con anomalías de Au y menor Cu; y la Zona Pangué, con una estructura tipo de depósito epitermal de alta sulfuración con anomalías de Au y Ag.

A modo de recomendaciones se puede indicar lo siguiente:

- Continuar con los trabajos de exploración en los blancos más atractivos dependiendo de lo que se quiere buscar. Si se define un blanco epitermal en los cuerpos de brechas de la zona Norte, las expectativas de encontrar un hallazgo económicamente rentable estarían favorecidas por la explotación masiva, no selectiva de las brechas si llegaran a constituir cuerpos de volúmenes mineralizados considerables.
- Caracterizar el ambiente de alteraciones de todo el prospecto con un instrumento de reconocimiento de minerales PIMA o Terraspec, con esto se puede definir mejor las zonas alteradas y su relación con potenciales áreas prospectivas.
- Estudios con el instrumento SEM son recomendables para determinar la composición química puntual de las rocas mineralizadas. El objetivo de esto es para conocer las asociaciones mineralógicas y las relaciones entre los minerales (oro fino, oro grueso, oro libre, oro ocluido en otros minerales). También se sugiere un estudio de inclusiones fluidas para comprender la composición de los fluidos, salinidades y temperaturas de homogenización para determinar las condiciones de mineralización. Finalmente, es deseable realizar dataciones entre distintas unidades geológicas para acotar la edad de mineralización y asignar de manera más precisa la época metalogénica del prospecto Génesis. Métodos como dataciones Re-Os en molidbenita (reconocida en Brechas Norte) puede ser una opción, también se puede datar la alunita en las vetas en la medida que efectivamente correspondan a la alteración hipógena.
- Una nueva campaña de exploraciones con IP también puede ser una alternativa de prospectiva pero se requiere una definición de nuevas líneas, acotando la distancia entre los dipolos de medición a 100 m de separación para tener más resolución de resistividad y cargabilidad eléctrica en un blanco epitermal.
- Se propone finalmente un muestreo de trincheras y canaletas en las zonas prospectivas de Brechas Norte y Pangué. Algunos sondajes diamantinos de tipo *scout* son propuestos a modo de descubrimiento de nuevos depósitos en los blancos indicados.

Bibliografía

Aguirre, L; Egert, E. (1965). Cuadrángulo Quebrada Marquesa. Instituto de Investigaciones Geológicas, Carta Geológica de Chile, No. 15, 92 p.

Carrillo-Rosúa, J., Morales, S., Morata, D., Boyce, A J., Belmar, M., Fallick, A. E., Fenoll, H., (2008). Mineralogy and geochemistry of El Dorado epithermal gold deposit, El Sauce distric, central-northern Chile. *Mineralogy and Petrology*. Pp 341-360.

Chang, Z., Hedenquist, J., White, N., Cooke, D., Roach, M., Deyell, C., Garcia, J., Gemmell, J., Stafford, M., Cuison, A., (2011). Exploration Tools for Linked Porphyry and Epithermal Deposits: Example from Mankayan Intrusion-Centered Cu-Au District, Luzon, Philippines. *Economic Geology*, v. 106, pp. 1365-1398.

Cochilco (2017). Informe de tendencias del mercado del cobre. Primer trimestre del 2017.

Corbett, G., Leach, T., (1998). Southwest Pacific Rim Gold-Copper Systems: Structure, Alteration, and Mineralization. Society of Economic Geologists. Inc. Michigan. Usa

Cooke, D., Holliday, J.R., (2017). Advances in Geological Model and Exploration Methods for Copper +/- Gold Porphyry Deposits. *Ore Deposits and Exploration Technology*. Paper 53. Pp 791-809.

Cox, D., Singer, D. (1995). Mineral Deposit Models. USGS Bulletin 1693.

Dediós, P. (1967). Cuadrángulo Vicuña, Provincia de Coquimbo. Instituto de Investigaciones Geológicas, Carta Geológica de Chile, No. 16, 65 p.

Einaudi, M., Hedenquist, J., (2003). Sulfidation State of Fluids in Active and Extinct Hydrothermal Systems: Transitions from Porphyry to Epithermal Environments. *Soc. of Econ. Geol.*, special publication 10.

Emparán y Pineda (1999). Area Condoriaco-Rivadavia. Región de Coquimbo. Servicio Nacional de Geología y Minería, Mapas geológicos, No. 12, 1 mapa escala 1:100.000.


- Emparán y Pineda (2006). Geología del área Vicuña-Pichasca. Región de Coquimbo. Carta geológica de Chile, Serie geología básica, No. 97. Servicio Nacional de Geología y Minería.
- Fletcher, C.J.N, et al., (1989). Structural Control and Genesis of Polimetallic Deposits in the Altiplano and Western Cordillera of Southern Peru. *Journal of South American Earth Sciences*. V. 2 N°1; PP 61-71.
- Guerra, R., (2001). Alto Chicama. Un ambiente de alteración y mineralización “High Sulphidation”, Peru. Material Inédito. Departamento de geología, Universidad de Chile, Santiago, Chile.
- Halley, S., Dilles, J., Tosdal, R., (2015). *Footprints: Hydrothermal Alteration and Geochemical Dispersion Around Porphyry Copper Deposits*.
- Hedenquist, J.W., Arribas, A., Jr., (1998). Evolution of an Intrusion-Centered Hydrothermal System: Far Southeast-Lepanto Porphyry and Epithermal Cu-Au Deposit, Philippines. *Economic Geology*. Vol 93. Pp. 373 -400.
- Hedenquist, J.W, Arribas, A., Jr., and Gonzales-Urien, E., (2000), Exploration for epithermal gold deposits: Review in *Economic Geology*, v. 13, p. 245-277.
- Hedenquist, J., (2017). Exploration and Discovery: Use models carefully, think laterally, avoid dogma. Research Gate publications. https://www.researchgate.net/publication/315707102_
- Holliday, J.R, and Cooke, D.R., (2007), Advances in geological models and exploration methods for copper +-gold porphyry deposits, *in* Milkereit, B., ed., *Proceedings of Exploration 07: Fifth Decennial International Conference on Mineral Exploration: Toronto, Prospectors and Developers Association of Canada*, p. 791- 809.
- Jannas, R., et al., (1990). Gold and copper mineralization at the El Indio deposit, Chile. *Journal of Geochemical Exploration*, 36. Pp 233-266.
- Jorquera, R., Diaz, A., Vivallo, W., Astudillo, N., (2009). Yacimientos Metalíferos del Área Vicuña-Pichasca. Carta geológica de Chile. Serie de Recursos Minerales y Energéticos: n° 29.


- Kouzmanov, K., y Pokrovski, G., (2012). Hydrothermal Controls on Metal Distribution in Porphyry Cu (-Mo-Au) Systems. Soc.Econ. Geologist. Special Publications 16., pp. 573-618.
- Mpodozis, C.; Cornejo, P. (1988). Hoja Pisco Elqui, IV Región de Coquimbo. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, No. 68, 164 p.
- Mpodozis, C., Cornejo, P. (2012). Cenozoic Tectonic and Porphyry Copper Systems of the Chilean Andes. . Soc.Econ. Geologist. Special Publications 16, pp. 329-360.
- Perelló, J. et al., (1996). Clustered, Gold-Bearing Oligocene Porphyry Copper and Associated Epithermal Mineralization at La Fortuna, Vallenar Region, Northern Chile. In Andean copper deposits: new discoveries, mineralization, styles and metallogeny. Soc.Econ.Geologist Special Publication No.5, p.81-90.
- Sillitoe, R. H., Lorson, C., (1994). Epithermal Gold-Silver-Mercury Deposits at Paradise Peak, Nevada: Ore Controls, Porphyry Gold Association, Detachment Faulting, and Supergene Oxidation. Economic Geology. V. 89. Pp 1228-1248.
- Sillitoe, R.H., (1973). The Tops and Bottoms of Porphyry Copper Deposits. Economic Geology. V. 68. Pp 799-815.
- Sillitoe, R.H., (1985). Ore-Related Breccias in Volcanoplutonic Arcs. Economic Geology. V. 80. Pp 1467-1514.
- Sillitoe, R. H., (1993b). Epithermal models: Genetic types, geometrical controls and shallow features: Geological Association of Canada Special Paper 40, p. 403-417.
- Sillitoe, R.H, and Hedenquist, J.W., (2003), Linkage between volcanotectonic settings, ore-fluid composition, and epithermal precious metal deposit: Society of Economic Geologist Special Publication 10, p. 315-343.
- Sillitoe, R.H., (2010), Porphyry Copper Systems, Economic Geology, v.105, pp.3-41.
- Sillitoe, R.G., (2012). Copper Provinces. . Soc.Econ. Geologis. Special Publications 16, pp. 1-18.


Capítulo de Anexos



1.1 Muestras


En el siguiente apartado se describen las muestras recogidas en terreno y que representan a grosso modo la geología del prospecto génesis. Se incluyen coordenadas, código, y las descripciones litológicas, de alteración y finalmente, el nombre respectivo para la categoría de roca.


Nombre Roca	Coordenada N	Coordenada E	Código
Brecha de cuarzo	6664774	336275	GE-D11
			
Tipo de fragmento	Cuarzo	Composición soporte	hematita
Forma de fragmento y tamaños	Angulosos/ 1mm- 5 cm	Alteración hidrotermal	silicificación
Razón fragmento/matriz	2:1	Color	Matriz negra, cuarzo blanco
Soporte:	Clasto-soportado	Observaciones	Mineralización de Ox de Fe.


Nombre Roca	Coordenada N	Coordenada E	Código
Veta de alunita	6664922	336178	GE-D12
			
Litología			Alunita
Alteración 1			Argilica
Alteración 2			Silicificación
Mineralización			No presenta


Nombre Roca	Coordenada N	Coordenada E	Código
Brecha hidrotermal	6667272	334114	GE-BR5
			
Tipo de fragmento	andesita	Composición soporte	Silice
Forma de fragmento y tamaños	Angulosos /1-5 cm	Alteración hidrotermal	Silicificación
Razón fragmento/matriz	1:1	Color	Gris-blanco
Soporte:	Matriz soportado	Observaciones	Mineralización de Mo y Cpy


Nombre Roca		Coordenada N	Coordenada E	Código
Brecha hidrotermal		6667121	334098	GE-BR3
				
Tipo de fragmento	Sin identificación	Composición soporte		Sílice
Forma de fragmentos y tamaño	Angulosos/ 1-3 cm	Alteración hidrotermal		Argílica/silificación
Razón fragmento/matriz	1:2	Color		Café
Soporte	Matriz soportado	Observaciones		Boxwork con limonitas
Nombre Roca		Coordenada N	Coordenada E	Código
Brecha transicional		6667197	334124	GE-BR2
				
Tipo de fragmento	Tobáceos y cuarzo	Composición soporte		Sílice
Forma de fragmentos y tamaño	Angulosos/ 1-20 cm	Alteración hidrotermal		Argílica/Silificación
Razón fragmento/matriz	3:1	Color		Fragmentos rojos y clastos blancos
Soporte	Clasto-soportado	Observaciones		Sin mineralización


Nombre Roca	Coordenada		Código
	N	E	
Brecha hidrotermal	6667272	334088	GE-BR1
			
Tipo de fragmento	Andesita	Composición soporte	Sílice
Forma de fragmentos y tamaño	Angulosos/5-10 cm	Alteración hidrotermal	Argílica/silicificación
Razón fragmento/matriz	2:1	Color	Rojo, amarillo, blanco
Soporte	Clasto-soportada	Observaciones	Min: Py+-Cpy en drusas


Nombre Roca	Coordenada		Código
	N	E	
Andesita silicificada	6669364	334810	GE-D21
			
Litología		Andesita	
Alteración 1		Vetilleo de Qz con alt- argílica	
Alteración 2		Silicificación	
Mineralización		Py+-Cpy	


Nombre Roca		Coordenada	Coordenada	Código
		N	E	
Veta polimetálica		6667750	333659	GE-Poli
				
Litología	Veta de cuarzo	Mineralización		Ga+Ox de Cu+sulfosales
Alteración 1	Argílica	Texturas		Boxwork
Alteración 2	Oxidación supérgena	Observaciones: Labores de pirquino anteriores. Estructuras cortada por sondaje. Valores de Au, Cu, Zn y Pb.		
Estructuras	Vetiforme 1-2 m ancho			


Nombre Roca		Coordenada	Coordenada	Código
		N	E	
Veta de Manganeso		66678210	333829	GE-23
				
Litología	Veta de manganeso	Mineralización		Ox. de manganeso
Alteración 1	Argílica	Textura		Drusas de cuarzo
Alteración 2	Oxidación Supérgena	Observaciones: mineralización de Ox de manganeso y de Fe con drusas pequeñas de 1-5 mm de ancho y 1-5 cm de larg.		
Estructuras	Veta de 4-8 m de ancho			


Nombre Roca	Coordenada N	Coordenada E	Código
Microdiorita	6667460	333792	GE-D2-PROP
			
Litología	Diorita de grana fino		
Alteración 1	Propilitica		
Alteración 2	Oxidación supérgena moderada		
Mineralización	Sulfuros de cobre diseminados y Ox de Cu menores		


Nombre Roca	Coordenada N	Coordenada E	Código
Veta de cuarzo	6667460	333792	GE-M2-PROP
			
Litología	Veta de cuarzo	Mineralización	Cpy+hem+-Py-Ox. de Cu
Alteración 1	Propilitica	Texturas	Peines, dientes de perro
Alteración 2	Ox. Supérgena	Observaciones: Fuerte oxidación in situ. Se reconoce labor minera artesanal que explotó la veta por óxidos de Cu principalmente.	
Estructuras	Veta de 1-5 cm		


Nombre Roca	Coordenada N	Coordenada E	Código
Diorita	6665259	337450	GE-D15
			
Litología	Diorita(?)		
Alteración 1	Argilica intermedia, hem+arcillas+limonitas		
Alteración 2	Oxidación supérgena		
Mineralización	No presenta		


Nombre Roca	Coordenada N	Coordenada E	Código
Andesita	6664967	336805	GE-D14
			
Litología	Andesita		
Alteración 1	-		
Alteración 2	Argilica supérgena;arcillas +capas de limonitas negras iridiscentes		
Mineralización	No presenta		

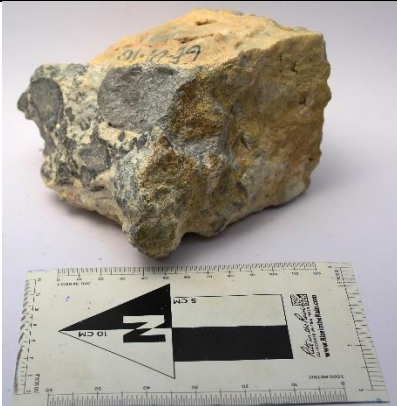
Nombre Roca	Coordenada N	Coordenada E	Código
Cuarzo druso	6664922	336178	Drusa
			
Litología	Sílice		
Alteración 1	i		
Alteración 2	Silicificación		
mineralización	Veta de cuarzo, posterior silicificación		


Nombre Roca	Coordenada N	Coordenada E	Código
Veta de alunita	6665947	335097	GE-D16
			
Litología	Roca silicificada		
Alteración 1	Alteración argilica avanzada; alunita		
Alteración 2	Silicificación		
Observaciones	Se reconoce alunita en veta que posteriormente ha sido silicificada		


Nombre Roca	Coordenada N	Coordenada E	Código
Sheeted veins	6664922/	336178	GE-D13
			
Litología	Cuarzo		
Alteración 1	Silicificación		
Estructuras	Sheeted veins		
Mineralización y observaciones	No presenta, afloramiento pequeño de aprox 5 m ²		


Nombre Roca	Coordenada N	Coordenada E	Código
Veta de cuarzo y alunita	6665947	335097	GE-D16
			
Litología	Andesita		
Alteración 1	Alteración argilica avanzada; Qz+alunita+hem+arcillas		
Alteración 2	Oxidación supérgena		
Mineralización	Alunita		


Nombre Roca		Coordenada N	Coordenada E	Código
Vuggy silica		6665878	335050	GE-D18
				
Litología	Silice	Textura	Oquerosa	
Tamaño espacios	1mm -1cm	Observaciones: esta estructura se reconoce como evidencia de un ambiente de alteración epitermal de alta sulfuración. Tiene 15-20 m de corrida de afloramiento visible, 1-2 m de ancho. Es clasificada como un <i>light vuggy silica</i> ya que el tamaño de espacios es milimétrica a unos pocos centímetros.		
Tipo de reemplazo	Fdp-Pg			
Estructura	Ledge de 1-2 m de ancho			


Nombre Roca		Coordenada N	Coordenada E	Código
Andesita		6665878	335050	GE-D19
				
Litología	Andesita	Mineralización	Caolinita+Aspy+cpy+py	
Alteración 1	AAA	Textura y estilos	Reemplazo de minerales, relleno de cavidades	
Alteración 2	Leve oxidación	Observación: Afloramiento de stockwork de aproximadamente 20 m de ancho, 10-15 m de largo. Labores artesanales en el afloramiento.		
Estructuras	Stockwork			

Nombre Roca		Coordenada	Coordenada	Código
		N	E	
Andesita		6665878	335050	GE-D1-10
				
Litología	Andesita	Mineralización	Caolinita+Aspy+cpy+py	
Alteración 1	AAA	Textura y estilos	Reemplazo de minerales, relleno de cavidades	
Alteración 2	Leve oxidación	Observaciones: ídem a GE-D19		
Estructuras	Stockwork			

Nombre Roca		Coordenada	Coordenada	Código
		N	E	
Silice		6665947	335097	GE-D16
				
Litología	Andesita (i)			
Alteración 1	Alteración argílica avanzada			
Alteración 2	Silicificación			
Mineralización	Alunita			

Nombre Roca		Coordenada N	Coordenada E	Código
Veta de cuarzo		6665878	335050	GE-D1-11
				
Litología	Veta de cuarzo	Mineralización	Aspy+cpy	
Alteración 1	AAA	Textura y estilos	Vetas y rellenos de espacios	
Alteración 2	Ox supérgena	Observaciones: ídem a GE-D1-10		
Estructuras	Veta			

Nombre Roca		Coordenada N	Coordenada E	Código
Cuarzo		6665878	335050	GE-D17
				
Litología	Cuarzo	Estructuras	Veta de cuarzo	
Alteración 1	AAA	Mineralización	Py+-Aspy+yeso+caolin	
Alteración 2	Meteorización	Observaciones: esta roca fue recogida de un desmonte correspondiente a labores artesanales en el lugar.		
Texturas	Boxwork			

Nombre Roca	Coordenada		Código
	N	E	
Brecha hidrotermal	6667272	334114	GE-BR-4
			
Tipo de fragmento	Andesita	Composición soporte	Cuarzo
Forma de fragmento y tamaños	Angulosos-semi redondeados/ 0,5-2 cm	Alteración hidrotermal	Argilica
Razón fragmento/matriz	1:2	Color	Blanco,rojizo,café
Soporte:	Matriz-soportado	Observaciones	Roca alterada, con boxwork y cpy+-py relictos

1.2 Litogeoquímica ICP

A modo de explicación del manejo estadístico de los datos de ICP tomados en la primera campaña de muestreo en este apartado detallaran los fundamentos teóricos a grandes rasgos que sustentan este análisis. También se adjunta una tabla con los datos obtenidos de la batería de elementos.

Se analizaron los datos por medio del uso de software computacional Xlsm e IOGAS, para luego filtrar la base de datos y seleccionar elementos que presenten anomalías de contraste notables. El objetivo es establecer relaciones entre las poblaciones de datos y procesos geológicos que expliquen los contrastes entre los valores medidos.

Los métodos de análisis de datos como el análisis de componentes principales son útiles en el marco del estudio exploratorio de datos multivariable y proporcionan representaciones sintéticas de tales datos.

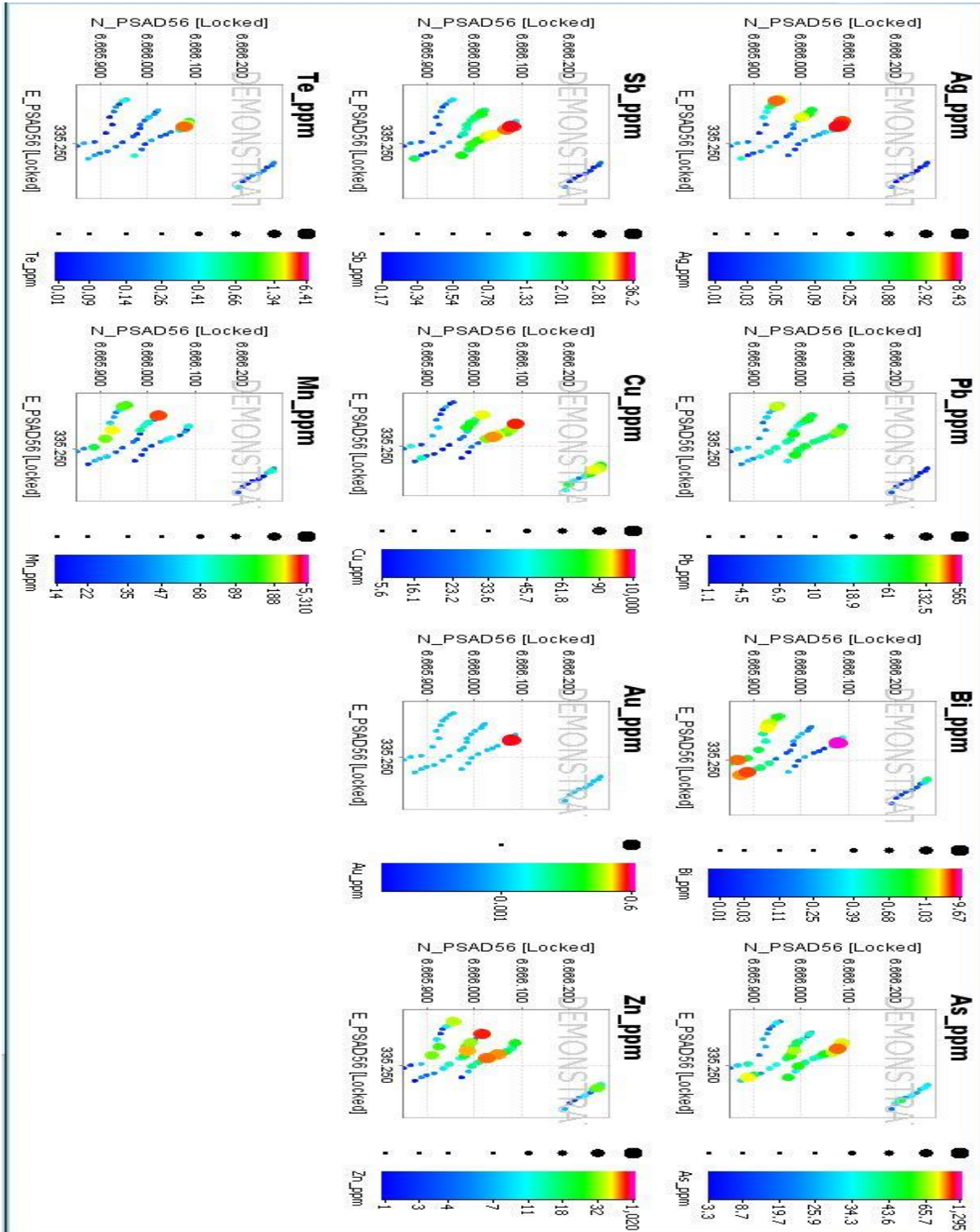
El análisis en componentes principales busca construir, a partir de las variables iniciales $\{x_1, \dots, x_m\}$, otras variables $\{y_1, \dots, y_m\}$ estadísticamente no correlacionadas. Estas cantidades no correlacionadas son llamadas “factores”. Se desea además que los factores sean combinaciones lineales de las variables iniciales y que tengan una media nula sobre el conjunto de los individuos.

El análisis en factorial permite **resumir** la información contenida en los datos multivariados, solo reteniendo los primeros factores (aquellos con mayores varianzas), por ejemplo aquellos cuyas varianzas suman el 80% de la varianza total.

El análisis en componentes principales (los factores de mayor importancia) permite describir y analizar las relaciones que existen entre varias variables medidas en un conjunto de observaciones. El objetivo esencial de tal análisis es jerarquizar la información multivariable en **factores**, mutuamente ortogonales y clasificarlos en función de la cantidad de información que contienen. Así, los primeros factores resumen la información contenida en los datos.

En la imagen “” se muestra el mapa con la ubicación de las muestras. Es importante destacar que el análisis de datos de Au y Ag es complicado ya que se cuentan con pocos datos que superaron el umbral de detección. En la imagen 32 se muestran gráficamente los valores de los elementos de interés con los que se trabajó, entre ellos están el Au, Ag, As, Bi, Hg, Sb.

Importante también es destacar que la baja cantidad de datos y el muestreo sesgado de algunas zonas pueden generar variabilidades notables de los elementos sin ser significativas como evidencia de procesos mineralizadores, por lo que pequeñas ocurrencias mineralógicas pueden dar una respuesta alta y desviarnos en términos prospectivos.



1.3 Geofísica

En este apartado se detallan los aspectos técnicos de los instrumentos de magnetometría e IP señalados por Geodatos.

1.3.1 Trabajo de Terreno Magnético

Instrumental. La adquisición de datos se realizó con dos magnetómetros Geométricos G-859 de Vapores de Cesio como magnetómetros de campo y un magnetómetro Geométrico G-856 de Precesión de Protones como estación base.

La posición a lo largo de las líneas de medición fue realizada con sistemas GPS (no diferencial) Novatel Smart Antenna, con precisión del orden de 1 m, integrados a los magnetómetros G-859.

Parámetros de medición. Las mediciones se llevaron a cabo entre las fechas 21 de Julio y 3 de Agosto del 2011. Las plantas de las líneas magnéticas se muestran en la figura 21. Se midió un total de 177987 m de trayectoria real con líneas Este-Oeste cada 100m, en modo de registro continuo de los magnetómetros, con espaciamiento promedio resultante de 0.16 m entre lecturas, de acuerdo con el resumen de la estadística de los datos (coordenada UTM, Datum WGS84, Zona 19S).

1.3.2 Trabajo de Terreno IP

Instrumental. Los datos de IP fueron registrados con equipo marca Zonga Engineering & Research Organizations, Inc., USA, compuesto por:

- Receptor Multipropósito GDP-16
- Transmisor GGT-10 (10Kw)
- Controlador de Frecuencia XMT- 16
- Caja de interruptores de Dipolos y accesorios

- Motor Generador ONAN, 110 Volt, 400 ciclos/s.

Parámetros de medición. Los datos geoelectricos se midieron desde el 21 de Julio al 5 de Agosto del 2011. Se midió un total de 9000 m en 3 perfiles de 3 km cada uno. Los parámetros se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 1. Parámetros del estudio IP

Dominio de medición	Frecuencia
Frecuencias Fundamentales	1/8, 1 y 8 Hz
Armónicas	3 ^{ra} , 5 ^{ta} , 7 ^{ma} and 9 ^{na} de cada fundamental
Arreglo de Electroodos	Dipolo-Dipolo
Longitud Dipolar	200 m
Número Total de Líneas	3
Longitud Total Medida	9000 m

El arreglo Dipolo-Dipolo proporciona cobertura lateral y vertical del subsuelo. La resolución está controlada por la distancia dipolar. La profundidad de investigación se logra variando la distancia entre los dipolos transmisor y receptor. La cobertura lateral se realiza desplazando el arreglo sobre la línea.

1.3.3 Procesos de Datos Magnéticos

Correcciones de los datos. El proceso de datos y la generación de mapas se realizaron con el sistema de análisis y proceso de datos de ciencias de la tierra Oasis Montaj de Geosoft. El proceso consta primeramente de dos partes; la sustracción de la variación magnética diurna registrada en la estación base y la asignación de coordenadas a los puntos de lecturas magnéticas.

Ambas operaciones se realizan usando el tiempo como variable de ligazón, para lo cual los magnetómetros y los GPS funcionan en sincronía durante las mediciones. A continuación los datos se procesan con un filtro no-lineal para remover los puntos fuera de tendencia de muy altas frecuencias y magnitud (“spikes”).

Mapas del campo magnético.

El mapa de campo magnético total muestra la variación del campo magnético total en el área. Las rocas magnéticamente anómalas están representadas mediante anomalías magnéticas bipolares que tienen la componente positiva localizada al norte del cuerpo y la componente negativa al sur de él. Esto se debe a la inclinación negativa del campo magnético terrestre en este sector.

El mapa de la señal analítica muestra una representación útil para localizar los bordes de los cuerpos magnéticos, en particular cuando la remanencia y/o la baja latitud magnética del sector complican la interpretación.

El mapa reducido al polo del campo magnético ocupa un filtro de reducción al polo para transformar las anomalías magnéticas bipolares en anomalías monopolares, localizadas, en planta, sobre cuerpos magnéticamente anómalos.

1.3.4 Procesos e inversión de datos geoelectricos

La técnica de IP mide valores aparente de resistividad y fase, que son funciones de la característica del volumen de tierra bajo los sensores y la geometría del arreglo de electrodo. Los valores reales se determinan mediante procesos de modelamiento o inversión. El efecto de polarización inducida es una medida del retardo de la respuesta del voltaje en los materiales terrestres causado por una reacción a la corriente inducida de la transferencia de electrones entre los iones electrolíticos y los minerales de lustre metálico. Para que se produzca el efecto IP deben existir poros con presencia de fluidos, ya que la matriz de la roca es básicamente un aislador. El efecto IP tiene lugar cuando estos espacios porosos están en contacto con minerales de lustre metálico, grafito, arcillas u otros productos de alteraciones.

Los datos de fase contienen el acoplamiento galvánico (efecto IP de interés), el acoplamiento inductivo electromagnético (acoplamiento EM) y a veces acoplamientos de tipo cultural debido a líneas de potencia, cercas metálicas, cañerías, etc. El acoplamiento EM se remueve o minimiza usando la información obtenida en las múltiples frecuencias de medición. En el presente caso se utilizó el algoritmo estándar de tres puntos aplicado a la frecuencia fundamental menor (0.125 Hz) y sus armónicas 3ra y 5ta.

Los datos presentan un cierto nivel de ruido, en particular la fase del perfil L5 y la resistividad del perfil L6. Estas pseudo-secciones se filtraron con el programa de procesamiento de datos multi-electrodos X2IPI Prof., de la Universidad de Moscú.

Inversión 2D. Los datos de IP fueron invertidos con el sistema RES2DINV de Geotomo. Este programa puede ser usado para estudios con diversos arreglos de electrodos (Polo-Polo, Dipolo-Dipolo, Polo-Dipolo, Wenner, Schulmberger, etc). El algoritmo incorpora la topografía en el modelamiento.

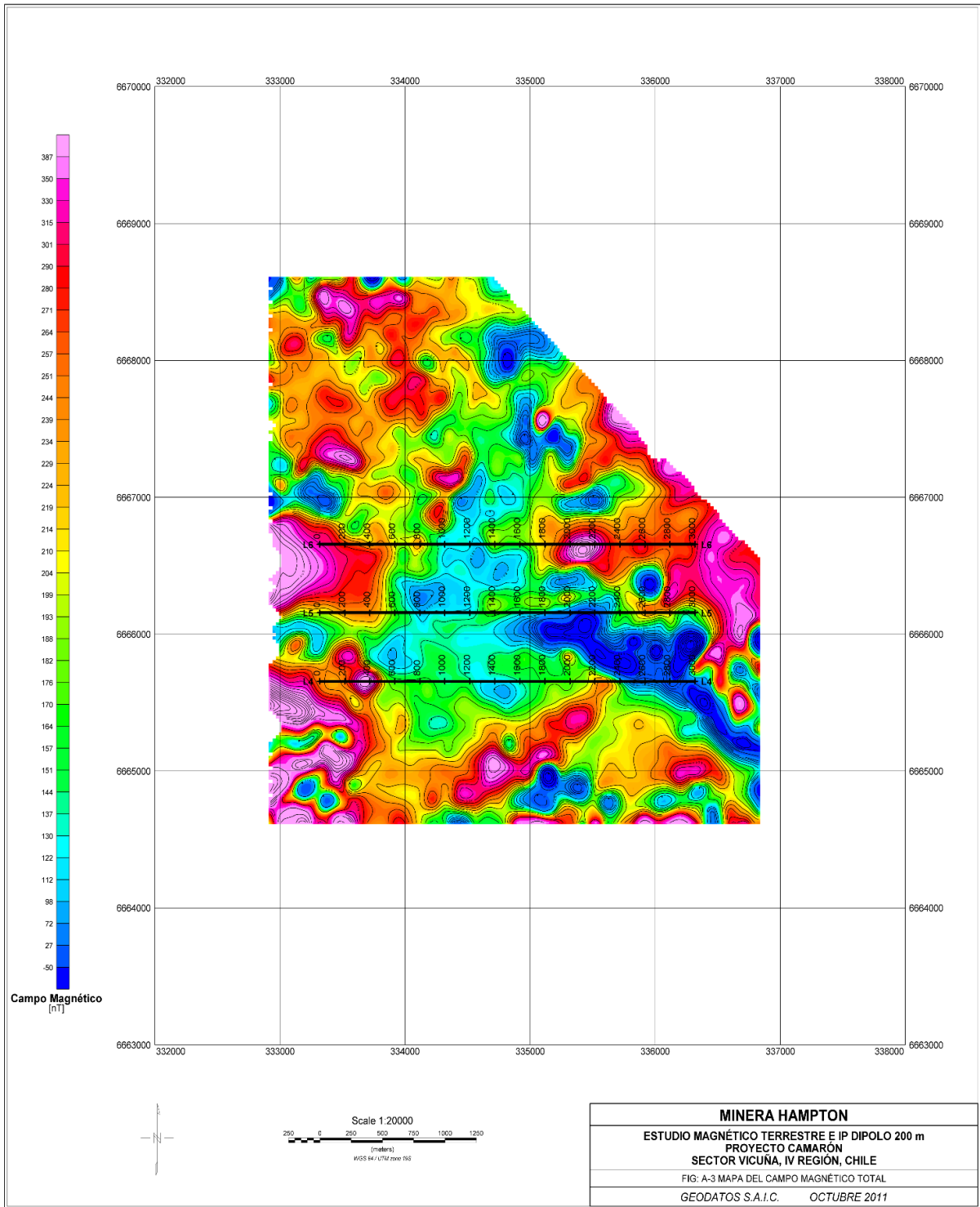
Las zonificaciones de colores de la resistividad y de la polarización se ajustan automáticamente a los valores extremos de cada perfil por separado, permitiendo una mejor comparación entre las pseudo-secciones observada y calculada.

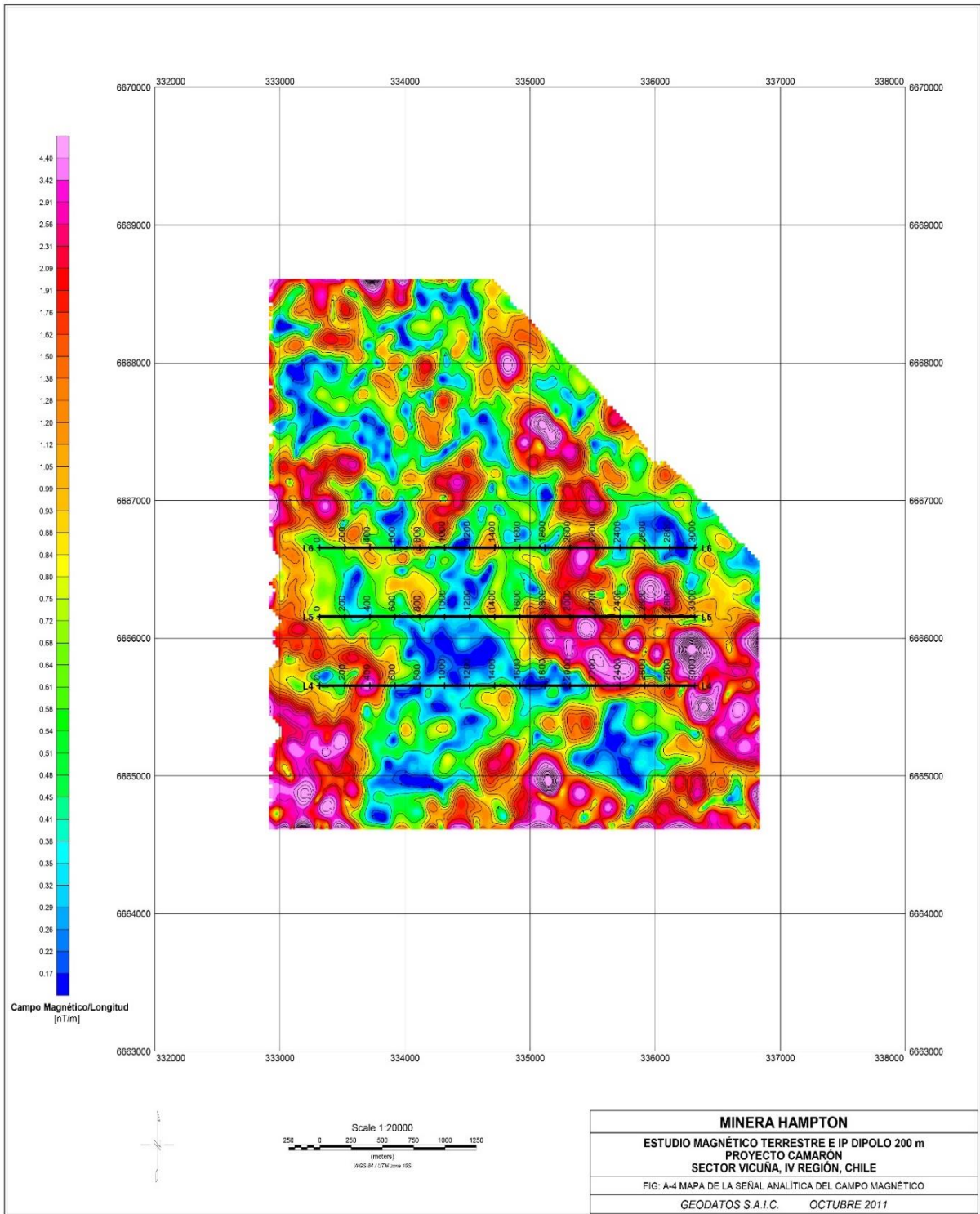
En general, los resultados más confiables se obtienen cuando la orientación de los perfiles es perpendicular al rumbo geológico predominante, en cuyo caso el modelamiento por inversión recuperará de manera más precisa la imagen geoelectrica cruzada por tales líneas.

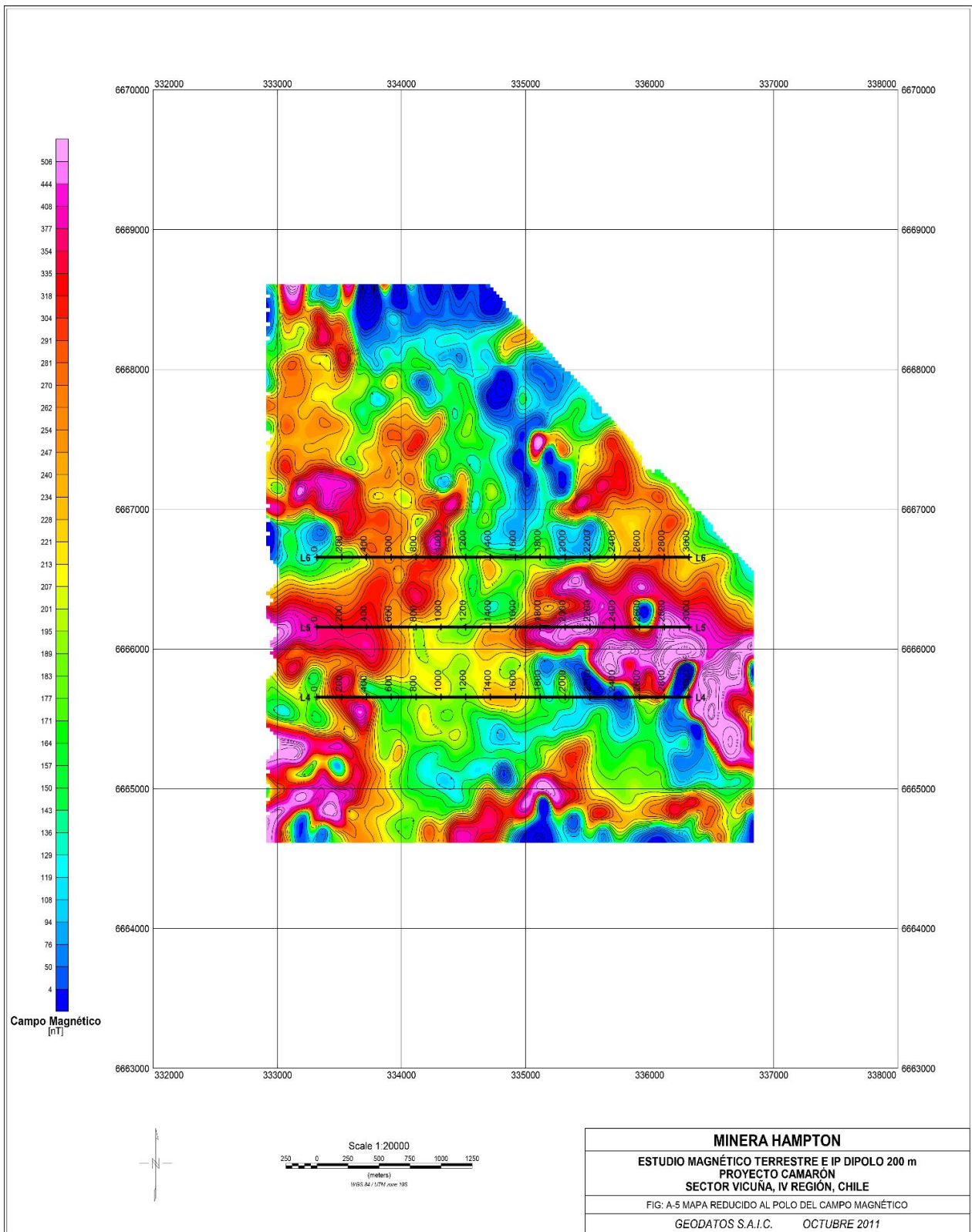
Secciones de Resistividad y Polarización Inducida. Los modelos 2D de resistividad y polarización de las líneas se presentan como secciones bajo la topografía en las figuras para las líneas 4, 5 y 6 respectivamente.

Para apreciar el medio de resistividad donde se emplazan los cuerpos polarizables, las figura “” muestra los contornos de IP sobre las grillas de resistividad.

1.3.5 Mapas Magnéticos

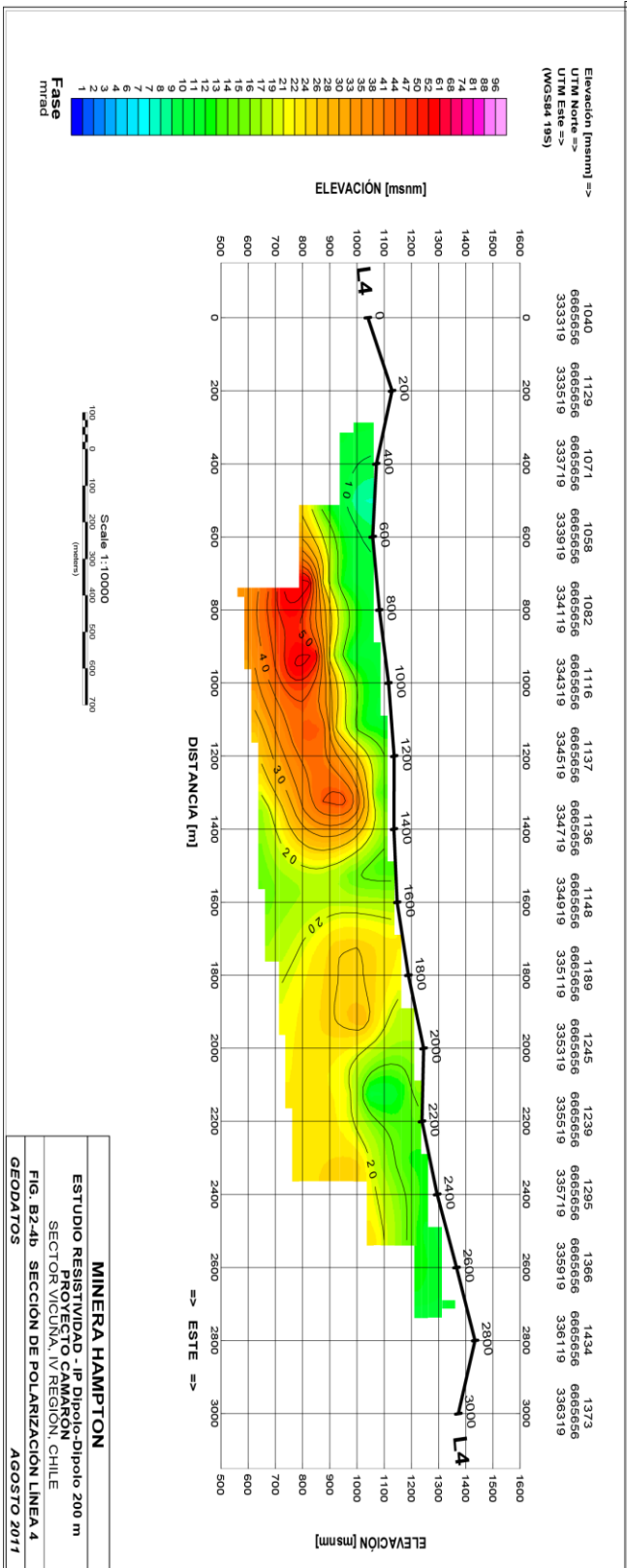
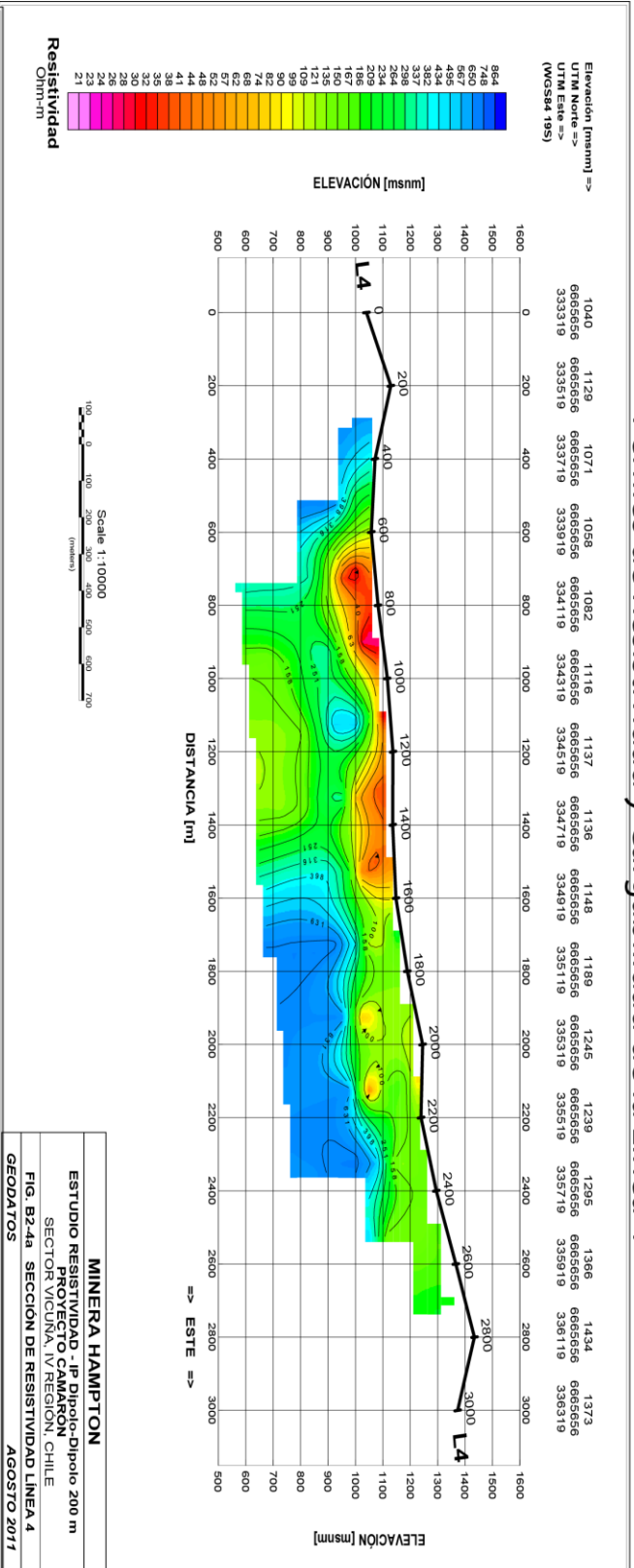






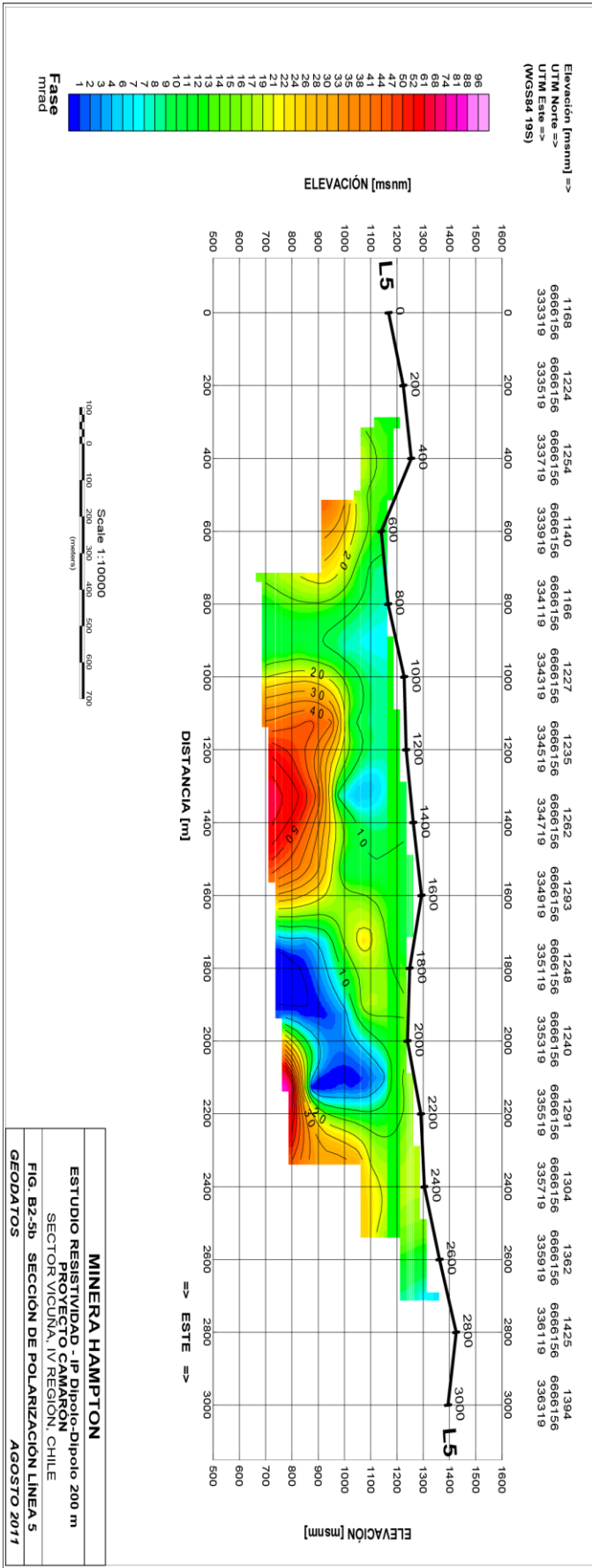
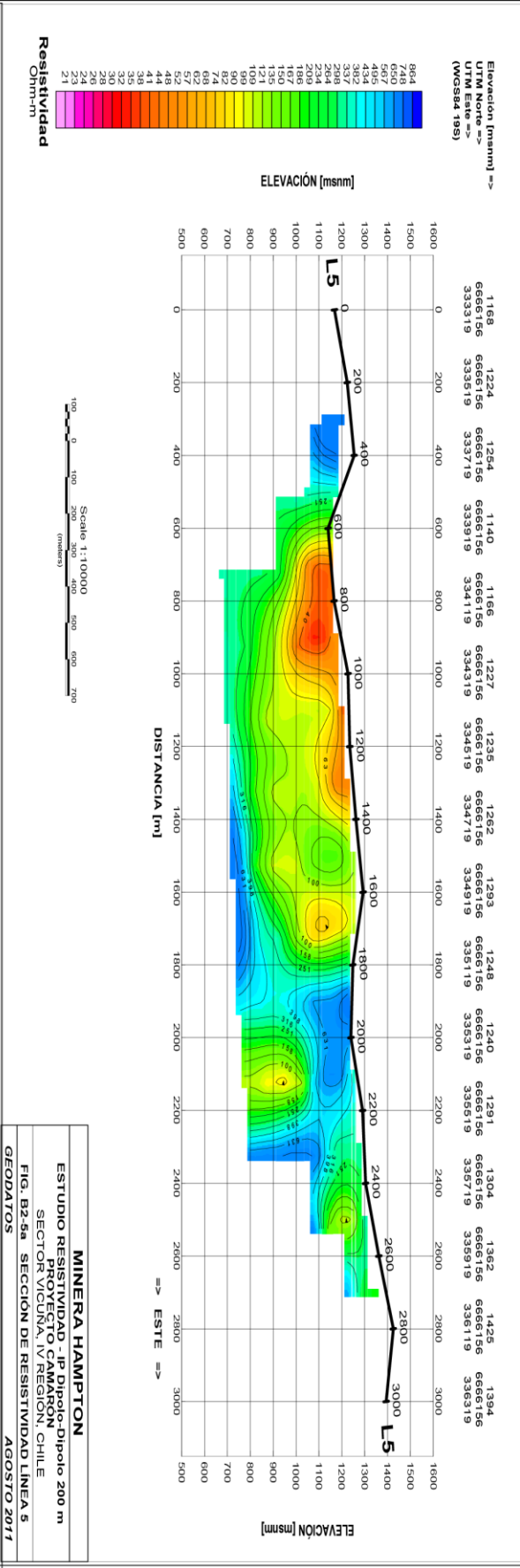
1.3.6 Mapas Geoeléctricos

Perfiles de Resistividad y Cargabilidad de la Línea 4

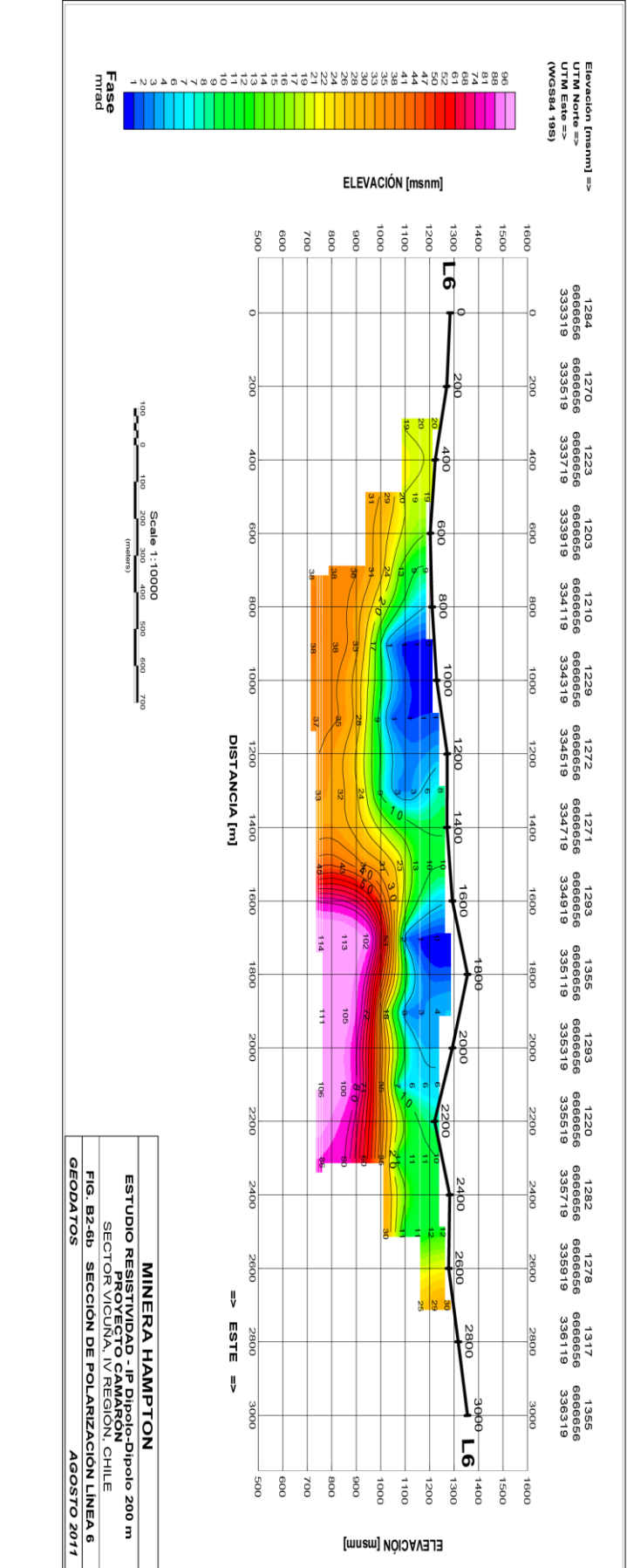
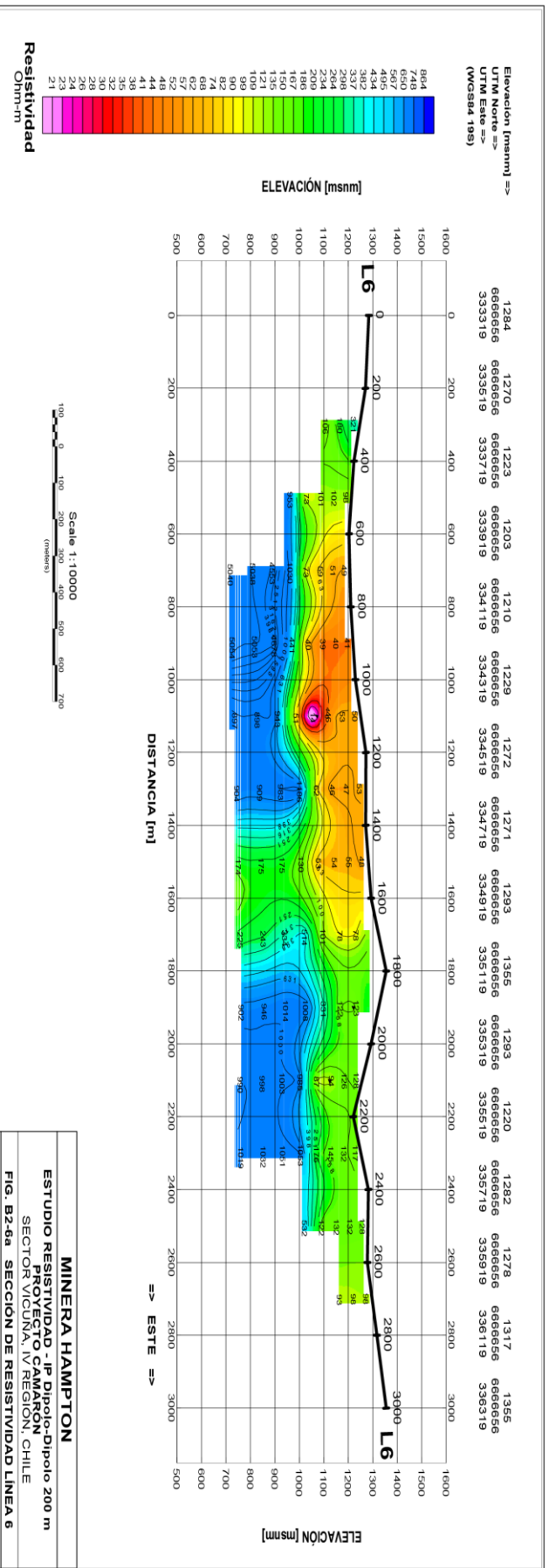


MINERA HAMPTON
 ESTUDIO RESISTIVIDAD -IP Dipolo-Dipolo 200 m
 PROYECTO CAMARON
 SECTOR VICUNA, IV REGION, CHILE
 FIG. B2-4b SECCION DE POLARIZACION LINEA 4
 GEODATOS
 AGOSTO 2011

Perfiles de Resistividad y polarización de Línea 5



Perfiles de Resistividad y cargabilidad de Línea 6



1.4 Sondajes

La empresa MCG Proyección Geológica realizó el muestreo, vía cuarteo, confección de *cutting*, análisis *Bruker Field XRF Analyser* y mapeo de los sondajes en la modalidad Aire reverso. Los entregables fueron carpetas de sondajes con certificados de mapeos geológicos, control peso, leyes químicas, topografía y reportes de operación.

1.4.1 Metodología

Las perforaciones se iniciaron el día 02 de Junio del año 2012, culminando el día 30 de agosto del mismo año, con la entrega de las carpetas y un informe. El personal integrante constó de un Geólogo – Administrador apoyado por 10 muestreros en turno A y la colaboración de 1 Geólogo, 2 ayudante para leyes FRX y 1 admirativo. En forma adicional, se reforzó el equipo con 4 muestreros y un dibujante. Los trabajos consistieron en muestreo y mapeo de doce (12) sondajes, perforados en el proyecto Génesis en la modalidad Aire reverso, con la máquina *Schramm* modelo ED 130, bajo el siguiente diagrama de flujo:

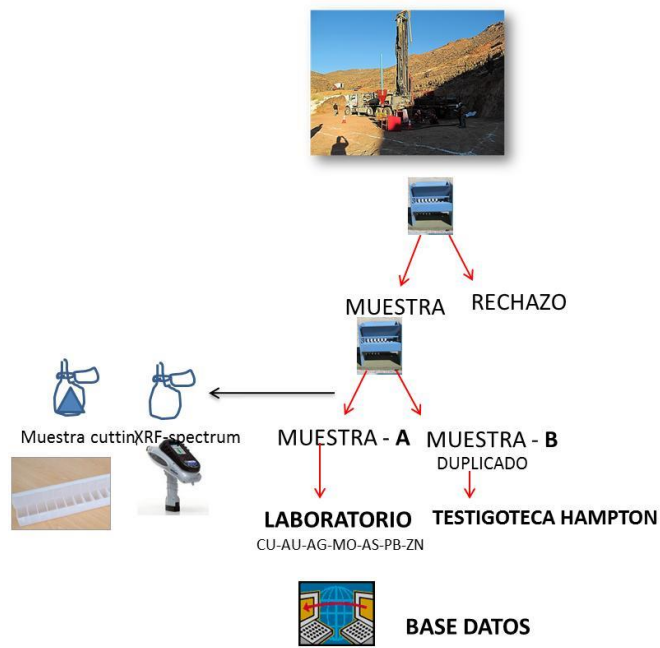


Figura 1.4.1 Diagrama de flujo de muestreo y análisis en laboratorio.

Hampton realizó las marcaciones de los sondajes en terreno, contratando los servicios de maquinaria para la construcción de accesos y plataformas. La Empresa perforó los doce (12) sondajes, entregando muestras con soporte de 1 metro, con las que se inicia los trabajos contratados. Una vez recepcionadas las muestras, se inicia el proceso pesando el total de la muestra recuperada, (figura 1.4.1.1). Luego, se particiona en partes iguales, dejando una para rechazo y la otra mitad para obtener la muestra A, que va al laboratorio y otra para testigo.



Figura 1.4.2 A la izquierda pesaje de muestras. A la derecha el instrumento ocupado para cuartear.

Para realizar la división de la muestra se utilizó un cuarteador Jones con tolva y palanca, como se ilustra en la figura 1.4.1.2.

La distribución de las muestras consistieron en: Una Para el laboratorio químico, Geonálitica; otra como respaldo-testigo; otra para preparación de *Cutting* y análisis con instrumentación *Bruker Field XRF Analyser*.

Para la recuperación se ha empleado una densidad teórica de 1,8 gr/cc para las Gravas – rellenos y, para roca, de 2.3 gr/cc. Cuando se tiene una recuperación mayor al 100% de muestra, debe al empleo de la densidad empleada y, en parte a la mala operación de perforación al incorporar muestra del tramo superior.

Para el mapeo de *cutting*, se utilizó un plato blanco y lupas de diferentes ampliaciones, hasta 45 veces, además, de ácido clorhídrico al 10%, agua, rayador, imán.

Se arman 12 carpetas de sondajes, con certificado topográfico, mapeo geológico, control pesos, leyes FRX y Geoanalítica, perfil resumen y gráficos de control y ayuda al mapeo.

1.4.2 Programa de sondajes

Se programaron 12 sondajes, por un total de 3600 m, logrando perforar 3598 m, 99.94%, con una profundidad de 300 m y una inclinación de -60° . La empresa Hampton realizó la marcación en terreno con GPS en la modalidad (WGS-84), y posición de acuerdo a la geoquímica, vetas de cuarzo con jarosita, hematita y bordes de pebble dykes.

1.4.3 Muestras recuperadas

Se han recuperado 107 mil 14 kilos de muestras, lo que implica una recuperación de 81 %, una cantidad de 29,7 kilos de promedio por muestra tal como se indica en la tabla 1.4.3.1.

Tabla 1.4.1 Índices de recuperación de material de los Sondajes de aire reverso.

SONDAJE	TIPO	Perforado	Recuperado (Kg)	Recuperacion teorica (kg)	% Recuperado	PROMEDIO (Kg)
GR-1	AR	300	6882.83	11040	62	22.9
GR-2	AR	300	6952.07	11040	63	23.2
GR-3	AR	300	9618.706	11040	87	32.1
GR-4	AR	300	10555.773	11040	96	35.2
GR-5	AR	298	8978.068	10966	82	30.1
GR-6	AR	300	7948.996	11040	72	26.5
GR-7	AR	300	10729.482	11040	97	35.8
GR-8	AR	300	9083.71	11040	82	30.3
GR-9	AR	300	9431.018	11040	85	31.4
GR-10	AR	300	9639.52	11040	87	32.1
GR-11	AR	300	10551.67	11040	96	35.2
GR-12	AR	300	6713.94	11040	61	22.4

Las muestras secas, Tabla 1.4.3.2, presentan un promedio de 42 kilos representando aproximadamente el doble de la recuperación cuando la muestra está húmeda, como se muestra en la tabla Tabla 1.4.3.1.



Figura 1.4.3 Trabajos de sondajes de aire reverso a la izquierda. A la derecha se indican las bolsas con muestras.

Las muestras A presentan una distribución Gaussiana, la selección de 10 kilos está ligada a obtener el mínimo de error, debido a que no se cuenta con un test de heterogeneidad, permitiendo la optimización del proceso hasta llegar al análisis químico, Es decir, Total de muestra 29,7 kilos, reducir por cuarteos sucesivos hasta 10 kilos, luego, reducción por chancado hasta 1 kilo, pulverizar hasta obtener un (1 gr), para análisis químico en el caso del cobre.

Una restricción es que ninguna etapa del protocolo contribuya con un error de más de un 5% de varianza del error fundamental.

En cuanto a los errores fundamentales, para este servicio se encuentra fuera del alcance, sin embargo, con la toma de 10 kilos se asegura un mínimo de error fundamental.

Existen algunos tramos que no se alcanzó a la cantidad de muestras autoimpuesta, por lo que se privilegió la Muestra A, antes que la muestra B, y en otros, los menos, se envía el total de muestra, hasta 30 kilos, por altos contenidos de aguas.

Tabla 1.4.2 Índices de recuperación de material seco.

SONDAJE	TIPO	Perforado	Recuperado (Kg)	Recuperacion teorica (kg)	% Recuperado	PROMEDIO (Kg)
GR-1	SECO	86	2489.52	3164.8	79	28.9
GR-2	SECO	7	74.12	257.6	29	10.6
GR-3	SECO	86	8230.546	8979.2	92	95.7
GR-4	SECO	150	5674.433	5520	103	37.8
GR-5	SECO	123	3991.33	4526.4	88	32.4
GR-6	SECO	86	6220.316	8979.2	69	72.3
GR-7	SECO	86	2568.78	3201.6	80	29.9
GR-8	SECO	86	7624.72	8979.2	85	88.7
GR-9	SECO	123	4629.8	4526.4	102	37.6
GR-10	SECO	36	1154.49	1324.8	87	32.1
GR-11	SECO	60	2235.16	2208	101	37.3
GR-12	SECO	298	6676.88	10966.4	61	22.4

Tabla 1.4.3 Indices de recuperación de material con agua.

SONDAJE	TIPO	Perforado	Recuperado (Kg)	Recuperacion teorica (kg)	% Recuperado	PROMEDIO (Kg)
GR-1	AGUA	214	4393.31	7875.2	55.8	20.5
GR-2	AGUA	293	6877.95	10782.4	63.8	23.5
GR-3	AGUA	214	1439.92	2060.8	69.9	6.7
GR-4	AGUA	150	4881.34	5520	88.4	32.5
GR-5	AGUA	175	4986.738	6440	77.4	28.5
GR-6	AGUA	214	1856.66	2060.8	90.1	8.7
GR-7	AGUA	214	8160.702	7838.4	104.1	38.1
GR-8	AGUA	214	1646.69	2060.8	79.9	7.7
GR-9	AGUA	177	4801.218	6513.6	73.7	27.1
GR-10	AGUA	264	8485.03	9715.2	87.3	32.1
GR-11	AGUA	240	8316.51	8832	94.2	34.7
GR-12	AGUA	2	55.76	73.6	75.8	27.9

1.4.4 Geología

Las litologías identificadas corresponden a rocas volcanoclásticas, rocas volcánicas de composición intermedia a moderadamente ácidas, intruidas por intrusivos de composición intermedia. Como último evento se encuentran las vetas de cuarzo masivo, a veces lechoso. En la siguiente tabla se indican las litologías

LITOLOGIA
GRAVA
AGLOMERADO
ANDESITAS
DACITA
TRAQUITA
TOBA
DIORITA
DIQUE APLITICO
MONZODIORITA
MONZONITA
VETA DE CUARZO

Las rocas intrusivas son las más abundantes, con un 55%. Las rocas estratificadas de composición intermedia se presentan en un 26%, las tobas en un 12% y las estratificadas ácidas en un 4%. La gráfica 1.4.4.1 muestra la distribución porcentual de la tabla anterior.

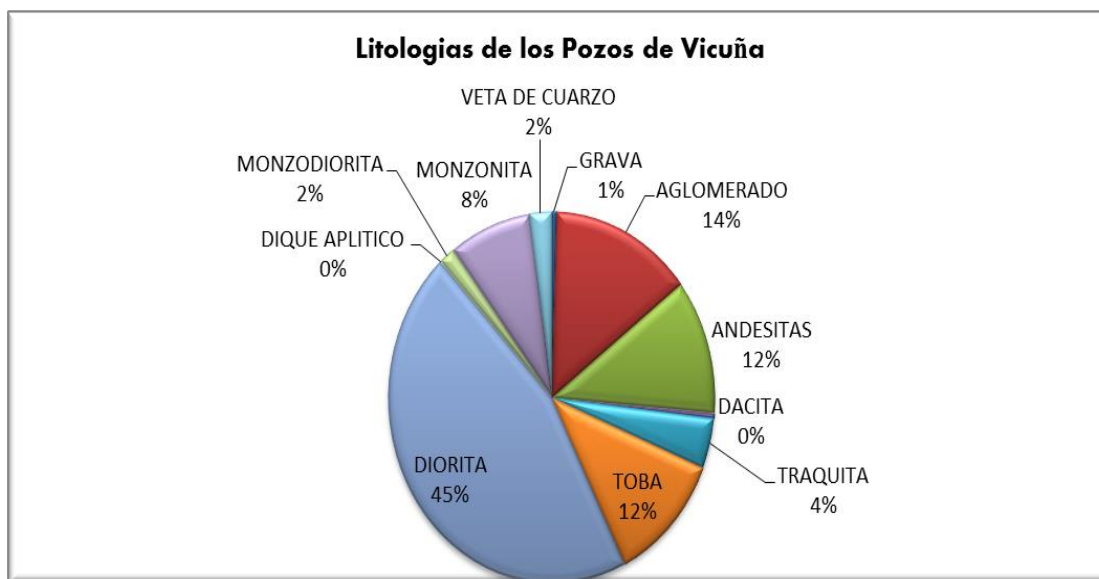


Figura 1.4.4 Distribución de litologías registradas por los sondajes de aire reverso.

El 17% de las rocas se encuentran lixiviadas, siendo las estratificadas las más afectas, que además de limonitas, presentan una alteración argílica expresada en la presencia de caolín y montmorillonita. La alteración Cuarzo sericita, se reconoce cuando existe una conjunción de abundante piritita y vetillas de cuarzo en la roca. En seguida se reconoce clorita como background con distintas asociaciones hasta alcanzar la epidota.

. El techo de Carbonato se relaciona con el techo de magnetita y el techo de epidota.

Tabla 1.4.4 Registro de minerales índices en los sondajes.

SONDAJES	TECHO SULFURO	PISO LIXIVIACION	TECHO CARBONATO	TECHO MAGNETITA	TECHO EPIDOTA	PISO GRAVA
GR-1	16	15		210	214	
GR-2	8	7		14	196	
GR-3	126	23		42		
GR-4	55	43		185	4	
GR-5	38	37	38	1	123	
GR-6	25	24	189	192	293	
GR-7	106	22	179	36	253	
GR-8	42	41	17	17		5
GR-9	15	14	83	38	38	1
GR-10	80	70	19	17	157	
GR-11	169	47	10	1	66	
GR-12	57	56	117	69	191	8

El área de trabajo presenta un background de pirita en vetillas y diseminados, algunas en cristales euhedrales, El sondaje Gr-4, es el único que presenta Calcopirita, pirita, blenda y galena muy marcada, con tramo de los 53 m a los 73 m.

1.4.5 Análisis (“XRF”)

A modo de apoyo al mapeo y control de algunos grupos litológicos, se realizaron análisis vía “Bruker Field XRF Analyser”, por un total de 52 elementos químicos. De estos últimos, la tabla 1.4.5.1, muestra los que lograron detectarse en la zona de estudio.

Tabla 1.4.5 Elementos detectados por el instrumento XRF en blanco. En amarillo se muestran los elementos que no son detectados por este instrumento.

Ag	Al2O3	As	Au	Ba	Bi	Br
CaO	Cd	Ce	Cl	Co	Cr	Cu
Fe2O3	Hf	Hg	I	In	Ir	K2O
MgO	MnO	Mo	Nb	Ni	Os	P2O5
Pb	Pd	Pt	Rb	Re	Rh	Ru
S	Sb	Sc	Se	SiO2	Sn	Sr
Ta	Te	Th	TiO2	U	V	W
Y	Zn	Zr				

La construcción de gráficos nos permite visualizar algunas características geológicas, tales como procesos supérgenos (ver figura 1.4.5.1), tomada del sondaje GR-01, donde el techo de sulfuros se alcanza en el metro 16, lo que podría indicar una zona de oxidación mixta donde la lixiviación ha sido parcial. Desde este gráfico se puede visualizar la disminución de calcio y potasio, el aumento de hierro (indicado por limonitas) y la concentración de cobre entre los metros 40-50.

En la figura 1.4.5.2 se muestra la marca de la litología de Brecha Silíceea registrada en el sondaje GR-02, con aumento notorio de sílice, disminución de cadmio y hierro.

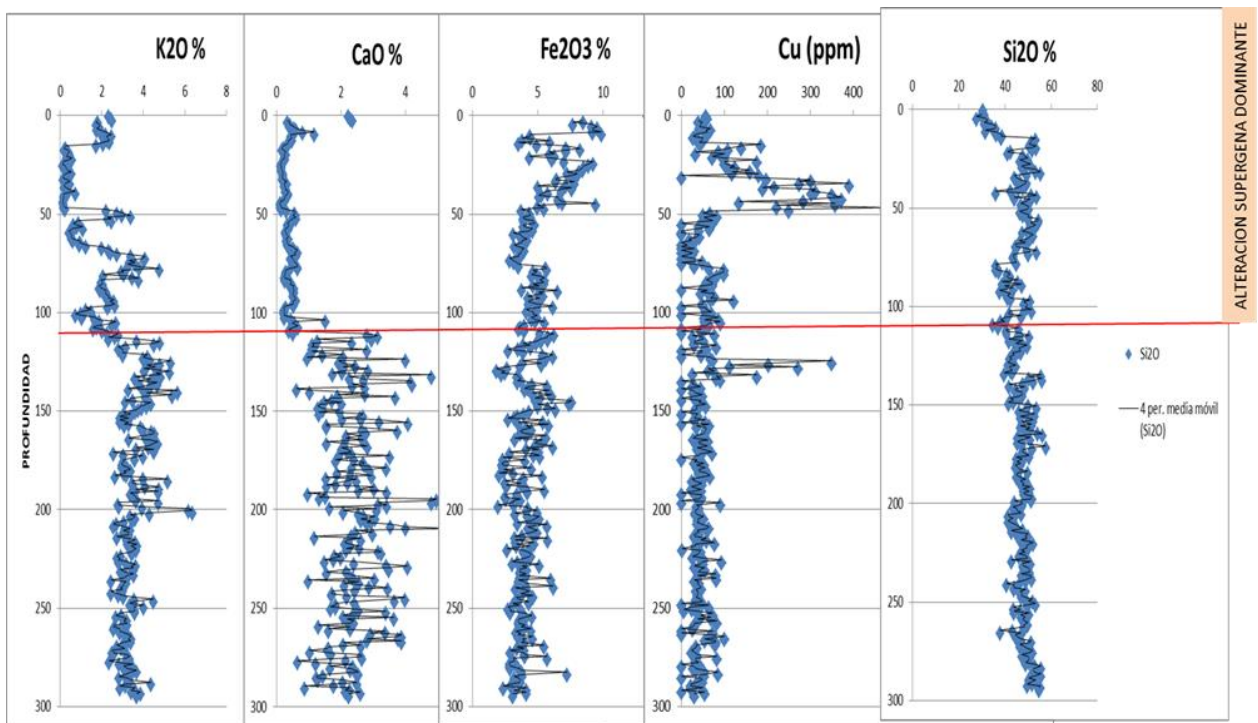


Figura 1.4.5 Gráfico de variación de elemento del sondaje GR-1

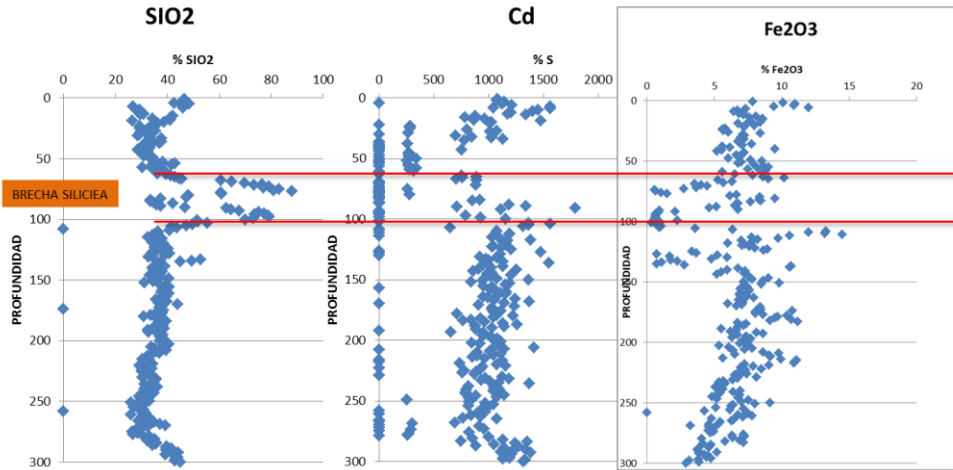


Figura 1.4.6 Gráfico de variación de elementos en el sondaje GR-2

En la figura 1.4.5.3 se muestra el análisis factorial de los sondajes. Las relaciones más cercanas se explican por el factor 1 entre los elementos mayores como el azufre, aluminio, calcio, fósforo y magnesio, sin embargo, no se observa con claridad algún grado de dependencia.

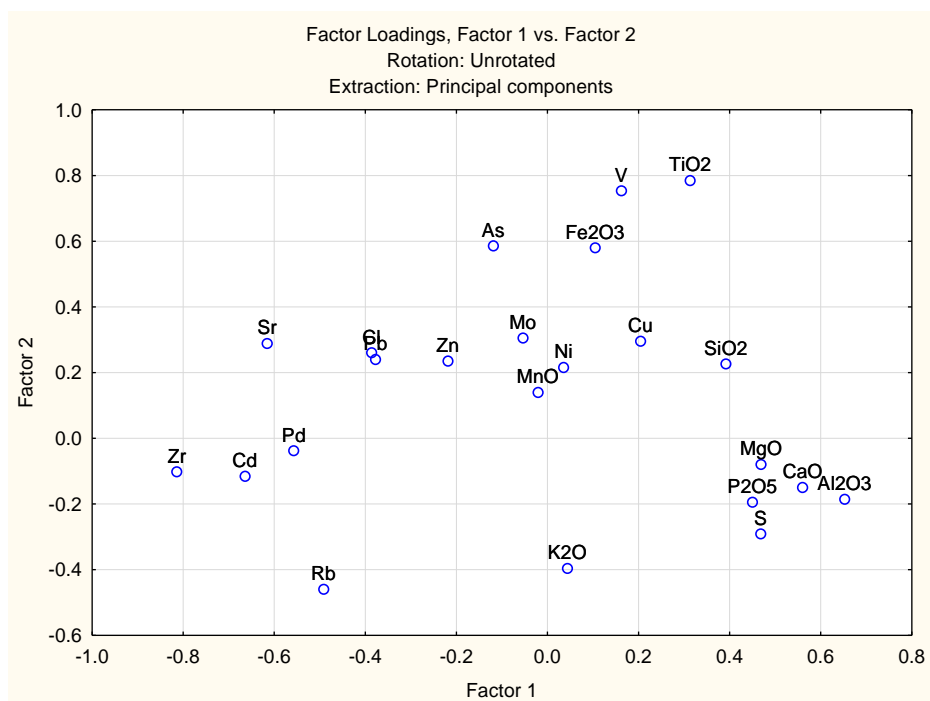


Figura 1.4.7 Análisis factorial de elementos para todos los sondajes.

1.4.6 Comparación de análisis FRX con Laboratorio Geoanalítica

En el Laboratorio Geoanalítica se analizaron 7 elementos, que llevados a un coeficiente de correlación con los FRX como se muestra en la tabla 1.4.6.1, se puede indicar que existe un alto grado de correspondencia en el cobre, arsénico y plomo, Figura 1.4.6.1.

Tabla 1.4.6 Coeficientes de correlación entre análisis con instrumento FRX e instrumento ICP utilizado por laboratorio Geoanalítica.

	CuTGEO	MoGEO	AgGEO	AsGEO	ZnGEO	PbGEO	AuGEO
CuFRX	0.96289832						
MoFRX		0.44900246					
AgFRX			0				
As FRX				0.88888865			
Zn FRX					0.60673739		
PbFRX						0.98233848	
AuFRX							0

De la misma forma, podemos indicar que existe una alta correspondencia con la plata y el oro al no ser detectados en ambos instrumentos o, en caso del oro, son valores en ppb. Para el caso del

molibdeno aproximadamente el 50% de los datos se encuentra bajo el límite de detección, por lo que podemos considerar que existe una alta correlación entre los dos métodos para Cu, Pb y As.

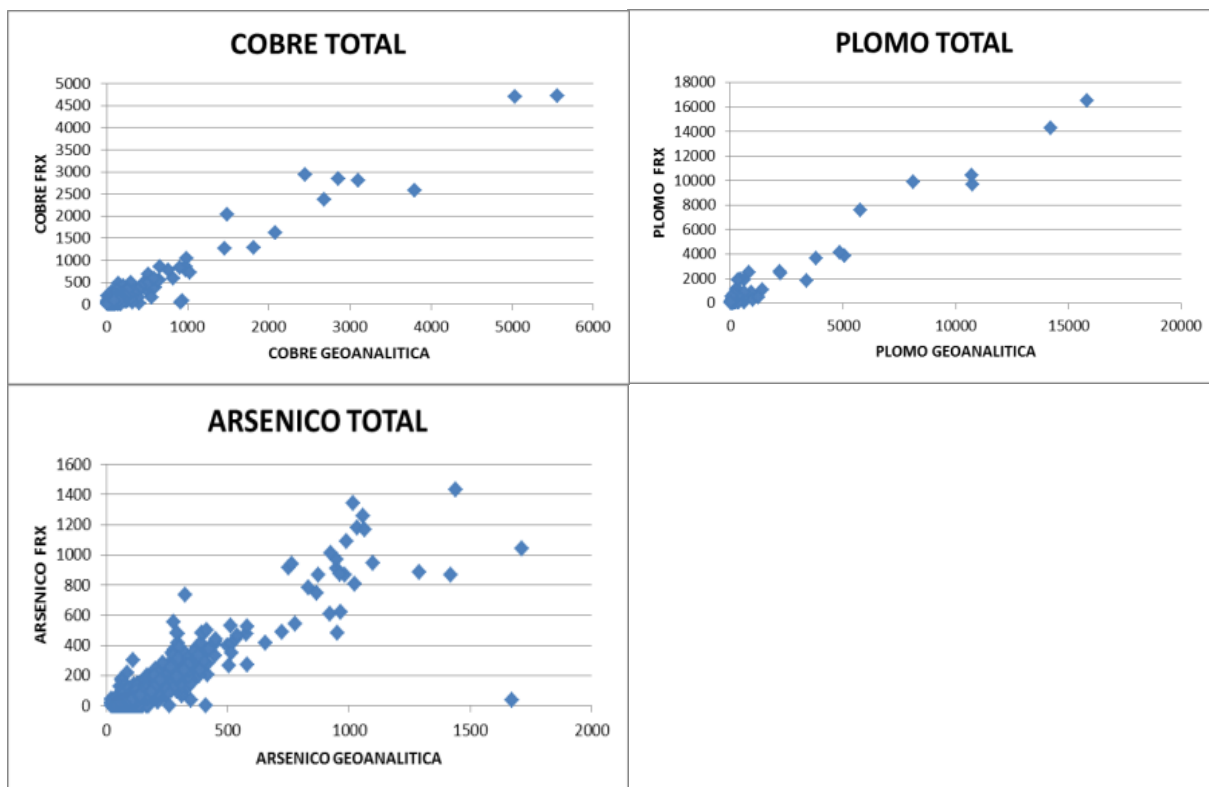
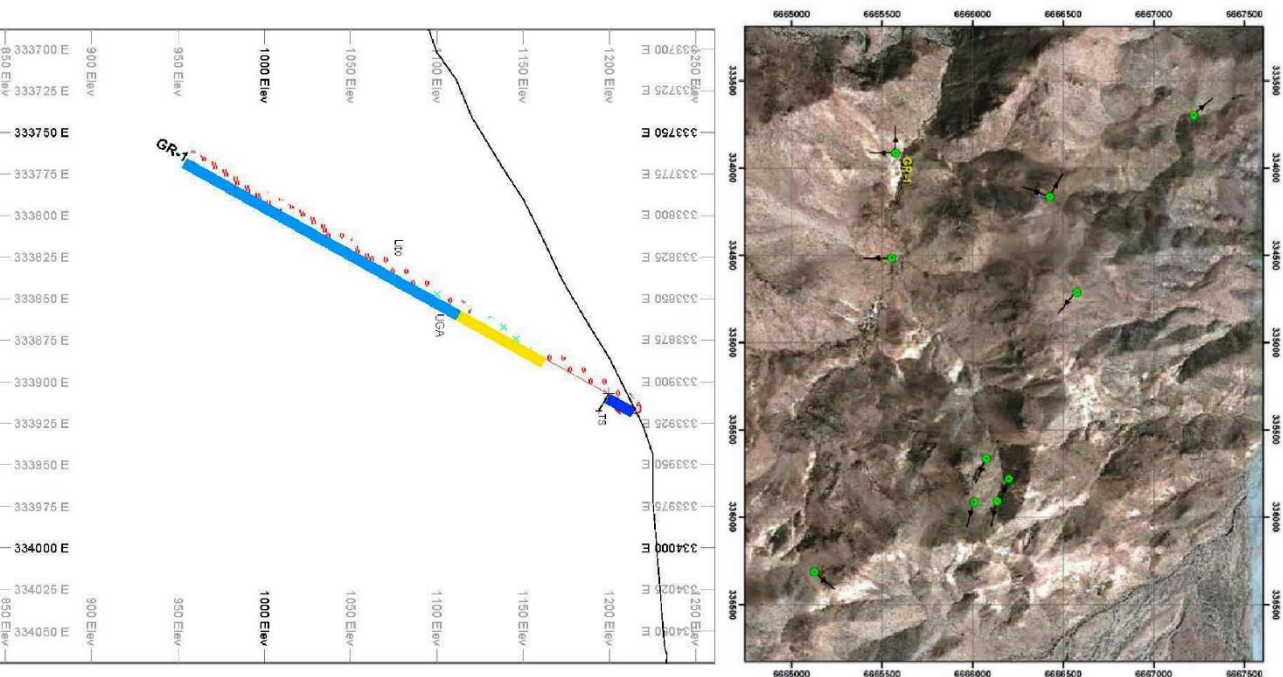
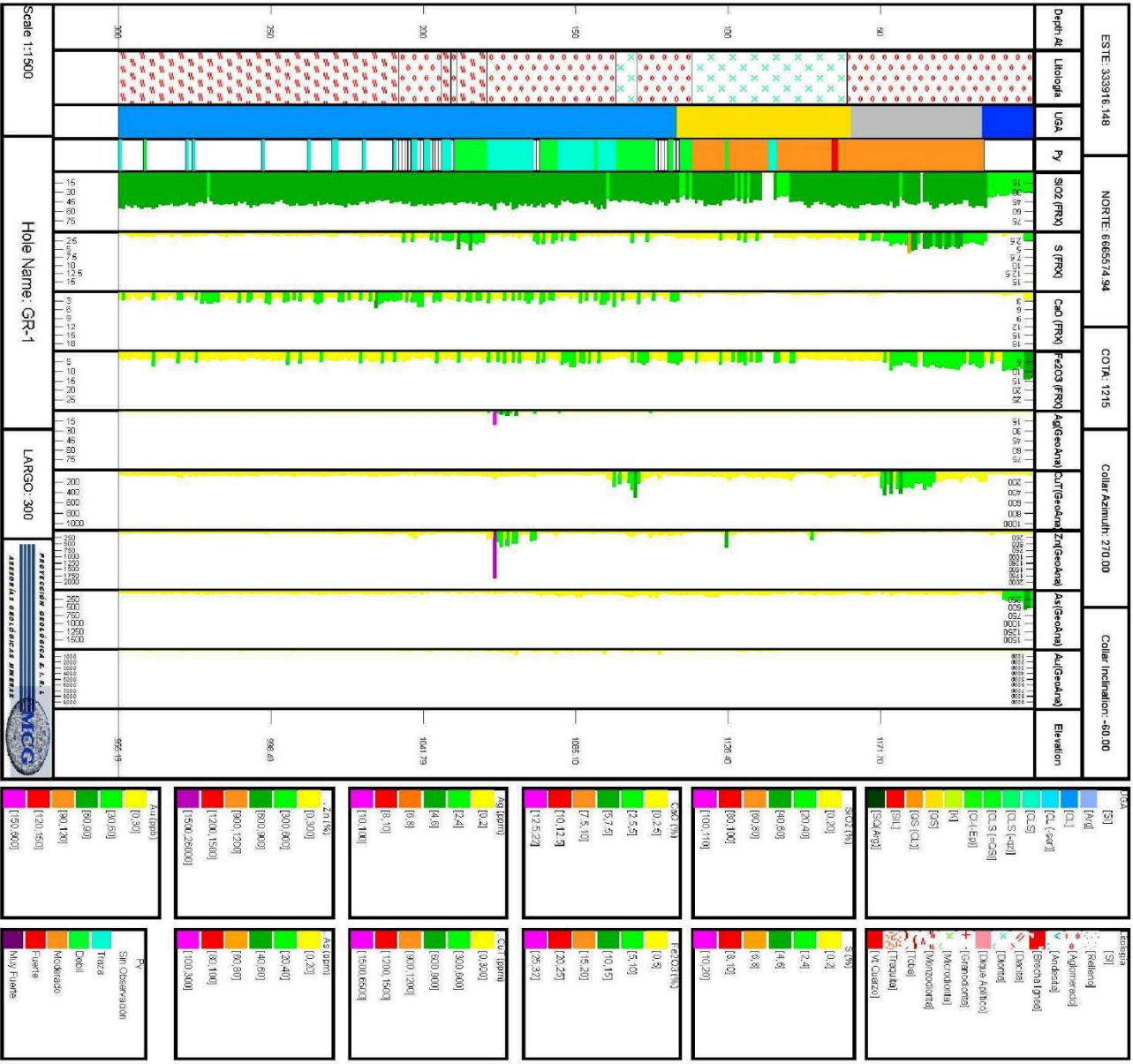
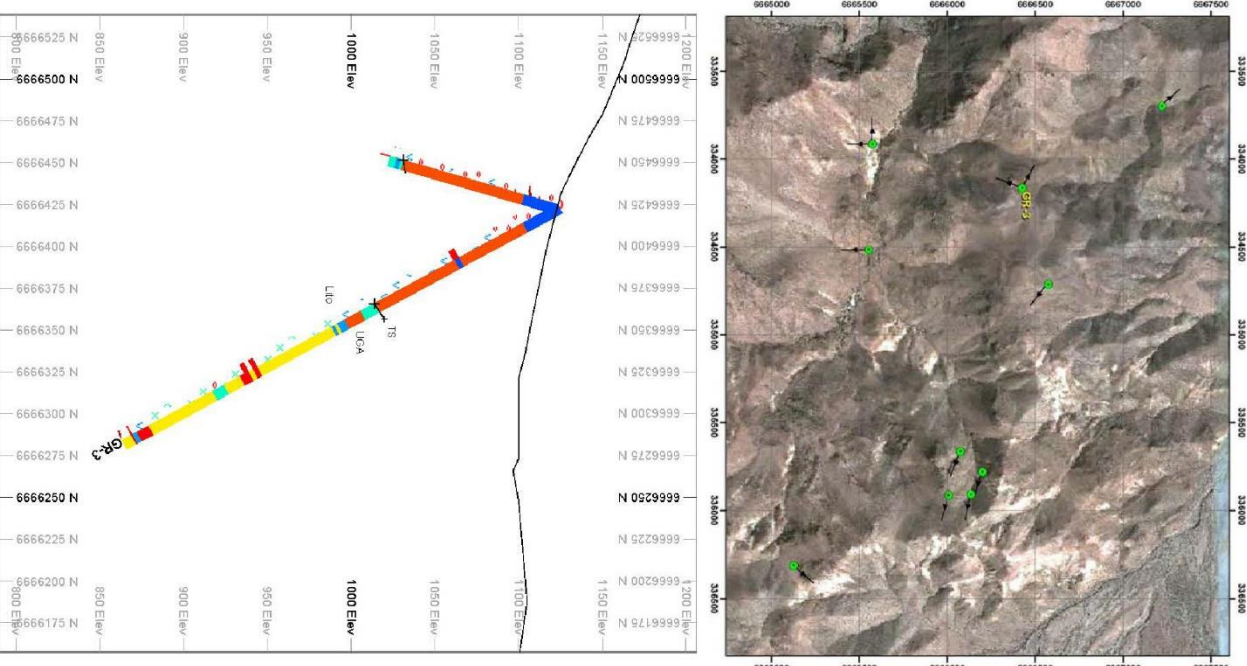
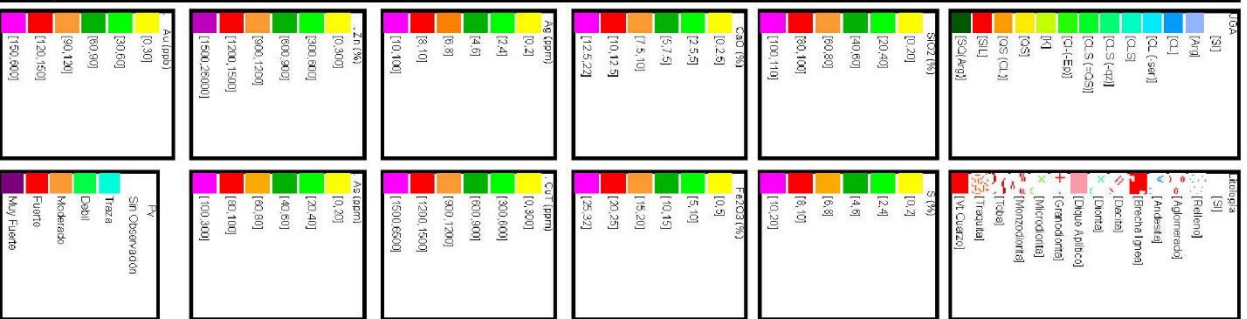
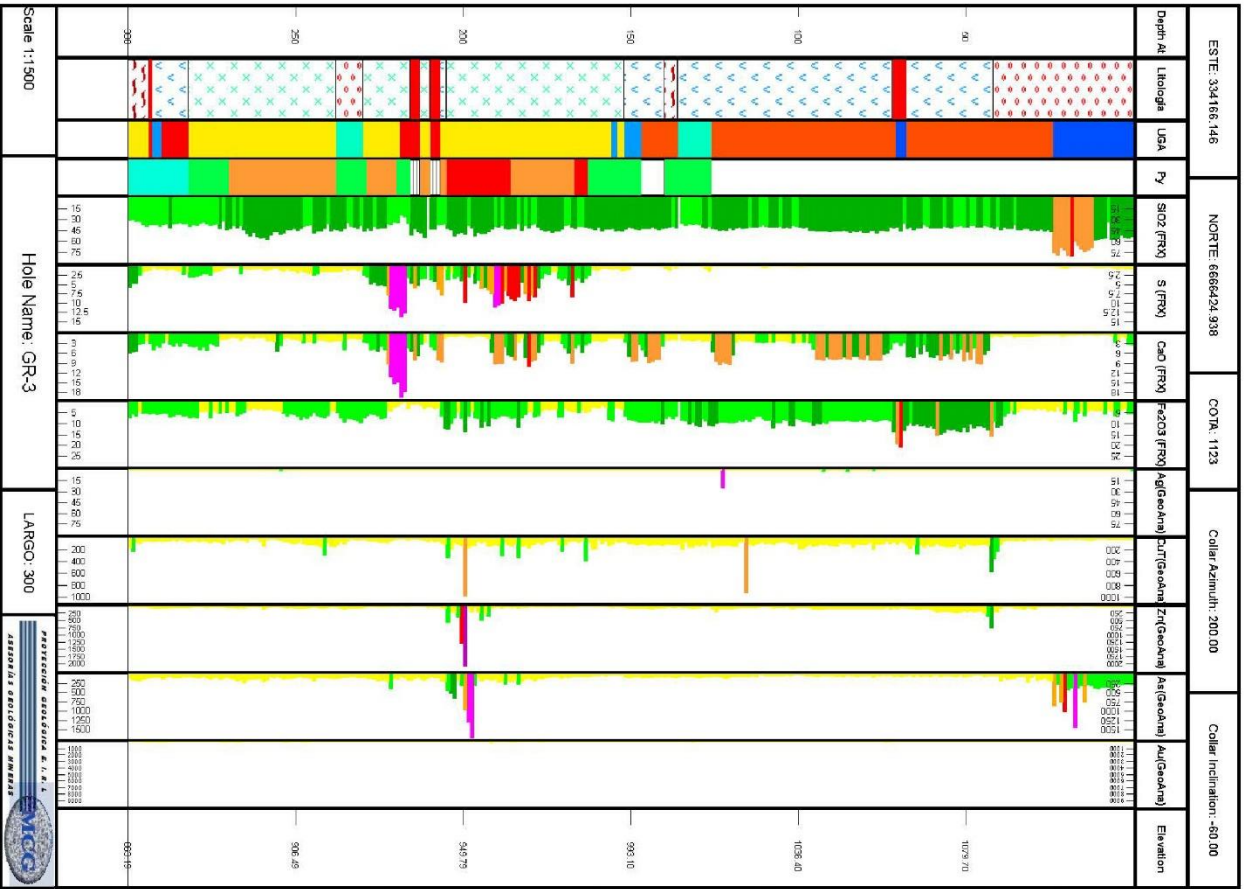


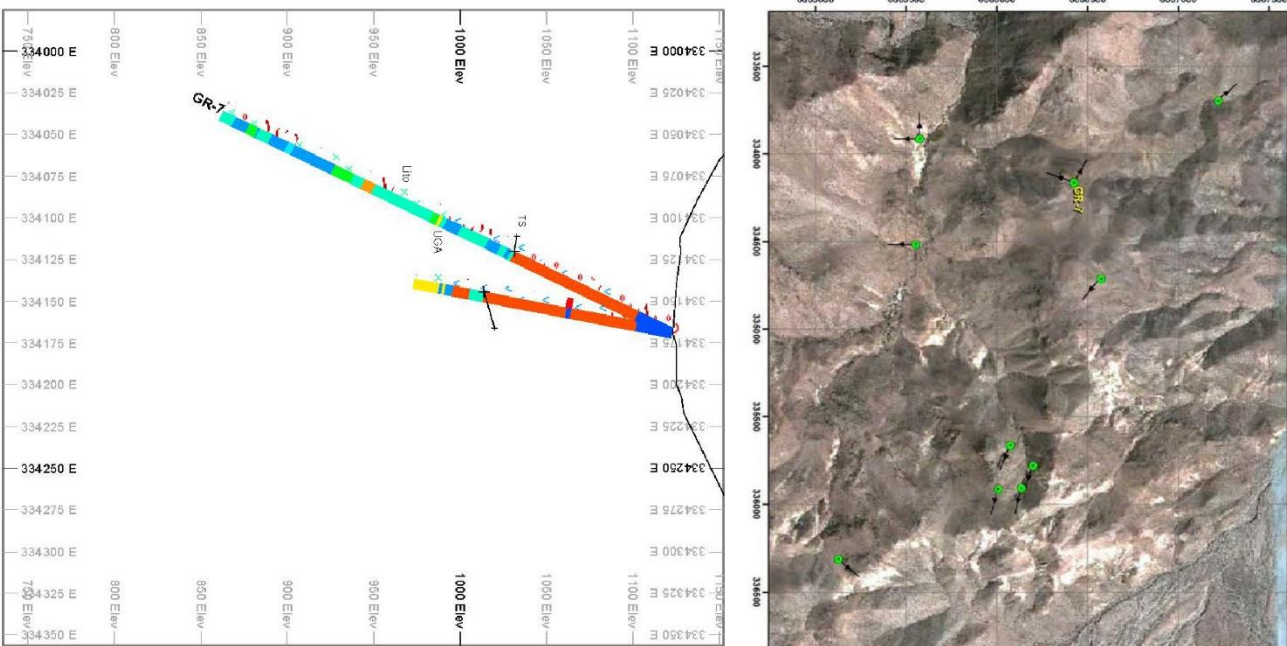
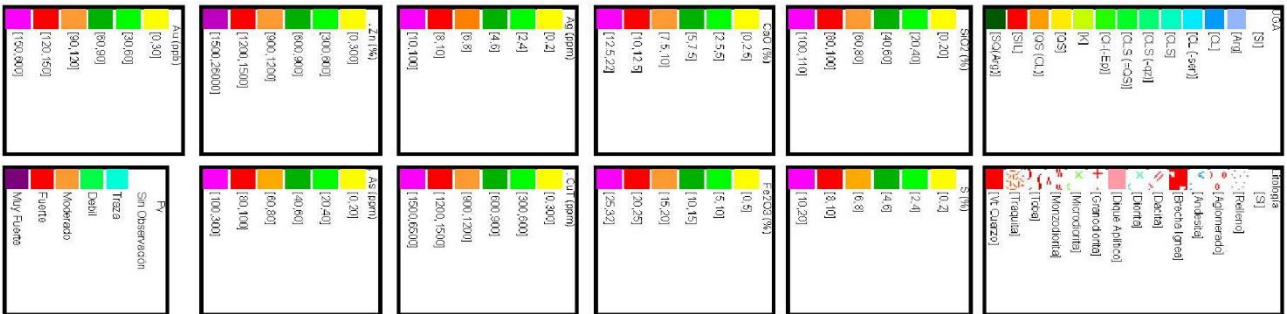
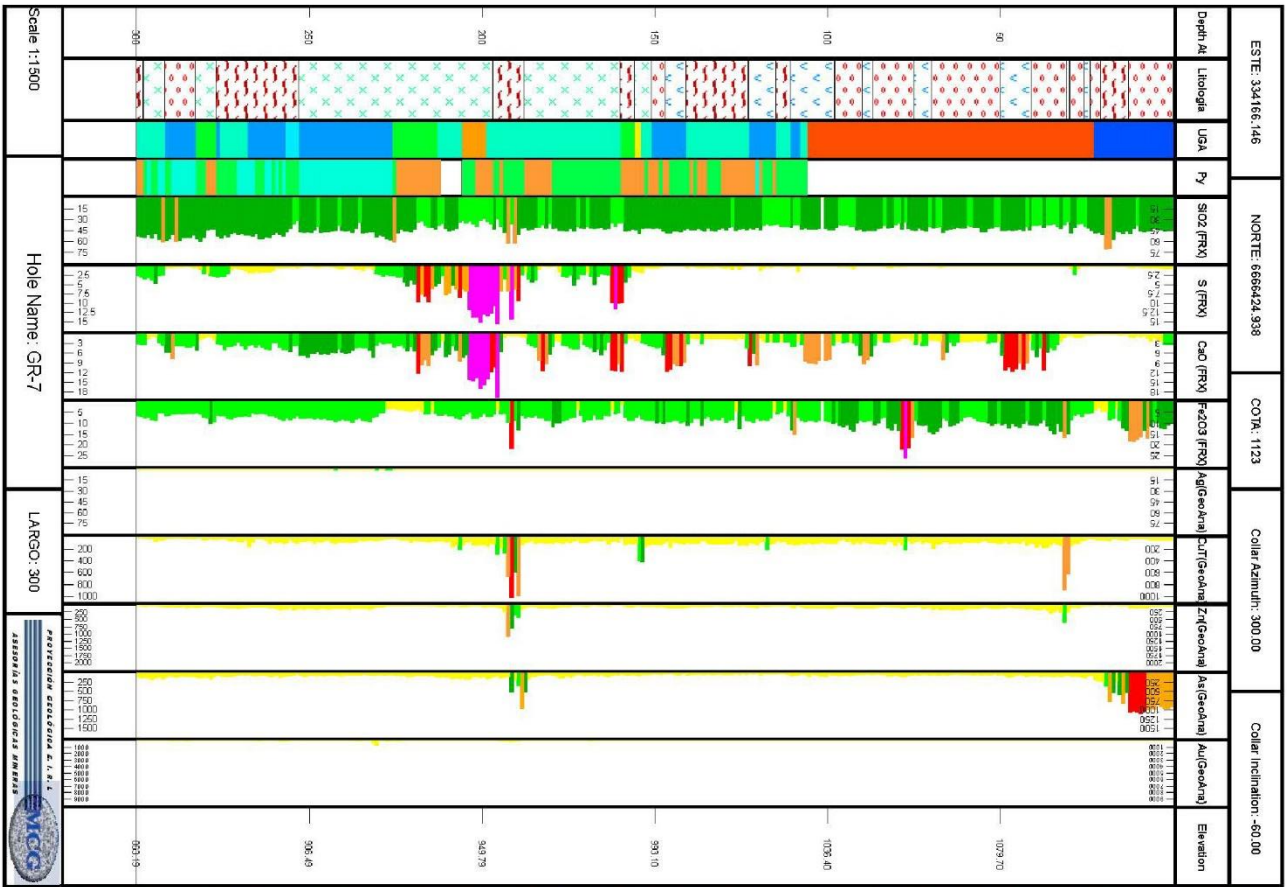
Figura 1.4.8 Correlación entre instrumentos de elementos seleccionados

Tabla 1.4.7 Resumen de estadísticas para valores de elementos seleccionados

	CuTGEO	CuFRX	ZnGEO	ZnFRX	PbGEO	PbFRX	MoGEO	MoFRX	AsGEO	AsFRX	AuGEO	AuFRX	AgGEO	AgFRX
Media	91.90	91.69	105	137	54	932	10.52	1.50	108	47	27	0	1.18	0
Error típico	3.11	3.08	7.8	20.5	8.3	210.0	0.07	0.25	1.76	1.63	3	0	0.037	0
Mediana	75	72	73	60	15	205.5	10	0	86	26	11	0	1	0
Moda	10	0	10	0	10	90	10	0	77	0	10	0	1	0
Desviación estándar	187	176	468	1232	498	2449	4	15	106	98	201	0	2	0
Varianza de la muestra	34789	30802	219470	1517050	248045	5995237	19	219	11163	9590	40429	0	5	0
Curtosis	441	382	1827	511	609	21	283	731	70	66	1343	#iDIV/0!	858	#iDIV/0!
Coefficiente de asimetría	19	18	38	22	23	4	15	22	7	7	34	#iDIV/0!	26	#iDIV/0!
Rango	5545	4720	23710	32100	15826	16490	114	586	1691	1430	9036	0	89	0
Mínimo	10	0	10	0	10	10	10	0	20	0	10	0	1	0
Máximo	5555	4720	23720	32100	15836	16500	124	586	1711	1430	9046	0	90	0
Suma	330639	297257	377966	491281	194404	126819	37847	5387	389142	169536	96819	0	4230	0
Cuenta	3598	3242	3598	3598	3598	136	3598	3598	3598	3592	3598	3586	3598	235
Nivel de confianza(95.0%)	6.1	6.0	15	40	16	415	0.14	0.48	3.5	3.2	6.6	0	0.07	0







PROYECTO GENESIS

GR-9

