



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

GEOQUÍMICA DE LAS UNIDADES INTRUSIVAS PRESENTES EN EL BLANCO DE  
EXPLORACIÓN PICARÓN Y SUS RELACIONES CON ALTERACIÓN  
HIDROTERMAL Y MINERALIZACIÓN, PROYECTO VICTORIA, REGIÓN DE  
ANTOFAGASTA

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE GEÓLOGA

PÍA FRANCISCA TOLEDO ZÁRATE

PROFESOR GUÍA:  
VÍCTOR MAKSAEV JURCHUC

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:  
BRIAN TOWNLEY CALLEJAS  
DAVID HOPPER

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por HOCHSCHILD MINING CHILE

SANTIAGO DE CHILE

2014

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR AL  
TÍTULO DE: Geóloga  
Por: Pía Francisca Toledo Zárate  
Fecha: Junio 2014  
Profesor guía: Víctor Maksaev Jurchuc

GEOQUÍMICA DE LAS UNIDADES INTRUSIVAS PRESENTES EN EL BLANCO DE  
EXPLORACIÓN PICARÓN Y SUS RELACIONES CON ALTERACIÓN HIDROTERMAL Y  
MINERALIZACIÓN, PROYECTO VICTORIA, REGIÓN DE ANTOFAGASTA

El blanco de exploración Picarón es uno de los proyectos de Cu-Mo (Au) dentro del Proyecto Victoria perteneciente a la minera Hochschild Chile SCM (MHC) en la Región de Antofagasta. El blanco está formado por un grupo de cuerpos intrusivos tabulares porfídicos de composición diorítica del Cretácico Tardío, emplazados en un paquete volcánico-sedimentario, correspondiente a la Formación Pajonales y Formación Candeleros, con alteración hidrotermal asociada. En superficie la alteración coincide con un sistema de pórfido cuprífero. En la zona se realizaron 6 sondajes de diamantina que interceptaron una falla de bajo ángulo a los 200 metros de profundidad en la vertical. Se definieron 8 intrusivos separados en pre mineral, mineral temprano, inter mineral, mineral tardío y post mineral, utilizando las vetillas encontradas como guía, además de 1552 análisis geoquímicos para 36 elementos más Au. Este trabajo consiste en un análisis estadístico univariable y multivariable a estos análisis, así como en la confección de secciones geológicas, utilizando los mapas y logueos hechos por los geólogos de la compañía, para así caracterizar las litologías ya definidas, encontrar diferencias y similitudes entre ellas y estudiar la relación con alteración y mineralización.

Los resultados, debido a la naturaleza de los análisis geoquímicos realizados, no son los óptimos para definir una huella geoquímica litológica para cada unidad, sin embargo, fue posible distinguir una diferencia en la composición litológica del intrusivo definido como pre mineral, la microdiorita, que tiene mayor afinidad con la asociación Mg, Sc, V y Cr. Los pórfidos definidos como mineral temprano y pre mineral, tienen las mayores leyes de Cu-Mo y se asocian bastante bien con la alteración potásica, los pórfidos definidos como inter mineral, son estos los que presentan la menor correlación de Cu y otros elementos. Los pórfidos mineral tardío, presentan las mayores leyes y correlaciones de Au, así como una alteración asociada propilítica. Finalmente los pórfidos post mineral, no presentan leyes significativas, ni alteraciones características. Además se reconocieron al menos dos eventos mineralizadores, el primero corresponde a uno de Cu, que está asociado a la alteración potásica, que afecta a los pórfidos pre mineral y mineral temprano, así como a la roca caja, siendo al parecer la más receptiva a este evento el paquete volcanoclástico. El segundo evento mineralizador corresponde a uno de Au que está asociado a los intrusivos mineral tardío, y a las alteraciones registradas como calcita y clorita y filica, sin embargo las leyes son bajas y están por muy poco sobre el umbral exploratorio recomendado. El resto de los pórfidos no presentan leyes interesantes por lo que deberían ser descartados para objetivos de exploración.

Finalmente, la ubicación del prospecto en un modelo de un sistema de pórfido cuprífero, sería en el límite entre las alteraciones potásicas y propilítica, sin embargo, la baja densidad de sondajes dificultó la confección de una zonación más exacta y por lo tanto de una relación entre prospecto y modelo. Para entender mejor la geometría de este pórfido, se recomienda un análisis estructural en la zona, ya que se desconoce la naturaleza exacta de la falla basal presente en el sistema, y es esta falla la que podría haber desplazado a lo que se conoce hoy del prospecto Picarón del resto del cuerpo mineralizado. Además, este estudio indica una posible vectorización de la mineralización hacia el W y no se descarta que este cuerpo mineralizado desconocido pudiera contener al núcleo de alteración potásica, que alcanzaría mayores leyes de Cu.

*“y pensar que para muchos, la tierra es tierra nomás”*

*Atahualpa Yupanqui*

*a mi familia, a mi cachorrito y a mi Mr.*

# Agradecimientos

Quisiera agradecer en primer lugar a Hochschild Mining Chile y a David Hopper, por darme la oportunidad, el apoyo y las facilidades para hacer este trabajo. Agradezco a todos los que compartieron conmigo, y me ayudaron de alguna u otra forma durante mi estadía en terreno y aquí en Santiago, especialmente a Henry Motta, un chiquito buena onda, que me enseñó todo lo que se de Picarón.

En segundo lugar quiero agradecer a mis profes, Víctor Maksaev y Brian Townley, por guiarme cuando no tenía idea que hacer y porque siempre tuvieron la mejor disposición para responder mis dudas. Gracias a la Blanca, porque siempre sabe qué hacer. Siempre.

Quiero agradecer al Danilo, al Pablo y a la Viki, porque estuvimos juntos cuatro meses en la pampa y sin ustedes hubiera sido mucho más fome. Gracias a mis amigos del colegio, que son pocos pero buenos, los que siempre han tenido más fe en mi que yo. Gracias a los chiquillos que conocí en los años más difíciles de plan común porque hacen que recuerde con una sonrisa. Gracias a los amigos que conocí en distintos lugares y distintas circunstancias y que siempre me dieron un escape y otro punto de vista, y muchas gracias, para siempre y para toda la vida, a mi curso de geo, los quiero muuuuucho y de todos me llevo los más lindos y divertidos recuerdos.

Muchísimas gracias a mi familia; a mi viejo porque me ha dejado ser quien quiero ser y porque estoy segura que va a leer esto entero, a mi vieja porque es la más sabia, la más intensa y sufrió más que yo con este trabajo, a mis hermanas porque no puedo imaginar un mundo sin ellas, a la Antonia, la más ridi, porque siempre me hace reír y todo con ella es más zen, y a la Paula porque sé que mientras ella esté en la tierra nunca voy a estar sola, porque aguantó este período sólida y porque me ha enseñado más de lo que cree. Espero que estén orgullosos, fueron muchos años, con sus altos y bajos, pero lo logré porque los tengo a ustedes detrás mío. Los amo con locura.

Gracias a mi nueva familia, a mi cachorrito Saxa, porque aunque no puede leer, es necesario que todos sepan que me cambiaste la vida, y hoy soy todo de lo que alguna vez me burlé pero ahora sé que no lo entendía, hoy me dicen loca, hoy te amo y hoy soy más feliz, y por último al hombre que conocí aquí en geo y con quien pasaré el resto de mi vida, gracias Leonardo por todo! por cuidarme, ayudarme, apoyarme, retarme, cocinarme, enseñarme latex, por amarme hasta cuando lo estaba perdiendo, porque de verdad sin ti no termino esto jamás, te amo Mr. Gracias.

# Tabla de contenido

Índice de tablas	ix
Índice de figuras	x
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Formulación del problema . . . . .	1
1.2. Objetivos . . . . .	5
1.2.1. Objetivos Generales . . . . .	5
1.2.2. Objetivos específicos . . . . .	5
1.3. Hipótesis de trabajo . . . . .	5
1.4. Metodología . . . . .	5
1.4.1. Metodología de Campo . . . . .	6
1.4.2. Metodología en Gabinete . . . . .	6
1.5. Ubicación y vías de acceso . . . . .	7
<b>2. Marco Geológico</b>	<b>8</b>
2.1. Marco Geológico y Tectónico Regional . . . . .	8
2.2. Rocas estratificadas . . . . .	10
2.2.1. Formación La Tabla CPlt (García (1967) <i>emend.</i> Cornejo <i>et al.</i> (1993))	10
2.2.2. Formación Quebrada del Salitre Trqs (Naranjo y Puig (1984) <i>emend.</i> Cornejo <i>et al.</i> (1993)) . . . . .	12
2.2.3. Formación Profeta Jp (Chong, 1973) . . . . .	12
2.2.4. Formación Candeleros Jsc (Naranjo y Puig, 1984) . . . . .	13
2.2.5. Estratos de Quebrada del Chaco Kiec (Venegas <i>et al.</i> , 2013) . . . . .	14
2.2.6. Formación Llanta Ksll (Frutos (1975) <i>emend.</i> Cornejo <i>et al.</i> (1993)) .	14
2.2.7. Estratos del Estanque Pie (Unidad informal Naranjo y Puig (1984) <i>emend.</i> Venegas <i>et al.</i> (2013)) . . . . .	15
2.2.8. Formación Pampa de Mulas Ompm (Chong, 1973) . . . . .	16
2.2.9. Complejo Volcánico el Chaco Mch (Naranjo y Puig, 1984) . . . . .	16

2.2.10.	Ignimbrita Río Frio Mirf (Naranjo y Puig, 1984)	17
2.2.11.	Ignimbrita Pajonales Mmp (Naranjo y Cornejo, 1992)	17
2.2.12.	Depósitos aluviales Plh(a)	18
2.2.13.	Depósitos de limos Plh(l)	18
2.2.14.	Depósitos antrópicos Han	18
2.3.	Rocas intrusivas	18
2.3.1.	Complejo plutónico Punta del Viento CPcpv (Naranjo y Puig (1984) emend. Venegas et al. (2013))	18
2.3.2.	Intrusivos hipabisales andesíticos de Sierra Candeleros Kshsc (Naranjo y Puig, 1984)	19
2.3.3.	Intrusivos hipabisales dacíticos del Cretácico Superior Kshd (Cornejo y Mpodozis, 1996)	19
2.3.4.	Intrusivos hipabisales del Paleoceno Inferior Pih (Unidad informal Venegas et al. (2013))	20
2.3.5.	Intrusivos hipabisales del Paleoceno Medio Pmh (Unidad informal Venegas et al. (2013))	20
2.3.6.	Intrusivos de Sierra Santa Ana Eisa (Unidad informal Venegas et al. (2013))	21
2.4.	Geología estructural	26
2.5.	Marco metalogénico	27
2.5.1.	Prospecto Vetas Negras	28
2.5.2.	Prospecto Vaquillas	28
2.5.3.	Prospecto Cenizas	28
2.5.4.	Prospecto Nueve Vidas	30
2.5.5.	Prospecto Incahuasi	30
2.5.6.	Prospecto Chaco	30
2.5.7.	Prospectos Victoria I y II	31
2.5.8.	Prospecto Picarón	31
<b>3.</b>	<b>Geología Local</b>	<b>32</b>
3.1.	Litología	32
3.1.1.	Clasificación de venillas	35
3.1.2.	Unidades Intrusivas	36
3.1.2.1.	Intrusivos Pre mineral	36
3.1.2.2.	Intrusivos Mineral Temprano	37
3.1.2.3.	Intrusivos Inter Mineral	40
3.1.2.4.	Intrusivos Mineral Tardío	40
3.1.2.5.	Intrusivos Post Mineral	44

3.1.3.	Unidades Estratificadas . . . . .	44
3.1.3.1.	Unidad Sedimentaria . . . . .	44
3.1.3.2.	Unidad Volcanoclastica . . . . .	45
3.1.3.3.	Unidad Tobas . . . . .	48
3.2.	Alteración Hidrotermal . . . . .	48
3.2.1.	Alteración Potásica . . . . .	49
3.2.2.	Alteración Calcosódica . . . . .	49
3.2.3.	Alteración Albitica . . . . .	49
3.2.4.	Alteración Fílica . . . . .	49
3.2.5.	Alteración Propilítica . . . . .	50
3.2.6.	Alteración Argílica . . . . .	50
<b>4.</b>	<b>Geoquímica</b>	<b>51</b>
4.1.	Análisis Estadístico . . . . .	51
4.1.1.	Fundamentos y objetivos del muestreo y análisis geoquímico . . . . .	52
4.1.2.	Control de calidad . . . . .	52
4.1.2.1.	Blancos . . . . .	53
4.1.2.2.	Estándar . . . . .	54
4.1.2.3.	Duplicados . . . . .	55
4.1.3.	Estadística univariable por elementos . . . . .	55
4.1.4.	Diagramas de caja . . . . .	57
4.1.5.	Análisis estadístico de poblaciones . . . . .	61
4.1.6.	Diagrama bivariante . . . . .	64
4.1.7.	Estadística multivariable . . . . .	68
4.1.7.1.	Análisis de correlaciones . . . . .	68
4.1.7.2.	Análisis de componentes principales . . . . .	71
<b>5.</b>	<b>Secciones geológicas</b>	<b>81</b>
5.1.	Secciones . . . . .	81
5.1.1.	Concentraciones de Cu . . . . .	81
5.1.2.	Concentraciones de Mo . . . . .	82
5.1.3.	Concentraciones de Au . . . . .	82
5.1.4.	Alteraciones . . . . .	82
<b>6.</b>	<b>Discusiones</b>	<b>96</b>
6.1.	Síntesis geológica . . . . .	96
6.2.	Geoquímica . . . . .	97
<b>7.</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>103</b>

<b>8. Bibliografía</b>	<b>106</b>
<b>Anexos</b>	<b>109</b>
<b>A. Tabla de estadística básica</b>	<b>110</b>
<b>B. Tablas de análisis de poblaciones</b>	<b>113</b>
<b>C. Tabla de analisis de componentes principales</b>	<b>116</b>
<b>D. Tablas de correlación de Pearson</b>	<b>119</b>

# Índice de tablas

3.1. Resumen de clasificación de venillas. Qz hial: cuarzo hialino, Py: pirita, Cpy: calcopirita, Mo: molibdenita, Qz lech: cuarzo lechoso, Mgt: magnetita, Sulf Cu: sulfuros de Cu, Ca: Calcita, Gy: yeso, r: recto, s: sinuoso, d: discontinuo/segmentado, Reg: regular y Irreg: irregular. . . . .	36
4.1. Valores obtenidos para los blancos analizados. . . . .	54
4.2. Valores obtenidos para los estándares analizados. . . . .	54
4.3. Valores obtenidos para los 3 tipos de duplicados analizados. DUPd corresponde al valor de $100 * [ ( x1-x2 ) / ((x1+x2)/2) ]$ . . . . .	56
4.4. Elementos excluidos del análisis estadístico por encontrarse la mitad de los resultados bajo el límite de detección. . . . .	56
4.5. Resultados de los análisis estadísticos univariados. . . . .	58
4.6. Resumen de análisis de poblaciones y umbral de exploración recomendado. . . . .	64
4.7. Resultados de los análisis de componentes principales. Se muestran los 8 componentes principales cuyos valores sobre el $\pm 0.5$ de correlación están destacados en color naranja y los valores entre 0.4 y 0.5 en color verde. . . . .	72
6.1. Resumen del análisis de componentes principales, se indica la componente principal (CP), la asociación mineralógica y a que tipo de factor corresponde. . . . .	100

# Índice de figuras

1.1. Imagen ASTER de la propiedad minera Victoria marcada en rojo, se distinguen las quebradas más importantes y la estrella amarilla marca la ubicación del prospecto Picarón. . . . .	2
1.2. Imagen QUICKBIRD del sector Picarón. Se observa la ubicación de los 6 sondajes hechos en la zona por MHC. (Datos de sondajes propiedad de Minera Hochschild Chile SCM). . . . .	3
1.3. Imagen con la ubicación de la propiedad minera y caminos de la zona. En negro se encuentra la ruta 5, en amarillo la ruta B-885 y en verde vías de tercer orden (imagen tomada de Google Earth). . . . .	7
2.1. Mapa de estructuras y depósitos más importantes, se destacan el Sistema de Fallas de Domeyko el Sistema de Fallas de Atacama y la propiedad minera en rojo. Imagen modificada de <a href="#">Contact Financial Corp (2012)</a> . . . . .	9
2.2. Mapa Morfoestructural que incluye las unidades geomorfológicas, el Sistema de Fallas de Domeyko y la propiedad minera. Imagen modificada de <a href="#">Venegas et al. (2013)</a> . . . . .	11
2.3. Mapa geológico de la zona de estudio, la simbología y leyenda se encuentran en las siguientes páginas. Modificado de <a href="#">Venegas et al. (2013)</a> . . . . .	23
2.4. Ubicación de los prospectos existentes en el Proyecto Victoria (imagen tomada de <a href="#">Hub y Muñoz (2011)</a> ). . . . .	29
3.1. Mapa geológico del blanco de exploración Picarón. Realizado por geólogos MHC.	33
3.2. Mapa de alteración del blanco de exploración Picarón. Realizado por geólogos MHC. . . . .	34
3.3. Muestra del sondaje VPIDD11004 entre los 40.8 y 41 m. Corresponde a una microdiorita en la que se destacan las venillas presentes (figura tomada de <a href="#">Dávila (2012)</a> ). . . . .	37

3.4. (A) Muestra del sondaje VPIDD12020 entre los 333.9 y 334.2 m. Corresponde al Pórfido Biotítico en la que se ve la textura porfírica característica. Presenta alteración sericítica, clorita selectiva a minerales máficos y albita en los bordes de venillas. (B) Muestra del sondaje VPIDD12020 entre los 394.7 y 394.9 m. Corresponde al Pórfido Biotítico en la que se destacan las venillas presentes (figura tomada de <a href="#">Dávila (2012)</a> ).	38
3.5. (A) Muestra del sondaje VPIDD11001 entre los 442 y 442.15 m. Corresponde al Pórfido Picarón en la que se ve la textura equigranular característica y la alta densidad de venillas. Presenta alteración albita intensa, sericita sobrepuesta y parches de biotita secundaria. (B) Muestra del sondaje VPIDD11001 entre los 86 y 86.15 m. Corresponde al Pórfido Picarón en la que se destacan las venillas presentes (figura tomada de <a href="#">Dávila (2012)</a> ).	39
3.6. (A) Muestra del sondaje VPIDD11001 entre los 230.05 y 210.2 m. Corresponde al Pórfido Plumoso en la que se ve la textura característica con minerales máficos orientados. (B) Muestra del sondaje VPIDD11001 entre los 210.9 y 211 m. Corresponde al Pórfido Plumoso en la que se destacan las venillas presentes (figura tomada de <a href="#">Dávila (2012)</a> ).	41
3.7. (A) Muestra del sondaje VPIDD11003 entre los 114.1 y 114.3 m. Corresponde al Pórfido Feldespático en la que se ve la textura porfírica característica y la baja presencia de minerales máficos. Presenta alteración fílica. (B) Muestra del sondaje VPIDD11003 entre los 216.35 y 216.5 m. Corresponde al Pórfido Feldespático en la que se destacan las venillas presentes (figura tomada de <a href="#">Dávila (2012)</a> ).	42
3.8. Muestra del sondaje VPIDD12020 entre los 301.45 y 301.55 m. Corresponde al Pórfido Plumoso 2 en la que se destaca la textura con minerales máficos orientados, granos más pequeños que el Pórfido Plumoso y presencia de xenolitos (figura tomada de <a href="#">Dávila (2012)</a> ).	43
3.9. Muestra del sondaje VPIDD12020 entre los 33 y 33.4 m. Corresponde al Pórfido Equigranular Fino en la que se destaca la textura porfírica con tamaño de grano menos al Pórfido Picarón y matriz de grano fino con alteración albita (figura tomada de ( <a href="#">Dávila, 2012</a> )).	43
3.10. Muestra del sondaje VPIDD11003 entre los 458 y 458.15 m. Corresponde a los diques y sills andesíticos, en la que se destaca un tipo de venilla. Presenta alteración propilitica (figura tomada de ( <a href="#">Dávila, 2012</a> )).	44
3.11. Muestra del sondaje VPIDD11004 entre los 150 y 151.15 m. Corresponde al Pórfido Ocoítico en la que se destaca la textura característica con fenocristales de plagioclasas de hasta 1 cm.	45

3.12. (A)Muestra del sondaje VPIDD11002 entre los 410 y 410.3 m. Corresponde a la roca caja sedimentaria de grano fino con buena selección con niveles clásticos polimícticos como se ve en (B) que corresponde a muestra de entre 410.5 y 410.7 m del mismo sondaje. . . . .	46
3.13. Muestra del sondaje VPIDD12020 entre los 41.15 y 41.35 m. Corresponde a la roca caja volcanoclástica cloritizada. Presenta clastos angulosos y polimícticos de composición andesítica y sedimentaria en una masa fundamental de líticos y cristales. . . . .	47
3.14. Muestra del sondaje VPIDD11002 entre los 100 y 100.1 m. Corresponde a una toba vítrea muy fracturada de color rosado pálido con cristales de plagioclasas cloritizadas. . . . .	48
4.1. Diagrama que explica los conceptos de precisión y exactitud de los datos. . .	53
4.2. Diagramas de caja para elementos mayores en las litologías ya definidas en el prospecto Picarón. CONT BX: brecha contacto, FAULT BX: brecha contacto, MDRT: microdiorita, PORF BIOT: pórfido Biotítico, PORF EQUIG: pórfido Picarón, PORF EQUIG FINO: pórfido Equigranular Fino, PORF FELD: pórfido Feldespático, PORF OCOIT: pórfido Ocoitico, PORF PLUM: pórfido Plumoso, PORF PLUM 2: pórfido Plumoso 2, SEDI: unidad Sedimentaria, TUFF: unidad Tobas, VCL: unidad Volcanoclástica. . . . .	59
4.3. Diagramas de caja para elementos mayores en las litologías ya definidas en el prospecto Picarón. CONT BX: brecha contacto, FAULT BX: brecha contacto, MDRT: microdiorita, PORF BIOT: pórfido Biotítico, PORF EQUIG: pórfido Picarón, PORF EQUIG FINO: pórfido Equigranular Fino, PORF FELD: pórfido Feldespático, PORF OCOIT: pórfido Ocoitico, PORF PLUM: pórfido Plumoso, PORF PLUM 2: pórfido Plumoso 2, SEDI: unidad Sedimentaria, TUFF: unidad Tobas, VCL: unidad Volcanoclástica. . . . .	60
4.4. Diagramas de caja para elementos de interés económico en las litologías ya definidas en el prospecto Picarón. CONT BX: brecha contacto, FAULT BX: brecha contacto, MDRT: microdiorita, PORF BIOT: pórfido Biotítico, PORF EQUIG: pórfido Picarón, PORF EQUIG FINO: pórfido Equigranular Fino, PORF FELD: pórfido Feldespático, PORF OCOIT: pórfido Ocoitico, PORF PLUM: pórfido Plumoso, PORF PLUM 2: pórfido Plumoso 2, SEDI: unidad Sedimentaria, TUFF: unidad Tobas, VCL: unidad Volcanoclástica. . . . .	62

4.5. Diagramas de caja para elementos de interés económico en las alteraciones ya definidas en el prospecto Picarón. AB: albitización, AR: alteración argílica, CA: calcita, CL: clorita, LCH: lixiviación, PO: alteración potásica, PR: alteración propilítica, PYL: alteración fílica, SE: sericita, SI: silicificación, UA: roca no alterada. . . . .	63
4.6. Diagrama bivariante que grafica la tendencia geoquímica a la alteración potásica (K/Al) vs la albitización ((Na+K)/Al). AB: albitización, PO: alteración potásica. . . . .	65
4.7. Diagrama bivariante que grafica la tendencia geoquímica a la alteración potásica (K/Al) vs la albitización ((Na+K)/Al). AB: albitización, CL: clorita, PO: alteración potásica, PR: alteración propilítica, PYL: alteración fílica, SE: sericita, SI: silicificación, MDRT: microdiorita, PORF EQUIG: pórfido Picarón, PORF EQUIG FINO: pórfido Equigranular Fino, PORF PLUM 2: pórfido Plumoso 2. . . . .	66
4.8. Diagrama bivariante que grafica la tendencia geoquímica a la alteración potásica (K/Al) vs la albitización ((Na+k)/Al). AB: albitización, CL: clorita, PR: alteración propilítica, SE: sericita, SI: silicificación, PORF BIOT: pórfido Biotítico, SEDI: sedimentario, VCL: volcanoclástico. . . . .	67
4.9. Selección de resultados de correlaciones entre los elementos para todas las litologías presentes en el blanco de exploración Picarón. . . . .	69
4.10. Selección de resultados de correlaciones entre los elementos para todas los intrusivos presentes en el blanco de exploración Picarón. . . . .	69
4.11. Selección de resultados de correlaciones entre los elementos para todas las rocas estratificadas presentes en el blanco de exploración Picarón. . . . .	70
4.12. Selección de resultados de correlaciones entre los elementos de interés para los distintos grupos de intrusivos. . . . .	70
4.13. Gráfico PC1 vs Litología. Los valores de PC1 fueron calculados como: $Al^{*0.879} + K^{*0.702} + Na^{*0.509} + P^{*0.604} + Sr^{*0.624} + Ti^{*0.765} + V^{*0.694} + Zn^{*0.681}$ . CONT BX: brecha contacto, FAULT BX: brecha contacto, MDRT: microdiorita, PORF BIOT: pórfido Biotítico, PORF EQUIG: pórfido Picarón, PORF EQUIG FINO: pórfido Equigranular Fino, PORF FELD: pórfido Feldespático, PORF PLUM: pórfido Plumoso, PORF PLUM 2: pórfido Plumoso 2, SEDI: unidad Sedimentaria, TUFF: unidad Tobas, VCL: unidad Volcanoclástica. . . . .	73

- 4.14. Gráfico PC2 vs Litología. Los valores de PC2 fueron calculados como:  $Au*0.823 + Cr*0.76 + Ni*0.752 + P*0.739 + As*0.492 + Zn*0.423$ . CONT BX: brecha contacto, FAULT BX: brecha contacto, MDRT: microdiorita, PORF BIOT: pórfido Biotítico, PORF EQUIG: pórfido Picarón, PORF EQUIG FINO: pórfido Equigranular Fino, PORF FELD: pórfido Feldespático, PORF PLUM: pórfido Plumoso, PORF PLUM 2: pórfido Plumoso 2, SEDI: unidad Sedimentaria, TUFF: unidad Tobas, VCL: unidad Volcanoclástica. . . . . 74
- 4.15. Gráfico PC2 vs Alteración. Los valores de PC2 fueron calculados como:  $Au*0.823 + Cr*0.76 + Ni*0.752 + P*0.739 + As*0.492 + Zn*0.423$ . AB: albitización, AR: alteración argílica, CA: calcita, CL: clorita, LCH: lixiviación, PO: alteración potásica, PR: alteración propilítica, PYL: alteración filica, SE: sericita, SI: silicificación, UA: roca no alterada . . . . . 75
- 4.16. Gráfico PC3 vs Litología. Los valores de PC3 fueron calculados como:  $As*0.499 + Cu*0.648 + Fe*0.833 + S*0.783$ . El gráfico presenta el eje Y en base logarítmica para facilitar su interpretación. CONT BX: brecha contacto, DIK AND: dique andesítico, FAULT BX: brecha contacto, HYD BX: brecha hidrotermal, MDRT: microdiorita, PORF BIOT: pórfido Biotítico, PORF EQUIG: pórfido Picarón, PORF EQUIG FINO: pórfido Equigranular Fino, PORF FELD: pórfido Feldespático, PORF OCOIT: pórfido Ocoitico, PORF PLUM: pórfido Plumoso, PORF PLUM 2: pórfido Plumoso 2, SEDI: unidad Sedimentaria, TUFF: unidad Tobas, VCL: unidad Volcanoclástica. . . . . 76
- 4.17. Gráfico PC3 vs Alteración. Los valores de PC3 fueron calculados como:  $As*0.499 + Cu*0.648 + Fe*0.833 + S*0.783$ . El gráfico presenta el eje Y en base logarítmica para facilitar su interpretación. AB: albitización, AR: alteración argílica, CA: calcita, CL: clorita, LCH: lixiviación, PO: alteración potásica, PR: alteración propilítica, PYL: alteración filica, SE: sericita, SI: silicificación, UA: roca no alterada . . . . . 77
- 4.18. Gráfico PC4 vs Litología. Los valores de PC4 fueron calculados como:  $Mg*0.667 + Sc*0.826 + V*0.583 + Cr*0.472$ . CONT BX: brecha contacto, DIK AND: dique andesítico, FAULT BX: brecha contacto, HYD BX: brecha hidrotermal, MDRT: microdiorita, PORF BIOT: pórfido Biotítico, PORF EQUIG: pórfido Picarón, PORF EQUIG FINO: pórfido Equigranular Fino, PORF FELD: pórfido Feldespático, PORF OCOIT: pórfido Ocoitico, PORF PLUM: pórfido Plumoso, PORF PLUM 2: pórfido Plumoso 2, SEDI: unidad Sedimentaria, TUFF: unidad Tobas, VCL: unidad Volcanoclástica. . . . . 78

4.19. Gráfico PC5 vs Alteración. Los valores de PC5 fueron calculados como: $Co*0.793 + Mn*0.906 + Ni*0.374$ . AB: albitización, AR: alteración argílica, CA: calcita, CL: clorita, LCH: lixiviación, PO: alteración potásica, PR: alteración propilítica, PYL: alteración fílica, SE: sericita, SI: silicificación, UA: roca no alterada . . . . .	79
4.20. Gráfico PC6 vs Alteración. Los valores de PC6 fueron calculados como: $Ca*0.875 + Sr*0.425$ . AB: albitización, AR: alteración argílica, CA: calcita, CL: clorita, LCH: lixiviación, PO: alteración potásica, PR: alteración propilítica, PYL: alteración fílica, SE: sericita, SI: silicificación, UA: roca no alterada . . . . .	79
4.21. Gráfico PC7 vs Alteración. Los valores de PC7 fueron calculados como: $Ba*0.565 + La*0.804$ . AB: albitización, AR: alteración argílica, CA: calcita, CL: clorita, LCH: lixiviación, PO: alteración potásica, PR: alteración propilítica, PYL: alteración fílica, SE: sericita, SI: silicificación, UA: roca no alterada . . . . .	80
5.1. Sección norte vs concentraciones de Cu . . . . .	83
5.2. Sección central vs concentraciones de Cu . . . . .	84
5.3. Sección sur vs concentraciones de Cu . . . . .	85
5.4. Sección norte vs concentraciones de Mo . . . . .	86
5.5. Sección central vs concentraciones de Mo . . . . .	87
5.6. Sección sur vs concentraciones de Mo . . . . .	88
5.7. Sección norte vs concentraciones de Au . . . . .	89
5.8. Sección central vs concentraciones de Au . . . . .	90
5.9. Sección sur vs concentraciones de Au . . . . .	91
5.10. Sección norte vs alteraciones. CL: clorita, IA: argilización intermedia, PO: alteración potásica, PR: alteración propilítica, PYL: alteración fílica, SE: sericita, SI: silicificación. . . . .	93
5.11. Sección central vs alteraciones. AB: albita, CA: calcita, CL: clorita, LCH: lixiviación, PO: alteración potásica, PR: alteración propilítica, PYL: alteración fílica, SE: sericita, SI: silicificación, UA: sin alteración. . . . .	94
5.12. Sección sur vs alteraciones. AB: albita, AR: argilización, CA: calcita, CL: clorita, OX: oxidación, PO: alteración potásica, PR: alteración propilítica, PYL: alteración fílica, SE: sericita, SI: silicificación. . . . .	95
6.1. Anatomía de un sistema pórfido cuprífero, la cual evidencia las relaciones espaciales entre un centro de Cu-Mo-Au y la roca caja. Se ubicó al prospecto Picarón en el esquema. Imagen modificada de <a href="#">Sillitoe (2010)</a> . . . . .	101
6.2. Esquema de la anatomía de un sistema pórfido cuprífero, que muestra las zonaciones por alteración. Se ubicó al prospecto Picarón en la imagen. Imagen modificada de <a href="#">Sillitoe (2010)</a> . . . . .	102



# Capítulo 1

## Introducción

### 1.1. Formulación del problema

El blanco de exploración Picarón es uno de los proyectos de Cu-Mo (Au) dentro del Proyecto Victoria perteneciente a la minera Hochschild Chile SCM (MHC) en la Región de Antofagasta. El blanco se ubica en el sector centro-oeste de la propiedad minera Victoria entre los 463800-464800E y los 7189400-7190800N aproximadamente (figura 1.1), y está formado por un grupo de cuerpos intrusivos tabulares porfídicos con alteración hidrotermal asociada. Los tipos de alteración observados en superficie son un centro potásico, con presencia de biotita secundaria, con alteración fílica sobreimpuesta y lateralmente por un borde propilítico, que afecta tanto a rocas intrusivas de composición intermedia como a la roca caja de origen volcanoclástico, lo que es compatible con un sistema tipo pórfido cuprífero de acuerdo a la definición de Lowell y Gilbert (1970). La presencia de venillas de cuarzo de distintos tipos (QA, QB, QS, QH, etc.), además de los criterios geofísicos magnéticos, permitió la proposición y realización de 6 sondajes de diamantina en la zona entre finales del 2011 y principios del 2012 (figura 1.2).

Para la ubicación de los sondajes se utilizaron multi-criterios, tanto de observación litológica, frecuencia de venillas de cuarzo, alteración hidrotermal y geofísica de levantamientos magnéticos, en donde se observan bajos magnéticos en las zonas de alteración potásica, lo que se interpretó como resultado de la destrucción de magnetita.

En superficie y durante los primeros metros de sondaje el porcentaje de pirita es mucho mayor que el de calcopirita, mientras en profundidad se produce un aumento de calcopirita y aparecen venillas de cuarzo-molibdenita y de molibdenita. Además se aprecia un cambio

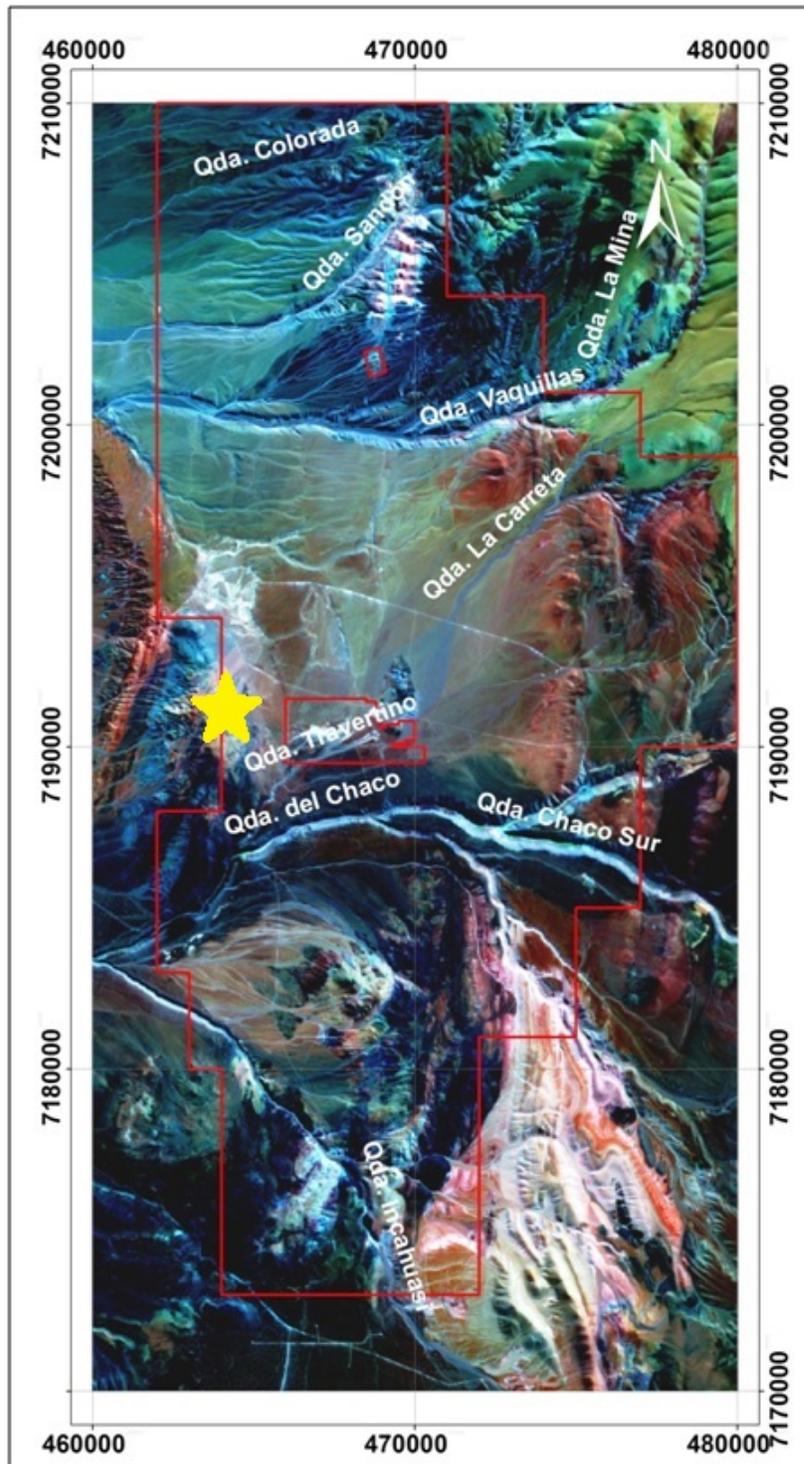


Figura 1.1: Imagen ASTER de la propiedad minera Victoria marcada en rojo, se distinguen las quebradas más importantes y la estrella amarilla marca la ubicación del prospecto Picarón.



Figura 1.2: Imagen QUICKBIRD del sector Picarón. Se observa la ubicación de los 6 sondajes hechos en la zona por MHC. (Datos de sondajes propiedad de Minera Hochschild Chile SCM).

de alteración filica a potásica, lo que se interpreta como un cambio a condiciones de mayor temperatura de la alteración hidrotermal en profundidad, que indicaría la cercanía al núcleo del sistema mineralizado. Consecuentemente, se esperaba llegar a una zona donde el porcentaje de calcopirita fuera igual o mayor que el de pirita después de los 200 m de perforación de los sondajes. Sin embargo, los sondajes intersectaron una falla de bajo ángulo a los 202 m de profundidad en la vertical, y debajo del plano de la falla se encontró un potente paquete sedimentario, compuesto principalmente por areniscas amarillas de grano medio. Por lo que se infiere que la falla es post-mineralización, de carácter inverso y que ha desplazado la porción superior del cuerpo mineralizado.

Con los datos obtenidos de los sondajes se realizó un estudio paragenético mediante un análisis puntual en los tramos de interés para definir el orden secuencial que siguen las venillas y definir distintos eventos mineralógicos, así como la clasificación petrográfica de los intrusivos por su textura y los diferentes tipos de venillas que presentan cada uno. Se identificaron 14 tipos principales de venillas y 8 de intrusivos que se clasificaron por MHC en pre mineral, mineral temprano, inter mineral, mineral tardío y post mineral según la cantidad de venillas y alteración hidrotermal que presentan.

La empresa también realizó análisis geoquímicos en 1552 muestras obtenidas de forma sistemática cada 2 m en los sondajes y corresponden a un barrido por 36 elementos hecho mediante ICP-AES con disolución mediante agua regia. Los resultados presentan una clara anomalía geoquímica positiva en relación a los contenidos estandar de una corteza continental en un ambiente de subducción, además de bajos valores para el Zn y Pb, lo que es consistente con anomalías geoquímicas asociadas a sistemas porfíricos y se relaciona muy bien con el modelo de alteración visto en superficie.

Finalmente, en este estudio se utilizarán los datos generados por la compañía, para caracterizar y comparar las distintas litologías y evaluar si es posible establecer una relación geoquímica entre las distintas litologías ya definidas por la empresa y la posible relación con los eventos mineralizadores y de alteración para estudiar si existen rocas más favorables a la mineralización o si existe más de un evento mineralizador.

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivos Generales**

Comprender la distribución geoquímica dentro del prospecto Picarón mediante una caracterización geoquímica de las unidades litológicas, previamente definidas en el proyecto, para establecer una correlación entre ellas y con la alteración y la mineralización de la zona.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- (a) Reconocer y describir la mineralización, las litologías y alteraciones ya definidas por MHC.
- (b) Definir un rasgo geoquímico característico para cada litología mediante herramientas estadísticas.
- (c) Determinar similitudes y diferencias geoquímicas entre mineralización y alteración.
- (d) Determinar, si es posible, una relación entre litología y mineralización.

## **1.3. Hipótesis de trabajo**

Con este estudio se espera mediante la caracterización geoquímica de las litologías presentes en el blanco Picarón, y ya definidas por MHC, encontrar similitudes entre ellas y especialmente entre los intrusivos para poder relacionarlos y finalmente atribuir la existencia de estos cuerpos tabulares a un pórfido madre.

## **1.4. Metodología**

Las actividades a realizar se subdividen en actividades en terreno y gabinete. El terreno se llevó a cabo en el proyecto Victoria con base en el campamento Vaquillas, propiedad de la Minera Hochschild Chile SCM, durante el mes de Abril 2013 y el trabajo de gabinete se realizó en Santiago en la Universidad de Chile.

### 1.4.1. Metodología de Campo

El trabajo de campo se llevo a cabo en una campaña entre los días 2 y 20 de Abril, esta consistió en un reconocimiento en terreno de la zona de estudio, y de la litología, alteración y mineralización existentes, utilizando como guía los mapas a escala 1:2000 y los trabajos anteriores generados por MHC.

También se revisaron los testigos de los 6 sondajes hechos en la zona para la realización de una descripción de rocas a nivel macroscópico, y reconocimiento de los distintos eventos de vetillas e intrusivos. Además se tomaron 16 muestras en superficie y 4 muestras de los sondajes para su descripción.

### 1.4.2. Metodología en Gabinete

El trabajo en gabinete consiste principalmente en la recuperación y procesamiento de los datos geoquímicos para definir rasgos químicos característicos para cada litología, utilizando el software geoestadístico IoGas y XLSTAT. Con ellos se harán análisis estadísticos univariados: estadística básica para definir el umbral geoquímico de la zona, diagramas de caja que permitan ver de forma simple y rápida la distribución de los elementos en las distintas litologías y estudiar diferencias y similitudes, diagramas bivariantes y un análisis estadístico de poblaciones para definir un umbral exploratorio en la zona. También se realizarán análisis multivariados con el fin de estudiar la relación entre los distintos elementos químicos mediante matrices de correlación y análisis de componentes principales y evaluar si los factores obtenidos representan alguna mineralogía importante y si es consistente con las litologías, alteración y mineralización ya descrita.

Los resultados de los análisis geoquímicos fueron entregados por MHC, que al ser resultado de un barrido de 36 elementos ICP-AES con disolución de agua regia, es importante mencionar las limitaciones del trabajo a realizar ya que los resultados podrían o no ser indicadores de un componente litológico.

Además se realizaran secciones que contorneen los elementos metálicos de interés para compararlos con las distintas litologías y obtener una aproximación a si existe efectivamente alguna litología en particular que sea más favorable a la mineralización. Finalmente evaluar si es posible distinguir eventos mineralizadores utilizando como herramienta los resultados de los análisis de factores, y de conseguirlo, reportar cuales son los vectores que los identifican.

## 1.5. Ubicación y vías de acceso

La propiedad minera está ubicada en la II región de Antofagasta, aproximadamente a 120 km al E de Taltal y a 290 km al SE de Antofagasta en la precordillera chilena a 70 km de la frontera con Argentina y el blanco de exploración Picarón se encuentra ubicado entre 46380-464800E y los 7189400-7190800N aproximadamente, en el sector centro-este de la propiedad.

El acceso más directo al Proyecto Victoria, desde Antofagasta, es por la carretera panamericana (Ruta 5) hasta la altura de Aguas Verdes (235 km). Luego se debe seguir en dirección Este aproximadamente 65 Km, por la ruta B-885 (camino sin asfaltar) que va hacia el Salar de Aguas Calientes, de este punto se recorren 2.5 km hacia el Sur para llegar al campamento Vaquillas, ubicado en la zona central de la propiedad minera (figura 1.3).

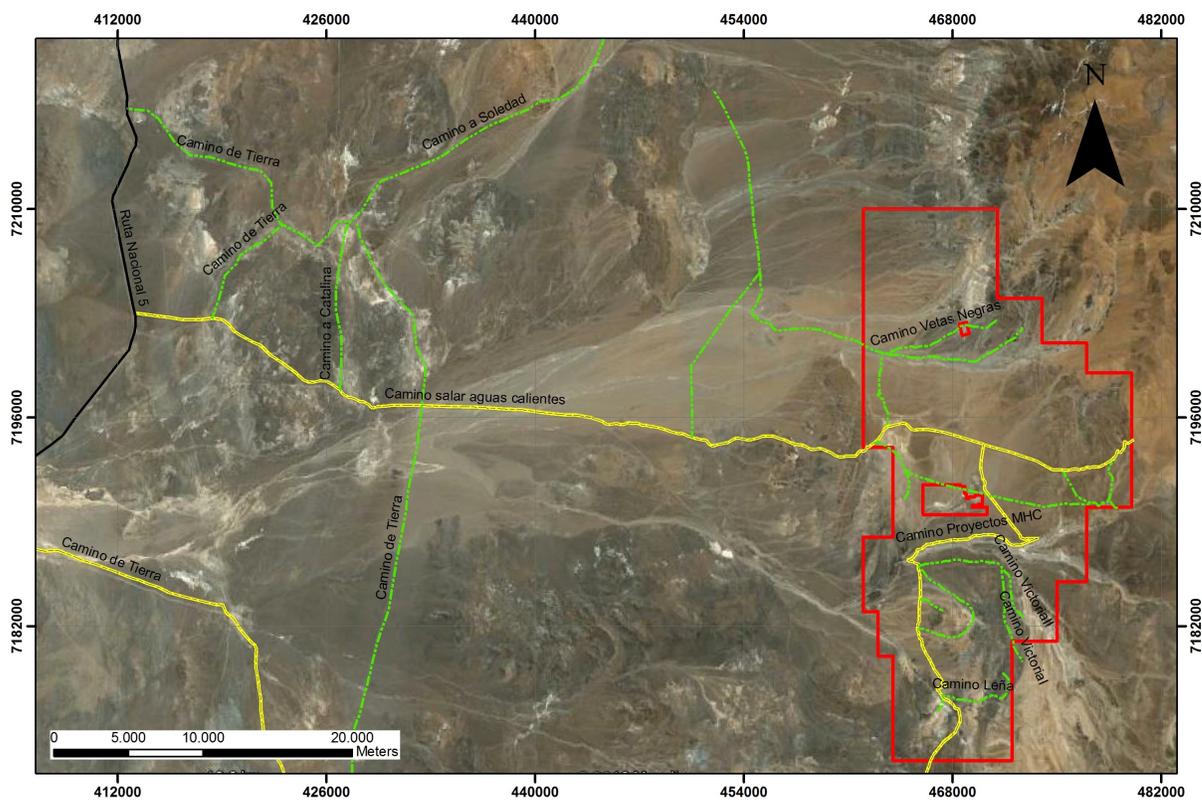


Figura 1.3: Imagen con la ubicación de la propiedad minera y caminos de la zona. En negro se encuentra la ruta 5, en amarillo la ruta B-885 y en verde vías de tercer orden (imagen tomada de Google Earth).

# Capítulo 2

## Marco Geológico

### 2.1. Marco Geológico y Tectónico Regional

La propiedad minera del proyecto Victoria se encuentra ubicada en la Segunda Región de Antofagasta, en el límite con la Tercera Región de Atacama, en la Cordillera de Domeyko, en un segmento llamado localmente Sierra Vaquillas Altas. La geología en esta región chilena está dominada por dos grandes sistemas de fallas: el Sistema de Fallas de Atacama (SFA) y el Sistema de Fallas de Domeyko (SFD) (figura 2.1), siendo esta última la que atraviesa a la zona de estudio (figura 2.2). En la región el resultado de la geología es producto de una evolución estructural compleja. Para explicarla se han encontrado evidencias de deformación extensional en el Triásico Superior, un segundo evento de deformación asociada a fallas normales de bajo ángulo, ocurrido probablemente en el Jurásico, luego se formaron estructuras ligadas a la compresión en el Cretácico Superior-Paleoceno, incluyendo la Faja Plegada y Corrida de Exploradora, junto con la reactivación de fallas con desplazamientos de rumbos, emplazamiento sintectónico de intrusivos en el Eoceno-Oligoceno y finalmente alzamiento, erosión y acumulación sintectónica de gravas en el Mioceno (Cornejo y Mpodozis, 1996).

La estratigrafía de la Cordillera de Domeyko corresponde principalmente a depósitos volcánicos y sedimentarios de origen marino a continental intruidos por rocas principalmente básicas. El basamento tiene edad paleozoica a triásica temprana y corresponde a depósitos volcanosedimentarios. Las rocas del Triásico al Cretácico Temprano son una secuencia syn-extensional compuesta por rocas volcánicas y volcanoclásticas hacia la base, luego por una secuencia marina de areniscas, calizas y limolitas y hacia el techo otra secuencia volcánica. Desde el Cretácico Superior al Oligoceno se depositó una secuencia sedimentaria volcánica syn-orogénica continental que está asociada al emplazamiento de intrusiones granodioríti-



Figura 2.1: Mapa de estructuras y depósitos más importantes, se destacan el Sistema de Fallas de Domeyko el Sistema de Fallas de Atacama y la propiedad minera en rojo. Imagen modificada de Contact Financial Corp (2012).

cas (Cornejo y Mpodozis, 1996) y finalmente, desde el Mioceno al Presente, una secuencia fuertemente deformada de depósitos volcánicos producto de la actividad actual del arco y sedimentos aluviales y coluviales (Amilibia *et al.*, 2008).

La mayoría de los pórfidos cupríferos más importantes del norte de Chile se encuentran localizados o están adyacentes a la Codillera de Domeyko y presentan edades similares de entre 40-30 Ma, fue durante esta etapa que el SFD estuvo activo y se produjo el emplazamiento de numerosos intrusivos hipabisales y la intrusión de pórfidos de composición ácida (Amilibia *et al.*, 2008). Chuquicamata, La Escondida, El Teniente y El Salvador son pórfidos cupríferos gigantes que se encuentran en estas intrusiones (Baeza *et al.*, 2001; Richards *et al.*, 2001) (figura 2.1), sin embargo en la zona de estudio existen escasas ocurrencias de mineralización metálica y de rocas y minerales industriales de importancia económica y no existen minas en actividad en el área (Venegas *et al.*, 2013).

## 2.2. Rocas estratificadas

Para la descripción litológica de la zona de estudio se usará como base el material bibliográfico de Venegas *et al.* (2013), que corresponde a la carta geológica de Sierra Vaquillas Altas y el mapa geológico de la figura 2.3.

### 2.2.1. Formación La Tabla CPlt (García (1967) *emend.* Cornejo *et al.* (1993))

Rocas asignadas a esta formación tienen una edad del Carbonífero Superior- Pérmico Medio; 328-259 Ma, edades obtenidas mediante análisis U-Pb en circones (Venegas *et al.*, 2013), y afloran en la zona occidental de la sierra Vaquillas Altas, en una franja conformada junto con otras rocas paleozoicas (Trqs, CPcpv), de orientación NNE-SSO en el sector norte y N-S en la zona central (Venegas *et al.*, 2013) donde se ubica la propiedad minera y correspondería al basamento de la zona. Tiene un largo de 35 km y un ancho variable entre 2 y 6 km, aparecen además bloques aislados en las nacientes de la quebrada Sandón (Venegas *et al.*, 2013) dentro de la propiedad.

Esta sucesión está compuesta por una secuencia de rocas volcánicas macizas, silicificadas, con abundante contenido de cuarzo subredondeado y ojos de cuarzo. La composición definida como CPlt(a) está constituida por tobas riolíticas a dacíticas, soldadas, con intercalaciones de lavas dacíticas y CPlt(b) corresponde a abundantes intrusiones de cuerpos hipabisales

# Mapa Morfoestructural

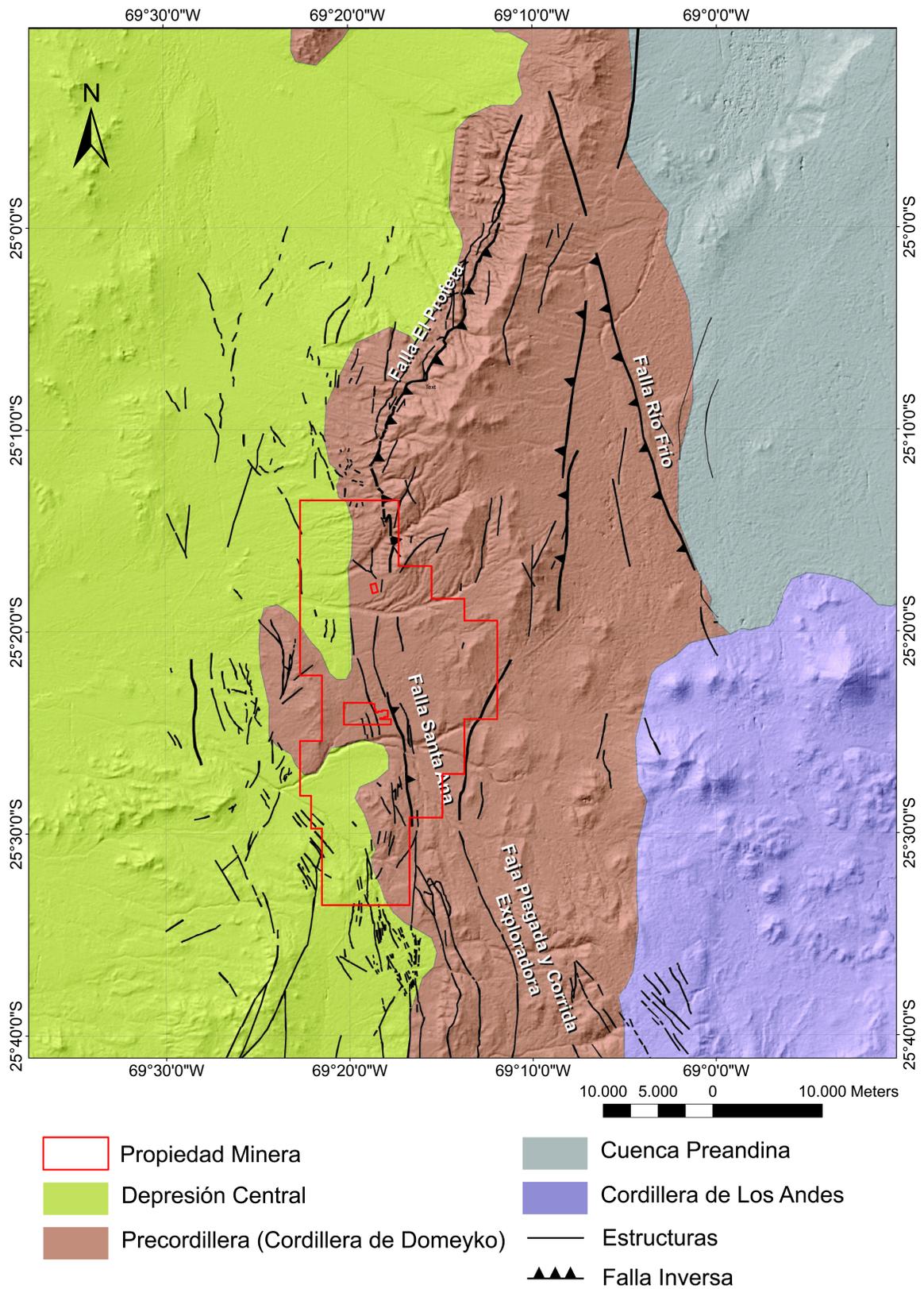


Figura 2.2: Mapa Morfoestructural que incluye las unidades geomorfológicas, el Sistema de Fallas de Domeyko y la propiedad minera. Imagen modificada de Venegas *et al.* (2013).

riolíticos que afectan a esta secuencia volcánica y se pueden encontrar emplazados en forma discordante o como filones manto (Venegas *et al.*, 2013).

### **2.2.2. Formación Quebrada del Salitre Trqs (Naranjo y Puig (1984) *emend.* Cornejo *et al.* (1993))**

Las rocas de esta formación tienen una edad del Triásico Superior, edad obtenida mediante U-Pb en circones de entre  $212,8 \pm 2$  a  $214,2 \pm 2$  Ma (Venegas *et al.*, 2013), en la vertiente occidental forman una franja discontinua, con afloramientos importantes en las quebradas Punta del Viento, Agua de la Mina, Los Pozos, Vaquillas y la Carreta (Venegas *et al.*, 2013). El espesor total de esta unidad es difícil de estimar debido a la distribución aislada de los afloramientos, en particular, en el curso alto de las quebradas La Carreta y Vaquillas es donde afloran las secciones de mayor espesor reconocidas y se estima un espesor mínimo de 400 m (Venegas *et al.*, 2013). La Formación Quebrada del Salitre se apoya, en discordancia angular, sobre la Formación la Tabla (CP1t) y en inconformidad sobre granitoides del Complejo Plutónico Punta del Viento (CPcpv), su límite superior es más complejo, se encuentra en discordancia angular, y en concordancia en sectores, con la Formación Profeta (Jp), está cubierta en discordancia angular, por las ignimbritas Río Frío (Mirf) e intruída y a la vez cubierta, también en discordancia angular, por un domo riolítico y brechas equivalentes (Kir) (Venegas *et al.*, 2013).

Para su descripción litológica se consideró una separación según asociaciones de facies, Trqs(a) corresponde a una intercalación de lavas andesíticas, cherts, lutitas, lavas dacíticas autobrechizadas y cuerpos subvolcánicos andesíticos y Tqrs(b) corresponde a una sucesión estratificada, predominantemente sedimentaria, con potentes niveles de conglomerados volcánoclasticos intercalados con areniscas, limolitas, calizas, brechas volcánicas y lavas andesíticas (Venegas *et al.*, 2013).

### **2.2.3. Formación Profeta Jp (Chong, 1973)**

La formación Profeta tiene una edad jurásica-cretácica inferior, más específicamente del Hettangiano-Berriasiano(?), edad definida por la presencia de fósiles de alto valor cronostratigráfico (Chong, 1973; Naranjo y Puig, 1984). Los afloramientos se distribuyen en una franja NNE-SSO en el flanco occidental de la Sierra Vaquillas Altas, y se encuentran intensamente deformados, plegados y afectados por fallas que repiten secuencias, aparecen, también entre las quebradas Vaquillas, La Carreta, del Fuelle y Chaco Sur; en esos sectores los ni-

veles estratigráficos inferiores están deformados en conjuntos de pliegues apretados, con ejes de orientación NNE-SSO (Venegas *et al.*, 2013). El espesor es difícil de estimar debido a la intensa deformación que afecta a las rocas, aunque se puede establecer una potencia mínima de 2000 m (Venegas *et al.*, 2013). La formación se encuentra en discordancia angular, sobre la Formación Quebrada del Salitre (Trqs) en el sector de Punta del Viento y, concordante sobre esta misma formación, en la quebrada La Carreta. Está cubierta, en discordancia angular, por la Formación Llanta (Ksll) y la unidad Estratos del Estanque (Pie), con las que también aparece en contacto tectónico y subyace a las formaciones Pampas de Mula (OMpm) y a las ignimbritas Río Frío (Mirf) y Pajonales (Mmp), rocas de esta Formación están intruidas por cuerpos hipabisales del Cretácico Superior (Kshsc), del Paleoceno Inferior (Pih), del Paleoceno Medio (Pmh) y del Eoceno Inferior (Eisa), prácticamente en cada uno de sus distintos lugares de afloramiento (Venegas *et al.*, 2013).

La formación Profeta ha sido subdividida en base al conjunto de litofacies que se identifican en una sucesión sedimentaria en un determinado intervalo de tiempo (Venegas *et al.*, 2013). Jp1 corresponde a los niveles inferiores que corresponden a estratos de calizas, areniscas interestratificadas con lutitas e intercalaciones menores de calizas concreciónales, Jp2 es una alternancia de areniscas calcáreas, lutitas, fangolitas calcáreas, conglomerados y lentes de caliza, Jp3 que no aflora en la zona corresponde a una alternancia de calizas, fangolitas calcáreas, calcilutitas y calcarenitas finas, Jp4 se encuentra en afloramientos aislados y es una alternancia rítmica de fangolitas y calizas, que gradan a calcarenitas intercaladas con lutitas calcáreas, margas y potentes niveles evaporíticos de yeso y anhídrita y finalmente Jp5 está constituido por una alternancia de horizontes de rocas detríticas con lutitas, calizas y areniscas (Venegas *et al.*, 2013).

#### **2.2.4. Formación Candeleros Jsc (Naranjo y Puig, 1984)**

La formación Candeleros tiene una edad restringida al Bajociano-Kimmeridgiano y está conformada por tres miembros que se distribuyen en franjas de orientación NNE-SSO (Venegas *et al.*, 2013). La edad de esta formación fue obtenida de la presencia de numerosos fósiles con valor crono-estratigráfico recolectados en los distintos niveles (Naranjo y Puig, 1984). La base de esta unidad no se observa y está cubierta, en discordancia angular, por lavas y tobas de la Formación Llanta (Ksll) y en cuanto a las relaciones estratigráficas entre los miembros, los contactos son concordantes entre ellos (Venegas *et al.*, 2013), salvo en el área sur de la sierra Candeleros, donde Naranjo y Puig (1984) describieron un engranaje parcial entre el Miembro 2 y el Miembro 3.

El miembro inferior Jsc1 corresponde a una alternancia de lavas andesíticas rojizas lavas

andesíticobasálticas amigdaloidales con estructuras de almohadilla, tobas bandeadas grisáceas y, hacia el techo calizas fosilíferas, el miembro 2 (Jsc2) corresponde a una alternancia de conglomerados, calcarenitas, margas, coquinas finas, que hacia el techo varía a una alternancia rítmica de calizas y lutitas calcáreas grises, que engranan con las rocas del Miembro Superior (Jsc3), el que está constituido por una alternancia de calizas, areniscas calcáreas y escasas lavas andesítico-basálticas porfídica y hacia el techo se observan intercalaciones menores de calcarenitas fosilíferas y conglomerados con clastos de calizas (Venegas *et al.*, 2013).

### **2.2.5. Estratos de Quebrada del Chaco Kiec (Venegas *et al.*, 2013)**

Unidad conformada por una secuencia clástica, continental, de al menos 1200 m de espesor, que aflora en la quebrada del Chaco, cerca de su confluencia con la quebrada La Carreta (Venegas *et al.*, 2013). Esta unidad sobreyace a rocas sedimentarias marinas de la Formación Profeta (Jp5) con un contacto concordante, está cubierta, en discordancia angular, por gravas de la Formación Pampa de Mula (OMpm). La secuencia está deformada en un amplio pliegue sinclinal, cuyo eje tiene dirección NNE-SSO con buzamiento hacia el SSO (sinclinal del Chaco) y que involucra a los niveles marinos subyacentes (Jp5) y es intruida por una serie de cuerpos hipabisales andesíticos (Kshsc) (Venegas *et al.*, 2013).

Esta unidad está conformada por estratos de areniscas grises y pardas-rojizas, de variada granulometría, bien estratificadas, que se intercalan con conglomerados, clastos soportados, de colores verdes-violáceos, también de diversas granulometrías (Venegas *et al.*, 2013).

La edad máxima de esta unidad está dada por determinaciones bioestratigráficas cerca del techo del nivel Jp5, las que indican una edad kimmeridgiana y la edad mínima queda acotada al Cretácico Superior bajo por las edades radiométricas obtenidas en cuerpos hipabisales que la intruyen en el sector (*ca.* 86 Ma; Kshsc) (Venegas *et al.*, 2013).

### **2.2.6. Formación Llanta Ksll (Frutos (1975) *emend.* Cornejo *et al.* (1993))**

Rocas pertenecientes a esta unidad se encuentran cerca del extremo suroccidental, al oeste de la sierra Candeleros, en una franja formada por varios afloramientos aislados espesores inferiores a 20 m y se les atribuye una edad del Campaniano-Maastrichtiano, obtenida de 4 dataciones realizadas con el método  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  en sanidina (Venegas *et al.*, 2013). Se reconocen 4 facies en esta formación: las primera dos son Ksll(a) que corresponde a rocas volcánicas

y Kssl(b) que corresponde a tobas, ambas se encuentran en discordancia angular sobre un paquete de areniscas, areniscas calcáreas fosilíferas y conglomerados finos del Jurásico Superior (Jp5), las otras dos: Kssl(c) que es una sucesión volcánica y Kssl(d) que son areniscas y conglomerados, están en contacto por falla inversa con secuencias carbonatadas fosilíferas del Jurásico Medio-Superior (Jp4), mientras que su techo no está expuesto (Venegas *et al.*, 2013). Los afloramientos de rocas volcanoclásticas se continúan hacia el norte y aparecen en las laderas de las quebradas de Las Cenizas y del Chaco y también en la mina Vaquillas, mientras que al oeste de la sierra Candeleros, Kssl(a) y Kssl(b) están depositadas, en discordancia, sobre lavas jurásicas de la Formación Candeleros (Jsc) y aparecen, también, en contacto por falla con rocas de esa misma unidad. Por otro lado, en la sierra de Santa Ana, Kssl(c) está instruida por un conjunto de cuerpos ígneos del Eoceno Inferior de composición intermedia a máfica (Eisa), que serían en parte responsables, de la alteración hidrotermal observada en el área (Venegas *et al.*, 2013).

La facies Kssl(a) corresponde a lavas andesíticas a dacíticas de textura porfírica y color gris verdoso, Kssl(b) son tobas cristalinas, soldadas, de composición riolítica de color pardo-amarillento con alto contenido de "ojos" de cuarzo. Kssl(c) es una a secuencias volcánica con una base de tobas riolíticas, seguido de una intercalación de brechas volcánicas verdes o rojizas con tobas brechosas y sobre estas aparecen coladas dacíticas de intensa coloración rojiza, con intercalaciones de brechas volcánicas finas. Finalmente hacia el techo Kssl(d) corresponde a una arenisca volcanoclástica gruesa y conglomerados polimícticos con clastos de material lítico volcánico y cristalino (Venegas *et al.*, 2013).

### **2.2.7. Estratos del Estanque Pie (Unidad informal Naranjo y Puig (1984) *emend.* Venegas *et al.* (2013))**

Esta unidad informal tiene una edad del Paleoceno Inferior, esta fue obtenida mediante U-Pb en circones ( $63 \pm 1,1$ ,  $63,8 \pm 0,72$  Ma), mediante  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  en biotita ( $62,6 \pm 0,1$  Ma) y por K-Ar en la masa fundamental de un clasto andesítico de una brecha gruesa ( $65 \pm 2$  Ma) Venegas *et al.* (2013). Fue definida por Naranjo y Puig (1984) como una secuencia de brechas y lavas porfíricas con intercalaciones de tobas. Luego fue modificada por Venegas *et al.* (2013) como una secuencia volcánica, compuesta por capas macizas de espesores  $<10\text{m}$  de lavas andesíticas a dacíticas de dos piroxenos y brechas volcánicas de igual composición, lo que se llama Pie(a), Pie(b) corresponde a domos andesíticos de piroxeno y brechas asociadas, Pie(c) son domos riolíticos de biotita y cuarzo y tobas asociadas y Pie(d) que corresponde a brechas y conglomerados que se reconocen hacia el techo de la secuencia. De esta unidad solo hay afloramientos de Pie(a) y Pie(d) en la zona norte del área de estudio.

### 2.2.8. Formación Pampa de Mulas Ompm (Chong, 1973)

La Formación Pampa de Mulas se expone, principalmente, en ambos flancos de la Cordillera de Domeyko y borde occidental de la Sierra de Argomedo y tiene una edad del Oligoceno-Mioceno, definida ya que esta intercalada con la Ignimbrita Pajonales que tiene una edad de 14 Ma (Venegas *et al.*, 2013). La formación presenta una superficie rugosa caracterizada por cárcavas, y es común encontrarla formando farellones en las laderas de las quebradas que están disectadas por escorrentías más jóvenes, la mejor exposición de esta unidad en el área de estudio se encuentra en la quebrada Chaco e Incahuasi, donde se encuentran depósitos bien preservados, localmente cementados, y puede alcanzar un espesor mínimo de 100 m (Venegas *et al.*, 2013).

Los depósitos de gravas de la Formación Pampa de Mulas, sobreyacen en discordancia angular o en inconformidad, a gran parte de las unidades pre-miocenas que afloran en la zona. En varios sectores del lado occidental esta unidad está cubierta en conformidad por la Ignimbrita Rio Frio (Mirf) y localmente en las quebradas Sandón y Vaquillas, se observa la Ignimbrita Pajonales (Mmp) intercalada en la unidad (Venegas *et al.*, 2013). Litológicamente corresponde a conglomerados, areniscas, y depósitos de gravas polimícticas, débilmente a medianamente estratificadas, débil a medianamente consolidadas, de color pardo-amarillentas (Venegas *et al.*, 2013).

### 2.2.9. Complejo Volcánico el Chaco Mch (Naranjo y Puig, 1984)

Se compone por el volcán Chaco, que constituye un edificio volcánico que en el área alcanza 4.756 m.s.n.m. y por los depósitos de avalancha asociados y tiene una edad del Mioceno Medio, edad obtenida por dataciones realizadas mediante K-Ar en roca total de entre 15-17 Ma (Naranjo y Cornejo, 1989). El cerro Chaco corresponde a una estructura volcánica con dos conos alineados en dirección noreste, cuyas coladas presentan una morfología superficial medianamente conservada, de superficie rugosa, con bloques y contornos lobulados (Mch), con frentes de hasta 30 m de altura (Venegas *et al.*, 2013).

Una de las avalanchas y la más joven Mch(av2) está asociada a la caldera cuyo anfiteatro se orienta hacia el suroeste. La irregular superficie del depósito incluye cordones laterales en sus bordes leveés y hummocks que marcan el frente de los flujos (Venegas *et al.*, 2013). El edificio del volcán Chaco se constituye casi exclusivamente por lavas andesíticas violetas y porfíricas, se identifican niveles de lavas brechizadas y tobas andesíticas de menor distribución (Venegas *et al.*, 2013) y también, domos andesíticos con estructuras columnares, afectadas

intensamente por alteración hidrotermal (Naranjo y Cornejo, 1989).

### 2.2.10. Ignimbrita Río Frío Mirf (Naranjo y Puig, 1984)

La Ignimbrita Río Frío tiene una amplia distribución, forma un extenso llano de superficie irregular, lajada y de suaves pendientes ( $<2^\circ$ ), en general, tiene un promedio de 10 m de espesor, excepto en la quebrada Río Frío donde alcanza potencias de cerca 30 m. Es común encontrar estas ignimbritas, con su característica facies vítrea basal, depositada en las laderas de las quebradas de la vertiente occidental de la precordillera al norte de la quebrada Sandón (Venegas *et al.*, 2013). Hacia el este de la cordillera de Domeyko, los depósitos de la Ignimbrita Río Frío cubren, en discordancia, a los cerros islas de rocas pre-cenozoicas que ahí afloran (CPlt, Trqs, Jp) y a los intrusivos del Complejo Plutónico Punta del Viento (CPcpv), más al sur. En el extremo sureste está cubierta por lavas y depósitos de avalancha de los complejos volcánicos Dos Hermanos y El Chaco (Mch), mientras que hacia el flanco oriental de la cordillera de Domeyko, está cubierta por depósitos de la Formación Pampa de Mulas (OMpm) (Venegas *et al.*, 2013). La ignimbrita Río Frío exhibe diversas tobas de características homogéneas; son tobas soldadas, de color rosado y gris, que muestran un característico color pardo-anaranjado en la superficie de los afloramientos (Venegas *et al.*, 2013).

La edad de esta ignimbrita se obtuvo de dataciones en  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  en cristales primarios de anfíbola y biotita en diversos lugares de ocurrencias de estas rocas, que entregaron valores concordantes de  $17,06 \pm 0,13$  Ma,  $17,3 \pm 0,3$  Ma,  $17,9 \pm 0,4$  Ma y  $17,96 \pm 0,13$  Ma (Venegas *et al.*, 2013).

### 2.2.11. Ignimbrita Pajonales Mmp (Naranjo y Cornejo, 1992)

Los afloramientos que se correlacionan con la Ignimbrita Pajonales, en la zona, son escasos y aislados. Se identifica, localmente, en el curso medio de la quebrada Vaquillas, a ambos lados de la sierra Candeleros y en un afloramiento aislado en la quebrada Incahuasi (Venegas *et al.*, 2013), y se le atribuye una edad del Mioceno Medio obtenida mediante K-Ar en biotita de  $14,32 \pm 2,4$  Ma (Cornejo y Mpodozis, 1996). La Ignimbrita Pajonales tiene espesores variables entre 10-15 m y se identifica fácilmente su alto contenido de pómez, en ocasiones aplastadas y una matriz de color gris-rosáceo característico, se encuentra depositada, en discordancia angular, sobre calizas jurásicas de la Formación El Profeta (Jp), e intercalada con gravas de la Formación Pampa de Mulas (OMpm) (Venegas *et al.*, 2013).

### 2.2.12. Depósitos aluviales Plh(a)

Son depósitos del Pleistoceno-Holoceno, polimícticos y no consolidados, correspondientes a gravas, lentes de arena y limo, de color pardo claro-amarillo, depositados, principalmente, por corrientes de barro de ocurrencia esporádica. Estos constituyen el relleno de los sistemas de drenajes actuales activos, que se encuentran en la base de las quebradas, rellenan las quebradas tributarias mayores, presentan pendientes suaves y continuas, con desarrollo local de terrazas y niveles estratificados (Venegas *et al.*, 2013).

### 2.2.13. Depósitos de limos Plh(1)

Estos depósitos del Pleistoceno-Holoceno consisten en limos, en general salinos, que representan la fracción fina de crecidas aluviales esporádicas que bajan por las quebradas principales desde la precordillera. Los depósitos son de escasa potencia, desde pocos centímetros hasta cerca de un metro (Venegas *et al.*, 2013).

### 2.2.14. Depósitos antrópicos Han

Se agrupan en esta unidad los depósitos o acumulaciones artificiales de ripios, derivados de la actividad humana ligada a la minería. Esta unidad incluye desmontes y depósitos de tratamiento de minerales, constituidos principalmente por fragmentos de la roca caja. Estos son producto de la explotación del yacimiento mina Esmeralda, ubicado al norte de la quebrada El Chaco, al este de la Sierra Candeleros (Venegas *et al.*, 2013).

## 2.3. Rocas intrusivas

### 2.3.1. Complejo plutónico Punta del Viento CPcpv (Naranjo y Puig (1984) *emend.* Venegas *et al.* (2013))

Este complejo es del Paleozoico y fue definido por Naranjo y Puig (1984) como conjunto de cuerpos intrusivos con composiciones que varían entre granodioritas y sienogranitos, que constituyen el eje central de la precordillera en este sector. Las rocas que constituyen el Complejo Plutónico Punta del Viento se encuentran desplazadas por fallas inversas de orientación NNE-SSO con vergencia hacia el este, que se yuxtaponen tectónicamente por sobre

la Formación La Tabla (CPIt) y se identifican, además, pequeños remanentes de la Formación La Tabla dentro del complejo intrusivo (Venegas *et al.*, 2013). CPcpv(a) corresponde a Monzogranitos y granodioritas de anfíbola-biotita de color blanco a blanco-rosáceo, aunque sus afloramientos son de color anaranjado pardusco producto de una intensa limonitización asociada a fracturamiento y meteorización (Venegas *et al.*, 2013).

En el trabajo de Venegas *et al.* (2013) se obtuvieron 6 edades para el Complejo Plutónico Punta del Viento: en los monzogranitos de la quebrada Punta del Viento una datación U-Pb en circón arrojó una edad de  $295,6 \pm 2,6$  Ma, interpretada como edad de cristalización, y una edad de  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  en biotita de  $289,8 \pm 0,9$  Ma, en una muestra proveniente de la quebrada San Rosendo, la cual es interpretada como una de enfriamiento. Este resultado es consistente con edades K-Ar en biotita de  $289 \pm 7$  y  $292 \pm 7$  Ma obtenidas por Cornejo y Mpodozis (1996).

### **2.3.2. Intrusivos hipabisales andesíticos de Sierra Candeleros Kshsc (Naranjo y Puig, 1984)**

Corresponden a stocks y cuerpos tipo filón manto, elongados en dirección NNE-SSO que intruyen rocas calcáreas y lavas del Jurásico Medio-Superior (Formación Sierra Candeleros, Jsc2 y Jsc3) y areniscas del Jurásico Superior (Formación Profeta, Jp5), mientras que en el sector de la quebrada del Chaco, intruyen a rocas volcanoclásticas de la unidad Estratos de quebrada del Chaco (Kiec) (Venegas *et al.*, 2013). Están cubiertos por gravas miocenas de la Formación Pampa de Mulas (OMpm) (Venegas *et al.*, 2013).

Las edades radiométricas para estos cuerpos, obtenidas por Venegas *et al.* (2013), ambas por el método  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  en anfíbola son de  $86,7 \pm 0,6$  Ma, en un cuerpo que intruye rocas clásticas de la unidad Estratos de Quebrada del Chaco (Kiec) y otra, de  $86,4 \pm 0,6$  Ma, concordante con la anterior, se obtuvo en un cuerpo elongado que aflora al suroeste del otro cuerpo y que, posiblemente, representa una prolongación de este.

### **2.3.3. Intrusivos hipabisales dacíticos del Cretácico Superior Kshd (Cornejo y Mpodozis, 1996)**

Corresponden a tres pequeños cuerpos subvolcánicos (área expuesta  $<2$  km<sup>2</sup>) que afloran al oeste de la sierra Candeleros, dos de estos cuerpos fueron identificados y descritos, previamente, por Cornejo y Mpodozis (1996). Al sur de la quebrada Vaquillas aflora un stock

de morfología subcircular de composición dacita porfídica de hornblenda y biotita, mientras que, al norte de la quebrada del Chaco, ocurren dos cuerpos alargados en dirección N-S, de composición equivalente, pero intensamente alterados. Las rocas de esta unidad intruyen a lavas y tobas del Cretácico Superior (Ksll) y a lavas y calizas jurásicas (Jsc1) (Venegas *et al.*, 2013), su edad es de  $69 \pm 2$  Ma y fue obtenida mediante K-Ar en biotita por Cornejo y Mpodozis (1996).

Las rocas que conforman el stock norte son de color gris verdoso y preservan su textura primaria, a diferencia de los hipabisales del lado sur, que son de color blanquecino y su textura está obliterada por alteración, en este último caso, los afloramientos son de color amarillento-anaranjados debido a la presencia de pátinas e impregnación de limonita-jarosita-hematita terrosa y vetillas de jarosita con espesores centimétricos (Venegas *et al.*, 2013). La roca corresponde a una dacita porfídica de hornblenda y biotita, con textura porfídica gruesa (Venegas *et al.*, 2013).

#### **2.3.4. Intrusivos hipabisales del Paleoceno Inferior Pih (Unidad informal Venegas *et al.* (2013))**

Agrupar cuerpos intrusivos, porfídicos, de composición variada, desde andesítica a riolítica, que intruyen a las secuencias carbonatadas del Jurásico Inferior (Jp) (Venegas *et al.*, 2013). Su edad se obtuvo mediante  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  en biotita y es de  $65,97 \pm 0,15$  Ma en el cerro 4266 y de  $64,69 \pm 0,26$  Ma en la quebrada del Chaco (Venegas *et al.*, 2013). En el curso bajo de la quebrada del Chaco Sur aflora, hacia la base de la quebrada, un cuerpo tabular, de composición riolítica Pih(a) (Venegas *et al.*, 2013). Pih(a) corresponde a rocas porfídicas formadas por fenocristales de plagioclasa, fresca a variablemente alterada a calcita, arcillas y cuarzo secundario; biotita, en general fresca; pseudomorfos de anfíbola o piroxeno, reemplazados por minerales opacos o clorita y calcita y cuarzo, mientras que la masa fundamental tiene textura felsítica y está compuesta por un agregado de tamaño y proporciones variables de cuarzo y feldespatos (Venegas *et al.*, 2013).

#### **2.3.5. Intrusivos hipabisales del Paleoceno Medio Pmh (Unidad informal Venegas *et al.* (2013))**

Agrupar una serie de intrusivos subvolcánicos de composición intermedia, desde andesítica Pmh(a) a dacítica Pmh(b), que se distribuyen a lo largo del borde occidental de la precordillera, en una franja con orientación NNO-SSE, desde la quebrada Colorada, por el norte,

hasta la quebrada Chaco Norte, por el sur (Venegas *et al.*, 2013). Estas rocas intruyen parte de la secuencia continental volcánica del Paleoceno Inferior de la unidad Estratos del Estanque (Pie) y las secuencias carbonatadas del Jurásico Medio-Superior de la Formación Profeta (Jp), particularmente cerca de las fallas que ponen en contacto estas dos unidades (Venegas *et al.*, 2013).

En el cuerpo andesítico Pmh(a) se obtuvo una edad por  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  en hornblenda de  $60,4 \pm 0,6$  Ma, interpretada como cercana a su edad de cristalización; mientras que, el intrusivo dacítico Pmh(b) resultó con una edad  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  en masa fundamental de  $60,1 \pm 0,3$  Ma (Venegas *et al.*, 2013).

Pmh(a) corresponde a andesitas de hornblenda, de textura porfídica formadas por fenocristales de plagioclasa, habitualmente alterada a arcillas, calcita y epidota; hornblenda, en general fresca, aunque puede aparecer alterada a óxidos de hierro con una matriz de textura intersertal que puede estar alterada a calcita y arcillas, y Pmh(b) corresponde a andesitas y dacitas de biotita y hornblenda con fenocristales de plagioclasa, fresca o alterada a sericita, calcita y esmectitas; biotita, fresca o parcialmente oxidada o cloritizada; pseudomorfos de anfíbola y la masa fundamental de textura intergranular está formada por feldespato, cuarzo y en general está alterada a arcillas (Venegas *et al.*, 2013).

### **2.3.6. Intrusivos de Sierra Santa Ana Eisa (Unidad informal Venegas *et al.* (2013))**

Estos cuerpos intruyen una secuencia continental mayormente volcánica del Cretácico Superior, descrita como Formación Llanta (Ksll), y agrupan en tres litologías predominantes: microdioritas de hornblenda y piroxeno Eisa(a), dacitas de anfíbola Eisa(b) y andesitas de hornblenda Eisa(c) (Venegas *et al.*, 2013). Su edad se obtuvo de Eisa(a) en una microdiorita gris mediante U-Pb en circones y es de  $41,36 \pm 0,5$  Ma (Venegas *et al.*, 2013).

Eisa(a) corresponde a microdioritas y stocks microdioríticos de hornblenda y piroxeno, con una composición que varía entre dioritas, monzodioritas y monzodioritas cuarcíferas, corresponden a intrusivos holocristalinos faneríticos o de tendencia porfídica, de grano medio a fino, hipidiomórficos, que aparecen en afloramientos de color gris, gris verdoso o verde rojizo (Venegas *et al.*, 2013). Eisa(b) corresponde a dacitas de anfíbola de color blanco a grisáceo, de textura porfídica, de grano fino a medio, hipidiomórfica, con fenocristales de plagioclasa, feldespato potásico escaso y anfíbola accesoria, con masa fundamental microfelsítica y finalmente Eisa(c) corresponde a andesitas de anfíbola de color gris verdoso, con textura porfídica, hipidiomórfica y grano fino a medio con fenocristales se reconoce plagioclasa, fel-

despato potásico y hornblenda, en proporciones variables en la roca, mientras que la masa fundamental está formada por microlitos de plagioclasa de tamaños diversos, argilizados y/o moderadamente recristalizados (Venegas *et al.*, 2013).

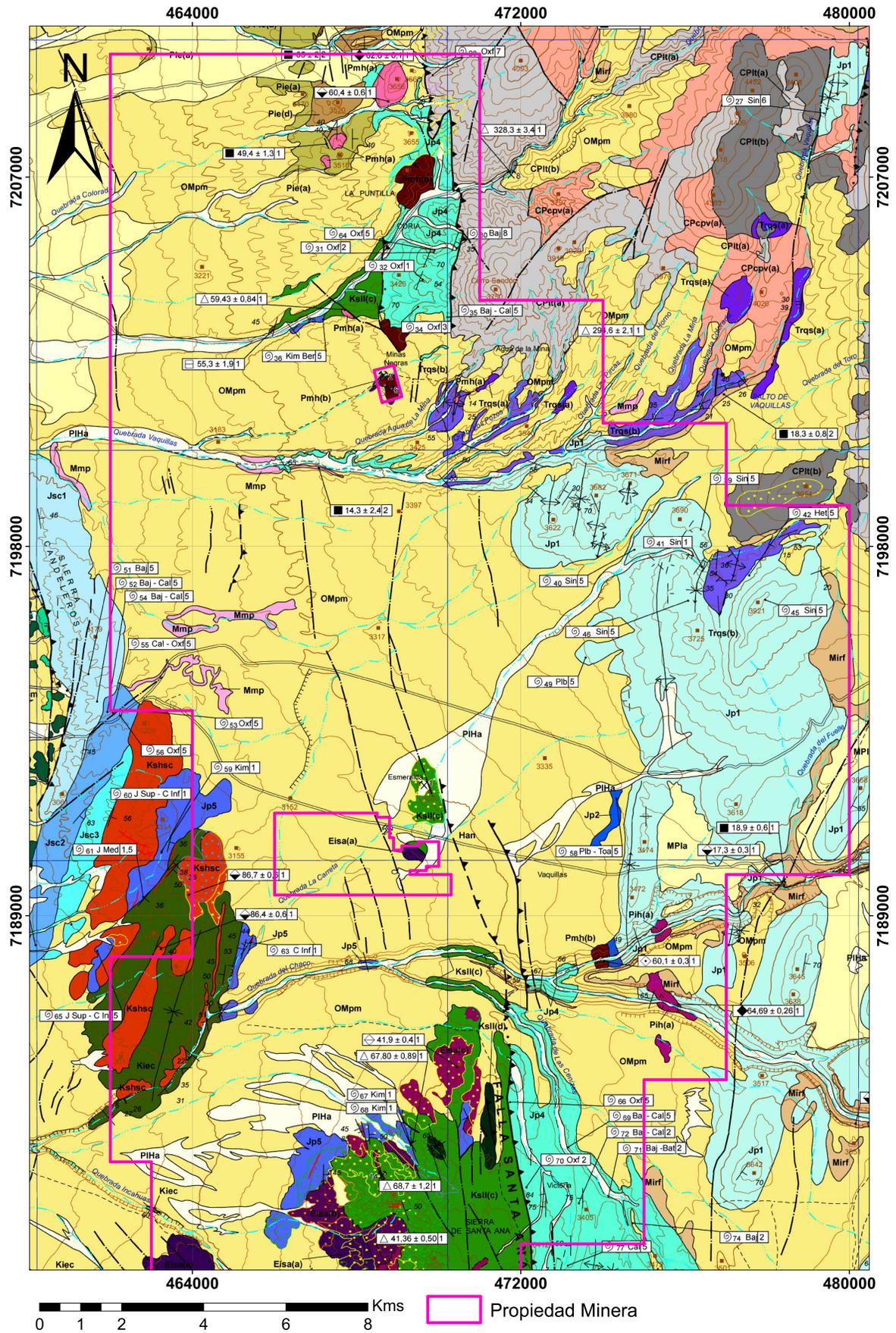


Figura 2.3: Mapa geológico de la zona de estudio, la simbología y leyenda se encuentran en las siguientes páginas. Modificado de Venegas <sup>23</sup> *et al.* (2013).

# LEYENDA

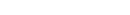
## ROCAS ESTRATIFICADAS

	<b>Han</b>	<b>Depósitos antrópicos</b> (Holoceno) Depósitos artificiales de rípios compuestos por desmontes, tratamientos de minerales, e infraestructura, ligada a la explotación de yacimientos minerales metálicos de la mina Vaquillas.
1	<b>PIH</b>	<b>Depósitos aluviales</b> (Pleistoceno-Holoceno) Limos, generalmente salinos, que corresponden a la fracción fina de corrientes de barro y avenidas torrenciales esporádicas que bajan por las quebradas desde la precordillera.
a		Rípios, gravas y lentes de arena gruesa, no consolidados, incluyen, localmente, depósitos encausados en las quebradas principales, o sobre la unidad de depósitos aluviales antiguos.
	<b>MPIa</b>	<b>Depósitos aluviales antiguos</b> (Mioceno Superior-Pleistoceno) Gravas y bloques no consolidados, de color pardo rojizas, mal estratificados, con intercalaciones de arena gruesa y limo. Representan abanicos aluviales antiguos, cortados por la red de drenaje actual.
	<b>Mmp</b>	<b>Ignimbrita Pajonales</b> (Mioceno Medio; ca. 14 Ma) Toba cinerítica, poco soldada, deleznable, con abundantes pómez fibrosas.
	<b>Mch</b>	<b>Complejo Volcánico el Chaco</b> (Mioceno Medio; ca. 17-15 Ma) <b>(av2)</b> Depósitos de avalancha de detritos volcánicos, constituido por una mezcla mal seleccionada de fragmentos brechizados y angulosos, de lavas andesíticas de ortopiroxeno y hornblenda. Trama indica presencia de bloques torea.
2)		
	<b>Mirf</b>	<b>Ignimbrita Rio Frio</b> (Mioceno Inferior; ca. 18 Ma) Toba dacítica a riódacítica, moderada a densamente soldada, con abundantes fiammes.
	<b>OMpm</b>	<b>Formación Pampa de Mulas</b> (Oligoceno Superior-Mioceno Medio) Depósitos de gravas y arenas gruesas.
	<b>Pie</b>	<b>Estratos del Estanque</b> (Paleoceno Inferior; ca. 63 Ma) <b>a)</b> Lavas andesíticas a dacíticas de piroxeno y hornblenda y brechas volcánicas. <b>d)</b> Areniscas, brechas y conglomerados.
(a)		
(d)		
	<b>Ksll</b>	<b>Formación Llanta</b> (Campaniano; 73 Ma) <b>a)</b> Lavas andesíticas a dacíticas porfídicas. <b>b)</b> Tobas riolíticas soldadas de biotita y sanidina. <b>c)</b> Tobas, lavas dacíticas y brechas volcánicas. <b>d)</b> Areniscas y conglomerados.
(a)		
(b)		
(c)		
(d)		
	<b>Kiec</b>	<b>Estratos de Quebrada del Chaco</b> (Cretácico Inferior-Cretácico Superior?) Paraconglomerados y ortoconglomerados volcanoclásticos, de mala selección con intercalaciones menores de areniscas verdes.
	<b>Jsc</b>	<b>Formación Candeleros</b> (Bajociano-Kimmeridgiano) <b>1</b> Miembro 1. Lavas andesíticas con intercalaciones menores de calizas fosilíferas. <b>2</b> Miembro 2. Calizas fosilíferas intercaladas con lavas y lentes de areniscas volcanoclásticas. <b>3</b> Miembro 3. Lavas andesíticas amigdaloidales con lentes de calizas fosilíferas.
3		
2		
1		
	<b>Jp</b>	<b>Formación Profeta</b> (Hettangiano-Berriaciano?) <b>1</b> Calizas grises colarígenas basales hettangianas, sobreyacidas por intercalaciones rítmicas de areniscas arcósicas y cuarcíferas calcáreas amarillentas con lutitas grises y calizas menores. <b>2</b> Intercalación de areniscas calcáreas, lutitas, fangolitas calcáreas, conglomerados gruesos y lentes de calizas. <b>3</b> Intercalación de calizas, fangolitas calcáreas, lutitas y calcarenitas finas. <b>4</b> Intercalación rítmica de fangolitas bituminosas y calizas grises que hacia el techo gradan a calcarenitas concrecionales, intercaladas con lutitas calcáreas, margas y sobreyacido por yeso evaporítico oxfordiano. <b>5</b> Areniscas arcósicas y líticas volcánicas verdosas, con conglomerados finos, lutitas, calizas oolíticas y areniscas calcáreas fosilíferas.
5		
4		
3		
2		
1		
	<b>Trqs</b>	<b>Formación Quebrada del Salitre</b> (Triásico Medio?-Triásico Superior) <b>a)</b> Intercalación de lavas andesíticas afaníticas, cherts, lutitas, lavas dacíticas autobrechizadas y cuerpos subvolcánicos andesíticos. <b>b)</b> Intercalación de conglomerados, areniscas volcanoclásticas y arcósicas, calcarenitas fosilíferas, limolitas, lentes de cherts y calizas bioclásticas.
(a)		
(b)		
	<b>CPit</b>	<b>Formación La Tabla</b> (Carbonífero Superior-Pérmico Medio; ca. 328 - 259 Ma) <b>a)</b> Tobas riolíticas a dacíticas de matriz vítrea. <b>b)</b> Intrusivos hipabisales dacíticos a riolíticos.
(a)		
(b)		

## ROCAS INTRUSIVAS

(a)	<b>Eisa</b>	<b>Intrusivos de Sierra de Santa Ana</b> (Eoceno Inferior; 41 Ma) <b>(a)</b> Microdioritas y 'stocks' microdioríticos de hornblenda y piroxeno. Composición variable entre diorita, monzodiorita y monzodiorita cuarcífera. <b>(b)</b> Dacitas porfídicas de anfíbola. <b>(c)</b> Andesitas porfídicas de hornblenda de grano fino a medio.
(b)		
(c)		
	<b>Pmh</b>	<b>Intrusivos hipabisales del Paleoceno Medio</b> (ca. 60 Ma) <b>a)</b> Andesitas de hornblenda. <b>b)</b> Andesitas y dacitas de biotita y hornblenda.
(a)		
(b)		
	<b>Pih</b>	<b>Intrusivos hipabisales del Paleoceno Inferior</b> (ca. 66-65 Ma) <b>a)</b> Riolitas de biotita.
(a)		
	<b>Kshd</b>	<b>Intrusivos hipabisales dacíticos del Cretácico Superior</b> (ca. 69 Ma) Pequeños cuerpos de composición dacítica con hornblenda y biotita.
	<b>Kshsc</b>	<b>Intrusivos hipabisales de Sierra Candeleros</b> (Cretácico Superior, ca. 86 Ma) Stocks y cuerpos tipo filón manto, de composición andesítica a dacítica.

# S I M B O L O G Í A

	Fotolineamiento
	Contacto geológico observado / inferido
	Falla observada
	Falla inferida / cubierta
	Falla normal observada, símbolo indica bloque hundido
	Falla normal inferida / cubierta
	Falla inversa observada, símbolo indica bloque alzado
	Falla inversa inferida / cubierta
	Falla de rumbo dextral
	Traza de plano axial, de anticlinal con indicación de buzamiento de eje
	Traza de plano axial, de sinclinal con indicación de buzamiento de eje
	Traza de plano axial, de anticlinal
	Traza de plano axial, de sinclinal
	Rumbo y manto de estrato
	Rumbo y manto fotointerpretado de estratos inclinados
	Rumbo y manto de estratos verticales
	Escarpe indicando área deprimida
	Escarpe geológico
	Dique andesítico
	Veta
	Mina o laboreo minero. Número correlativo en tabla anexa al texto
	Yacimiento o prospecto no metálico
	Traza de perfil geológico
	Quebrada seca o curso intermitente
	Camino sin pavimentar
	Huella o sendero
	Línea férrea
	Curva de nivel
	Cota (m s.n.m.)

## ALTERACIÓN HIDROTHERMAL

	Actinolítica		Propilítica
	Argílica		Silícica
	Argílica avanzada		Skarn
	Carbonática		Solfatárica
	Fílica		Indiferenciada

## DATACIONES RADIOMÉTRICAS (Ma)

	K-Ar roca total
	K-Ar biotita
	K-Ar alunita
	K-Ar plagioclasa
	K-Ar hornblenda
	K-Ar masa fundamental
	$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ biotita
	$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ masa fundamental
	$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ plagioclasa
	$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ hornblenda
	$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ anfíbola
	$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ sanidina
1	Edad plateau
2	Edad integrada
3	Edad isócrona inversa
	U-Pb en circón
	U-Pb en circón detrítico
mín	Edad interpretada como mínima
máx	Edad interpretada como máxima
alt	Edad obtenida en minerales de alteración

## FUENTE DE LAS DATACIONES RADIOMÉTRICAS

1	Venegas et al., 2013
2	Cornejo y Mpodozis, 1996
3	Marinovic, 1995
4	Naranjo y Cornejo, 1989
5	Naranjo y Puig, 1984

## FUENTE DE LA INFORMACIÓN BIOESTRATIGRÁFICA

1	Venegas et al., 2013
2	Cornejo y Mpodozis, 1996
3	Gygi y V. Hillebrandt, 1991
4	Chong y V. Hillebrandt, 1985
5	Naranjo y Puig, 1984
6	Covacevich, 1980
7	Aguilar, 1979
8	Covacevich, 1979

## 2.4. Geología estructural

La propiedad minera MHC está ubicada en una zona con registro de una larga y compleja evolución estructural en la que numerosos eventos de deformación se sobre imponen desde el Paleozoico hasta el Neógeno. Los rasgos estructurales más antiguos corresponden a la discordancia angular que existe entre las rocas paleozoicas de la Formación La Tabla (CP1t) y triásicas de la Formación Quebrada del Salitre (Trqs) y la inconformidad que se observa entre los Granitoides paleozoicos del Complejo Plutónico punta del Viento (CPcpv) y la Formación Quebrada del Salitre (Trqs). Los cambios abruptos de litofacies marcarían los rasgos paleogeográficos durante el Triásico, con dominios volcánico-sedimentario, en parte, continentales (bloques alzados) y dominios marinos (bloques deprimidos). Evidencias de una deformación extensional durante el Triásico se observan en el sector de la quebrada Vaquillas Altas, donde fallas normales lítricas, de orientación aproximada NNO-SSE, son sin-depositacionales y afectan solo las rocas de la Formación Quebrada del Salitre (Trqs) y no deforman a las rocas de la Formación Profeta (Jp), a la que sobreyacen en leve discordancia angular.

Posterior al sistema de cuencas de rift se depositan extensas secuencias sedimentarias marinas Jurásicas (Jp) que representan al relleno de una cuenca subsidente de trasarco que se desarrollo a lo largo de todo el norte de Chile (Coira *et al.*, 1982; Muñoz *et al.*, 1989). La depositación marina en la cuenca jurásica cesaría durante el Cretácico Inferior, lo cual está representado por la existencia de secuencias sedimentarias continentales del Cretácico Inferior en la unidad Estratos del Chaco (Kiec), que se depositaron en concordancia sobre areniscas de ambiente somero de la Formación Profeta (Jp5). Las rocas continentales (Kiec) y el nivel stratigráfico superior de la Formación Profeta (Jp5) fueron afectadas por un evento de deformación contraccional que formó amplios pliegues concéntricos, como el sinclinal Del Chaco (SE de la Sierra Candeleros). Es probable que el comienzo de la reactivación de estructuras heredadas del Mesozoico se haya desarrollado durante la fase de deformación 'Peruana' (Jaillard, 1967), fase de deformación a la que se le atribuye el comienzo del desarrollo de la Faja Plegada y Corrida Exploradora (FPCE).

Posteriormente habrían experimentado un nuevo pulso de deformación contraccional acotado al límite Cretácico-Terciario, denominada fase K-T (Cornejo *et al.*, 2003), la cual se manifiesta a través de amplios pliegues que afectan a las rocas de las formaciones Llanta (?).

La principal deformación que dio origen a la cordillera de Domeyko habría ocurrido durante el Eoceno, particularmente durante la fase Incaica (Maksaev, 1990; Tomlinson *et al.*, 1993; Maksaev y Zentilli, 1999; Niemeyer y Urrutia, 2008) y es posible diferenciar dos dominios estructurales en la cordillera de Domeyko, uno norte, donde la tectónica imperante es a

través de fallas de zócalo tipo 'pop-up' que exponen en superficie un núcleo de basamento intrusivo (paleozoico) y uno sur, donde domina un estilo de deformación de escama delgada que corresponde al límite norte de FPCE (Cornejo y Mpodozis, 1996).

La Falla el Profeta, que limita el bloque paleozoico por el Oeste, pone en contacto rocas paleozoicas de la Formación La Tabla (CPlt) por sobre sedimentitas jurásicas (Jp), mientras que el plegamiento asociado a ésta, que afecta las rocas del Jurásico, queda evidenciado por numerosos pliegues apretados de vergencia Oeste. Posterior a la fase incaica, extensos depósitos de gravas (Formación Pampas de Mula, OMpm) se depositan en discordancia sobre unidades Paleozoicas, Mesozoicas y Cenozoica.

Durante el Mioceno Medio al Plioceno, la deformación no es de gran magnitud en la zona occidental. Mientras que en el sector Este se reconoce la continuación del sistema de falla Sierra de Varas (Niemeyer y Urrutia, 2009), la que se denomina falla Río Frío y tiene orientación NNO-SSE. Se reconocen, al menos, dos pulsos de deformación contraccional durante el Mioceno-Pleistoceno, evidencia de esto es el desplazamiento vertical neto de la ignimbrita Río Frío (18 Ma). Los movimientos de esta falla quedan también reflejados por la formación de un pliegue anticlinal de arrastre que afecta a la ignimbrita Río Frío en el bloque colgante. Además se observan, en este sector, escarpes de fallas inversas NS que habrían generado y restringido la extensión de extensos abanicos aluviales (PIHa).

## 2.5. Marco metalogénico

En el área de la Sierra Vaquillas Altas existen escasas ocurrencias de mineralización metálica y de rocas y minerales industriales de importancia económica. En este momento no existen minas en actividad en el área, antiguamente fueron explotados los yacimientos Vaquillas y Vetas Negras y otras zonas de potencial interés metalogénico son los prospectos Nueve Vidas, Incahuasi, Cenizas, Victoria I y II, Chaco y Picarón, todas propiedad de la minera MHC ubicados en el proyecto Victoria (figura 2.4). Además, se registran evidencias de exploración básica (calicatas, zanjas y/o sondajes) en sectores alterados al este de la quebrada Vaquillas, y laboreos ocasionales en pequeños piques restringidos a la sierra Vaquillas Altas, así como en una mina de travertino, de dimensiones métricas, inmediatamente al suroeste de la mina Vaquillas (Venegas *et al.*, 2013).

El proyecto Victoria, actualmente propiedad de MHC, registra una antigua historia de explotaciones asociadas principalmente a Ag en sistemas vetiformes en la mina Vaquillas y ha sido objetivo de numerosas campañas de exploración que han llevado a cabo distintas

compañías desde la década de los 80, y que se han concentrado en los prospectos ya mencionados. Su gran extensión incluye distintos tipos de sistemas y estilos de mineralización, a modo general incluye: anomalías de Au en diversos estilos de mineralización, Ag en sistemas vetiformes y de brechas y Cu en sistemas de pórfido cuprífero (Hub y Muñoz, 2011). A continuación se dará una breve descripción de los prospectos mencionados junto con su ubicación dentro del proyecto Victoria.

### **2.5.1. Prospecto Vetas Negras**

El prospecto Vetas Negras corresponde a un domo riolítico a dacítico de 1x3 km, con alteración argílica y filica con estructuras mineralizadas de orientación NNE y NNW ricas en Ag de 1 a 2 m de espesor y anomalías de Zn, que fue explotado mediante operaciones históricas subterráneas y se encuentra actualmente abandonada (Cass, 2007).

### **2.5.2. Prospecto Vaquillas**

El blanco Vaquillas es una mina subterránea de plata que comenzó a operar finales del siglo XIX y que durante la década de 1980-1990 fue explotada mediante operaciones a rajo abierto, actualmente está abandonada y constituye un blanco de exploración. Este prospecto tiene dimensiones de 5.5x2 km (Cass, 2007) y se emplaza en un complejo volcánico piroclástico de composición andesítica a dacítica de posible edad cretácea que es cortado por algunos diques o sills de igual composición. Su mineralización está fuertemente controlada por el sistema estructural de la zona que permitió la circulación de fluidos y emplazamiento de minerales en estructuras principales de orientación NNW-SSE y secundarias de orientación NE-SW y NW-SE, los cuerpos mineralizados corresponden a sistemas de brechas y craquelamiento hidrotermal (Hub y Muñoz, 2011).

### **2.5.3. Prospecto Cenizas**

El blanco Cenizas tiene dimensiones de 1.5 km x 200 m y está localizado 10 km al sur del prospecto Vaquillas (Cass, 2007). Se emplaza en un basamento compuesto por intercalaciones de tobas brechosas de composición intermedia a ácida, areniscas y areniscas calcáreas, intruidos por una serie de diques y cuerpos dacíticos, andesíticos, pórfidos dacíticos y dioríticos. Presenta además una fuerte alteración supérgena asociada a gran cantidad de piritita diseminada presente en el sistema y que al oxidarse generan agilización, y es dentro de esta secuencia

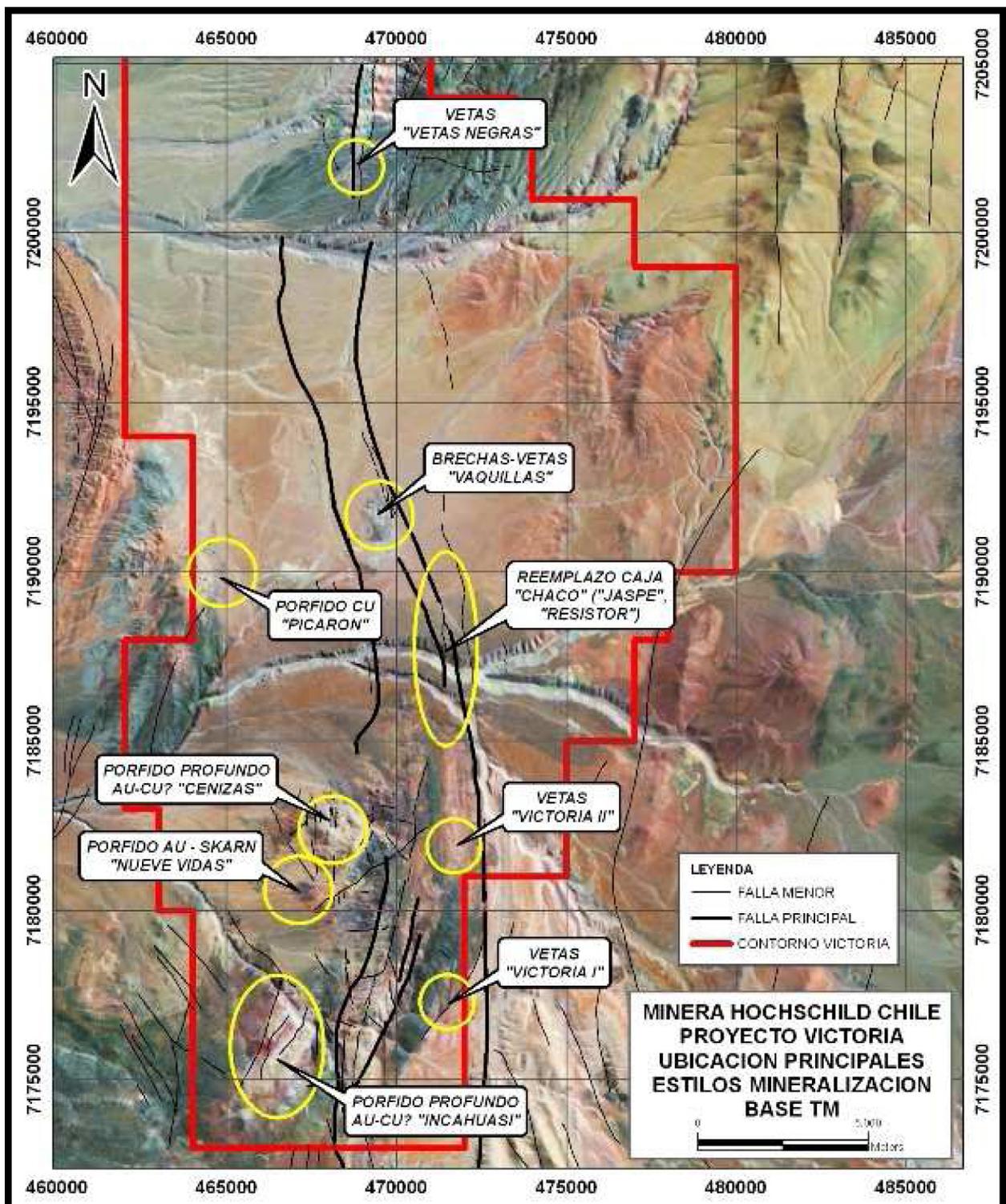


Figura 2.4: Ubicación de los prospectos existentes en el Proyecto Victoria (imagen tomada de Hub y Muñoz (2011)).

alterada que se habían definido en el pasado una serie de estructuras de jarosita-hematita-cuarzo de orientación predominante NS en general anómalas en Au, que fueran blanco de numerosos sondajes de aire reverso en campañas anteriores, sin embargo, aparentemente no se tratarían de estructuras sino de un nivel en particular de la secuencia más receptiva a la circulación de los fluidos y piritización y correspondería a un sistema de pórfido profundo (Hub y Muñoz, 2011).

#### **2.5.4. Prospecto Nueve Vidas**

El blanco Nueve Vidas ha sido explorado por números compañías, entre ellas MHC, Rio Tinto y El Dorado, y corresponde a un cuerpo diorítico a tonalíticos de 1x1 km de área localizado 2 km al SW del prospecto cenizas sobre el SFD (Cass, 2007). La zona de alteración se emplaza en cajas sedimentarias y tobas que han sido afectadas por fuerte silicificación y skarnización producto del emplazamiento del complejo intrusivo, también afectado en parte por fenómenos de endoskarn, presencia de sulfuros (principalmente pirita) y por anomalías de Au (Hub y Muñoz, 2011). La mineralización consiste principalmente en *stockwork* de magnetita-epidota y magnetita-apatito en intrusivos brechizados (Cass, 2007) y su naturaleza podría corresponder a un sistema pórfido Au o un sistema IOCG.

#### **2.5.5. Prospecto Incahuasi**

El prospecto Incahuasi se encuentra 5 km al sur del prospecto Nueve Vidas y consiste en un extenso sistema de alteración encajado en una secuencia de areniscas, conglomerados, tobas, volcánicas, con presencia de illita hasta sericita, en algunos sectores potencialmente con alteración más fuerte del tipo argílica avanzada y algunos sectores con desarrollo de brechas de turmalina. En general el sistema cuenta con bastante pirita diseminada o en vetillas (Hub y Muñoz, 2011) y anomalías de Cu, Mo y Au y la mineralización se encuentra asociada principalmente a vetillas y vetas de cuarzo y parches de jarosita-hematita-magnetita (Cass, 2007), correspondería a un sistema de pórfido profundo (Hub y Muñoz, 2011).

#### **2.5.6. Prospecto Chaco**

Se denomina prospecto Chaco a la quebrada del mismo nombre en tramos donde se exponen dos fallas principales pertenecientes al SFD y donde el basamento sedimentario presenta una fuerte alteración y contenido de pirita diseminada o en vetillas, que incluye zonas de

silicificación y correspondería, por lo tanto, a un sistema de reemplazamiento en la roca caja (Hub y Muñoz, 2011). La zona tiene anomalías de Au y hacia la parte W de este blanco los muestreos de rocas de MHC indican valores anómalos de Cu junto a alteración propilítica (Hub y Muñoz, 2011).

### **2.5.7. Prospectos Victoria I y II**

Ambos prospectos corresponden a sistemas de brechas y vetas de dirección NNE-SSW, NE-SW, y NE-SW, distribuidos irregularmente en el lado este de la propiedad minera, dentro las secuencias mesozoicas, presentando potencias de 20 cm hasta 2 metros aproximadamente, y pueden llegar a alcanzar longitudes de hasta 500 metros (SAMSA, 2012). Victoria I comprende una veta principal de baritina y cuarzo con anomalías de Au, Cu y Ag y Victoria II comprende varias vetas de baritina, cuarzo, jarosita y hematita con anomalías de Au, Ag, Pb y Zn (SAMSA, 2012).

### **2.5.8. Prospecto Picarón**

El prospecto Picarón tiene dimensiones de 3x3 km y la zona está cubierta casi en su totalidad por gravas y posee un patrón de alteración que sugiere la existencia de un sistema tipo pórfido cuprífero con un centro potásico y halo propilítico con alteración sericita y argílica sobreimpuesta (Cass, 2007).

# Capítulo 3

## Geología Local

### 3.1. Litología

En el área de estudio MHC realizó un mapeo en superficie durante el año 2011, en el cual se confeccionaron los siguientes mapas geológicos (figura 3.1) y de alteración (figura 3.2), posteriormente, debido a las alteraciones presentes, a la recopilación de datos históricos hecha por los geólogos MHC y a que los resultados de los análisis geoquímicos realizados en trincheras del área arrojaron valores interesantes de Cu y Au, se propusieron hacer 6 sondajes de diamantina, ya que la zona fue identificada como blanco exploratorio de tamaño considerable. Los sondajes fueron perforados entre fines del 2011 y comienzos del 2012, y se definieron nueve unidades intrusivas, dos unidades sedimentarias y dos unidades de origen volcánico.

Para la clasificación litológica de los intrusivos se utilizaron las diferencias mineralógicas y características texturales propias de cada unidad y para rocas estratificadas se diferenciaron según su composición. La alta densidad y variedad de venillas, tanto en intrusivos como en la roca caja, llevo a la realización de un análisis paragenético, que consistió en un análisis puntual en los tramos de sondajes donde fuera posible distinguir un orden secuencial de estas venillas. Las características texturales y composiciones propias de cada unidad, sumadas al análisis paragenético permitieron su clasificación y ordenarlos en pre mineral, mineral temprano, inter mineral, mineral tardío y post mineral.

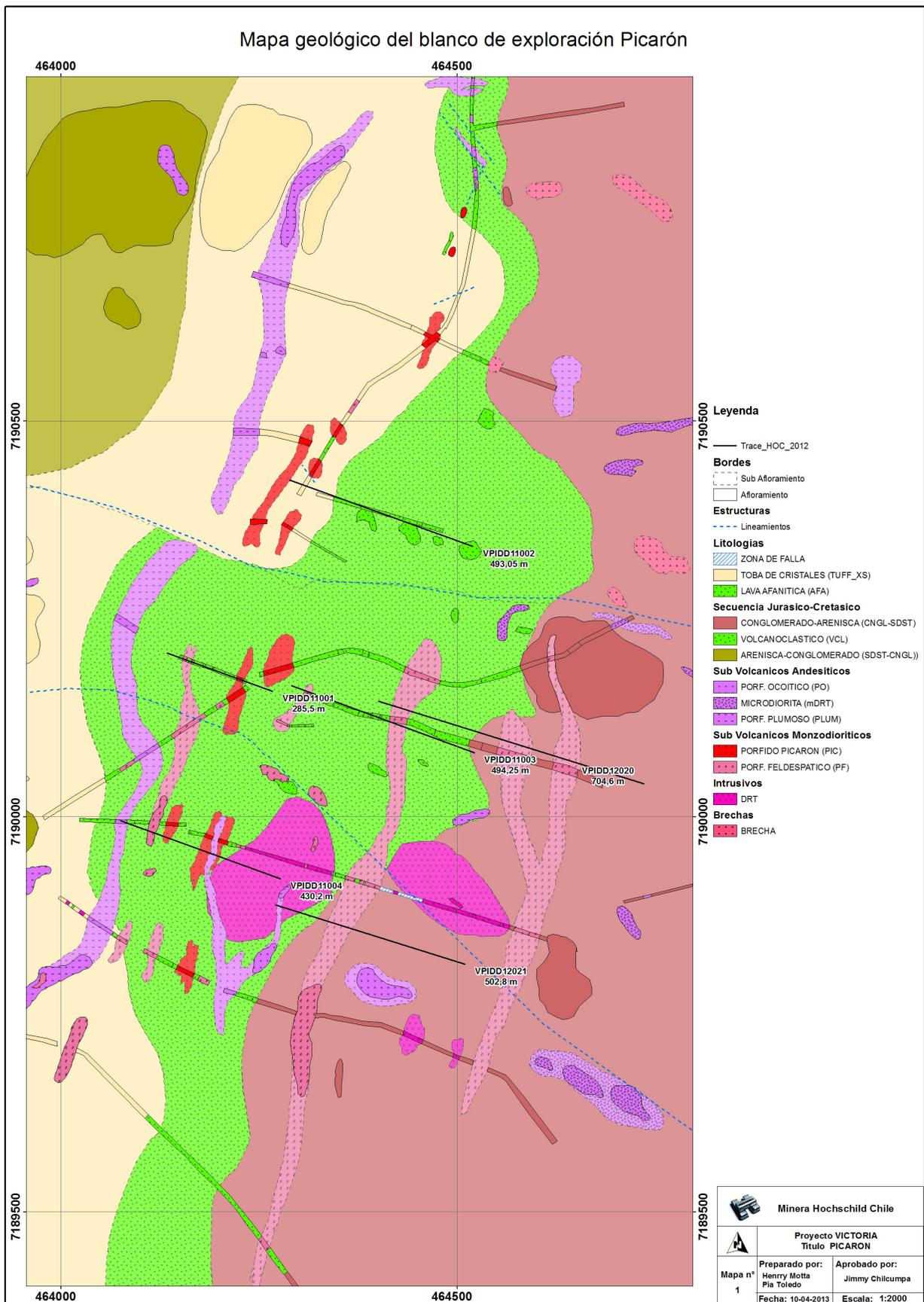


Figura 3.1: Mapa geológico del blanco de exploración Picarón. Realizado por geólogos MHC.

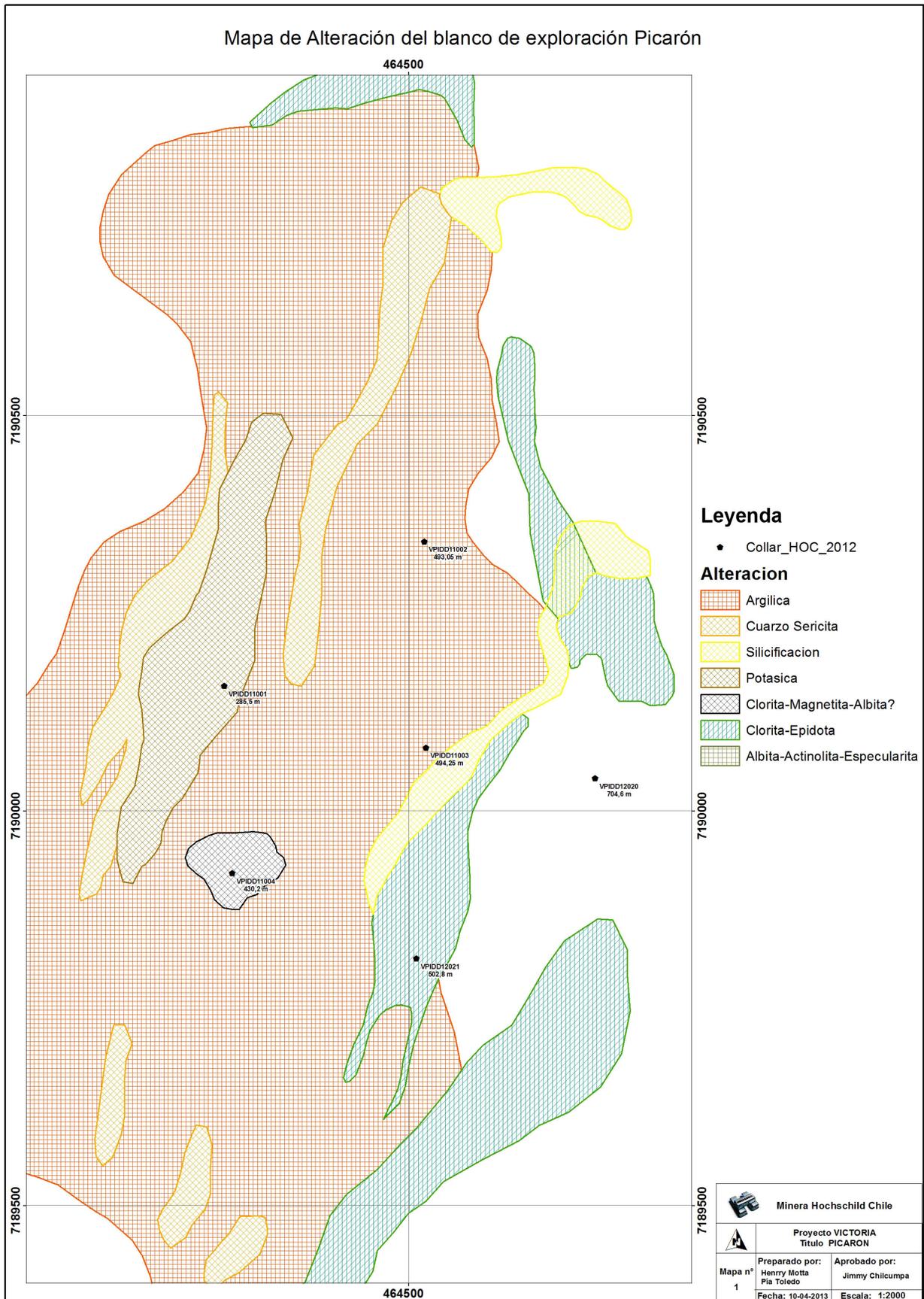


Figura 3.2: Mapa de alteración del blanco de exploración Picarón. Realizado por geólogos MHC.

### 3.1.1. Clasificación de venillas

Se pudieron clasificar 14 tipos principales de venillas (EV1-EV14). Estas se describen a continuación y sus características de relleno y estructurales se encuentran resumidas en la tabla 3.1.

- (1) QZ-1 - EV1: Cuarzo hialino granular muy deformado, con microfracturas y seccionada por partes. Potencias varían de 1mm a 20 mm.
- (2) QZ-S - EV2: Cuarzo hialino de leve sinuosidad con diseminación de molibdenita, y ocasional pirita, calcopirita y/o algún sulfuro de Cu gris. Potencias varían de 1mm a 3 mm. Presenta reactivaciones y se observan 2 veces en el análisis cronológico.
- (3) QZ-2 - EV3: Cuarzo hialino, planar a levemente sinuoso, <2 mm de potencia.
- (4) QBAN - EV4: Cuarzo blanquecino, presenta bandeamiento irregular con calcita y en ocasiones reemplazado por pirita y/o molibdenita. Potencias entre 5 a 20 mm.
- (5) QZ[AB] - EV5: Cuarzo hialino con halo albítico, mayormente acompañado de pirita, y ocasionalmente de molibdenita.
- (6) CP - EV6: Clorita acompañada por intercrecimiento de pirita, en ocasiones con magnetita.
- (7) S[AB] - EV7: Pirita grano fino, irregular con halo albítico.
- (8) S[SE] - EV8: Pirita grano fino, irregular con halo serícítico.
- (9) QZ[SE] - EV9: Cuarzo hialino con halo serícítico, presencia de pirita.
- (10) QZ-S2 - EV10: Cuarzo hialino de 2 a 10 mm de potencia, con sutura de pirita, y ocasionales trazas de molibdenita y sulfuros de Cu.
- (11) QZB - EV11: Cuarzo hialino sinuoso a levemente sinuoso, presentan trazas de pirita en parches irregulares. Potencias entre 2 a 10 mm.
- (12) SS - EV12: Venillas de pirita grano fino a medio, irregulares y en ocasiones acompañadas de otros sulfuros.
- (13) QLCH/CAL - EV13: Venillas de calcita y cuarzo blanco lechoso irregulares con intercrecimiento de calcita.

(14) GY - EV14: Yeso cristalino, se presenta de forma planar y/o muy irregular.

Tabla 3.1: Resumen de clasificación de venillas. Qz hial: cuarzo hialino, Py: pirita, Cpy: calcopirita, Mo: molibdenita, Qz lech: cuarzo lechoso, Mgt: magnetita, Sulf Cu: sulfuros de Cu, Ca: Calcita, Gy: yeso, r: recto, s: sinuoso, d: discontinuo/segmentado, Reg: regular y Irreg: irregular.

Vetilla		Mineralogía		Estructura			Potencia
Evento	Tipo	Vetilla	Halo de Alteracion	Cajas r s d	Bordes Reg Irreg		
EV1	QZ-1	<b>Qz hial</b>	No presenta	X X	X		1-3 mm
EV2	QZ-S	<b>Qz hial-Py-Cpy-Mo</b>	No presenta	X X	X		1-3 mm
EV3	QZ-2	<b>Qz hial</b>	No presenta	X X	X		<2 mm
EV4	QBAN	<b>Qz lech-Ca-Py-Mo</b>	No presenta	X X		X	5-20 mm
EV5	QZ[AB]	<b>Qz hial-Py-Mo</b>	Ab	X	X		2-5 mm
EV6	CP	<b>Chl-Py-Mgt</b>	No presenta	X X		X	1-2 mm
EV7	S[AB]	<b>Py</b>	Ab	X		X	0.5-2 mm
EV8	S[SE]	<b>Py</b>	Ser	X X		X	1-2 mm
EV9	QZ[SE]	<b>Qz hial-Py</b>	Ser	X X	X X		1-2 mm
EV10	QZ-S2	<b>Qz hial-Py-Mo-Sulf Cu</b>	No presenta	X		X	2-10 mm
EV11	QZB	<b>Qz hial- Py</b>	No presenta	X		X	2-10 mm
EV12	SS	<b>Py- Sulf</b>	No presenta	X X	X X		1-2 mm
EV13	QLCH/CAL	<b>Ca-Qz lech</b>	No presenta	X		X	1-5 mm
EV14	GY	<b>Gy</b>	No presenta	X X		X	1-2 mm

### 3.1.2. Unidades Intrusivas

Las unidades intrusivas se describirán tomando en consideración la clasificación hecha por MHC en pre mineral, mineral temprano, inter mineral, mineral tardío y post mineral. Estos pórfidos se pueden correlacionar con los Intrusivos Hipabisales Andesíticos de Sierra Candeleros (Kshsh).

#### 3.1.2.1. Intrusivos Pre mineral

Corresponden a cuerpos tabulares de color gris verdoso, de composición diorítica con una textura fanerítica microgranular que presenta todos los tipos de venillas. Esta microdiorita está compuesta de un 50 % de cristales de plagioclasas de 1 mm, 30 % de cristales de hornblenda de 1 mm, además presenta biotita y magnetita (Dávila, 2012). Presenta una alteración de clorita que le da el color característico y una alteración potásica débil evidenciada en la presencia de biotita secundaria. Se presenta en superficie en el sector centro-sur del área de estudio y en los sondeos VPIDD11001 y VPIDD11004 (figura 3.3).

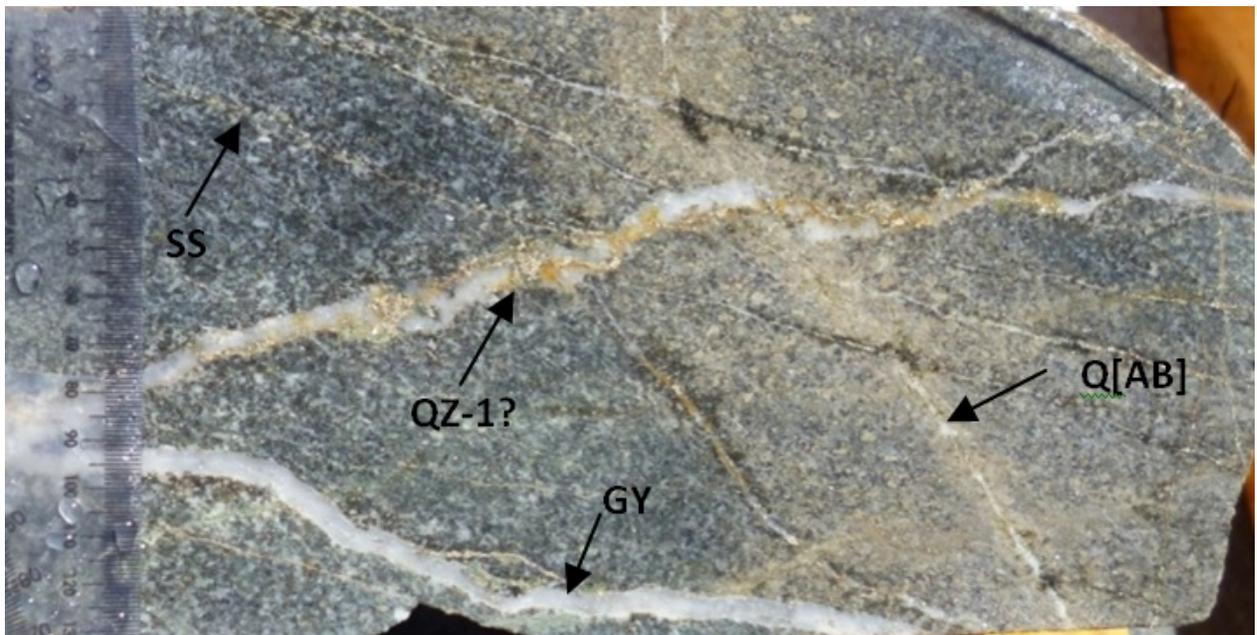


Figura 3.3: Muestra del sondaje VPIDD11004 entre los 40.8 y 41 m. Corresponde a una microdiorita en la que se destacan las venillas presentes (figura tomada de [Dávila \(2012\)](#)).

### 3.1.2.2. Intrusivos Mineral Temprano

Corresponden al principal evento de mineralización que enriquece de Cu-Mo al sistema, pertenecen a esta clasificación el Pórfido Biotítico y el Pórfido Picarón, ambos presentan todos los tipos de venillas y están formados por cuerpos tabulares.

El Pórfido Biotítico no aflora en superficie y se presenta solo en los sondajes VPIDD12020 y VPIDD12021. Corresponde a una monzodiorita de textura porfírica con un 55 % de fenocristales de plagioclasas de entre 2-3 mm, y 15 % de biotitas cuyo tamaño no sobrepasa los 3 mm. La matriz es gris con feldespatos ([Dávila, 2012](#)) y es posible distinguir plagioclasas zonadas producto de albitización, presenta una alteración potásica débil (figura 3.4).

El Pórfido Picarón está presente en los seis sondajes, con mayor ocurrencia en el VPIDD11004, y corresponde a un grupo de cuerpos tabulares que en superficie tienen una orientación N-NE. Es una diorita de naturaleza subvolcánica y textura porfírica con fenocristales de plagioclasas y hornblendas. Las plagioclasas son equigranulares entre sí con tamaños que varían entre 2 a 3 mm aproximadamente y representan el 40 % de la roca, las hornblendas tienen tamaños de entre 1-1,5 mm y representan el 15 % de la roca. La matriz es feldespática ([Dávila, 2012](#)) y presenta alteración potásica moderada, que consiste en una asociación biotita secundaria-albita-clorita (figura 3.5).

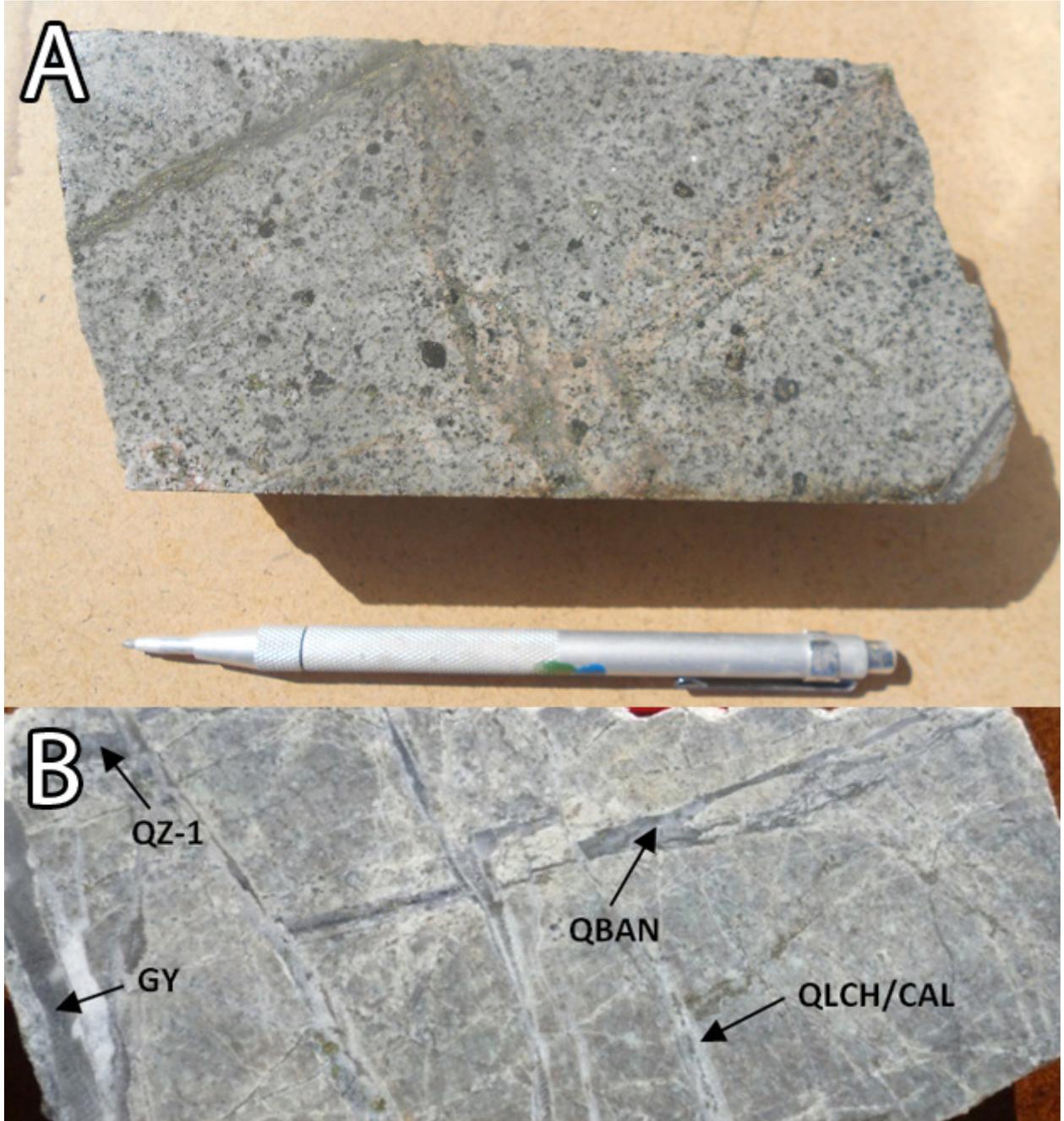


Figura 3.4: (A) Muestra del sondaje VPIDD12020 entre los 333.9 y 334.2 m. Corresponde al Pórfido Biotítico en la que se ve la textura porfírica característica. Presenta alteración sericítica, clorita selectiva a minerales máficos y albita en los bordes de venillas. (B) Muestra del sondaje VPIDD12020 entre los 394.7 y 394.9 m. Corresponde al Pórfido Biotítico en la que se destacan las venillas presentes (figura tomada de Dávila (2012)).

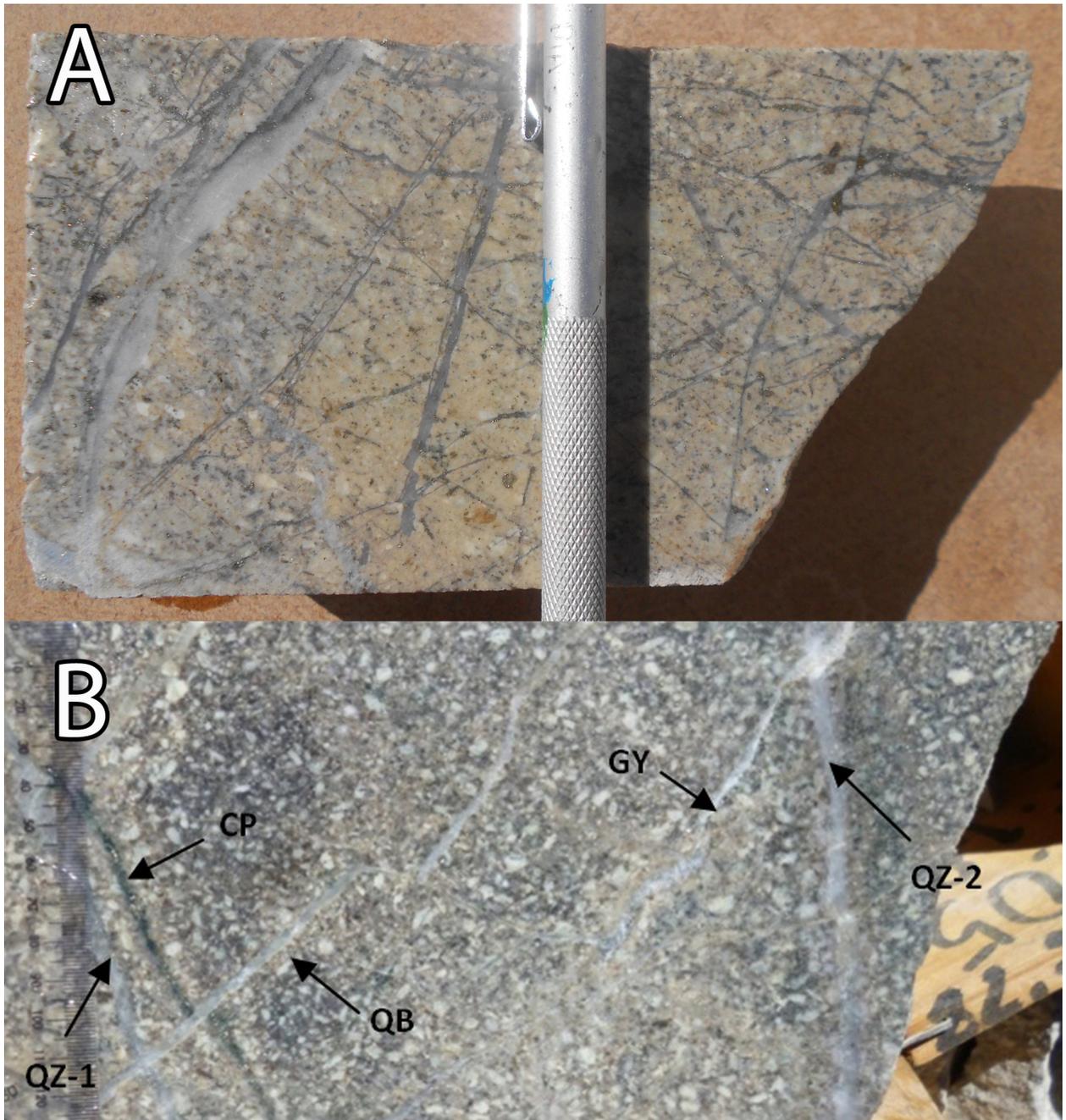


Figura 3.5: (A) Muestra del sondaje VPIDD11001 entre los 442 y 442.15 m. Corresponde al Pórfido Picarón en la que se ve la textura equigranular característica y la alta densidad de venillas. Presenta alteración albíta intensa, sericita sobrepuesta y parches de biotita secundaria. (B) Muestra del sondaje VPIDD11001 entre los 86 y 86.15 m. Corresponde al Pórfido Picarón en la que se destacan las venillas presentes (figura tomada de Dávila (2012)).

### 3.1.2.3. Intrusivos Inter Mineral

Son cuerpos diqueformes con baja mineralización, que se encuentran reemplazando al sistema pórfido inicial y presentan los tipos de venillas del 3 al 14 (Dávila, 2012). Se clasificaron en dos tipos de intrusivos; el Pórfido Plumoso y el Pórfido Feldespático, ambos intrusivos afloran en superficie con orientación N-NE y se presentan en los sondajes VPIDD11001, VPIDD11003, VPIDD11004, VPIDD12020 Y VPIDD12021, y el Pórfido Feldespático se presenta además en el VPIDD11002.

El Pórfido Plumoso se clasificó como un intrusivo monzodiorítico de textura porfírica, cuyos fenocristales se encuentran alineados en una matriz afanítica de color rosado y feldespática. Los fenocristales corresponden a plagioclasas con tamaños desde 2 a 4 mm (60 %) y hornblendas de menor tamaño, entre 0.5 a 1 mm, que representan el 20 % de la roca aproximadamente. En general presenta albitización con trazas de biotita secundaria en la matriz y clorita y epidota alterando selectivamente a los minerales máficos (figura 3.6).

El Pórfido Feldespático correspondería a una monzodiorita de textura porfírica con 50 % de fenocristales de plagioclasas de entre 2-3 mm. Presenta además minerales máficos en una proporción considerablemente menor que otros intrusivos, aproximadamente un 5 % de fenocristales de biotita de 3 mm y hornblendas de 1-2 mm. Presenta parches de biotita secundaria y albita (figura 3.7).

### 3.1.2.4. Intrusivos Mineral Tardío

Corresponde a pequeñas intrusiones diqueformes asociadas a anomalías de Au y presentan las venillas del 12 al 14 (Dávila, 2012). A esta clasificación pertenecen los pórfidos Equigranular Fino y Plumoso 2, ninguno de ellos se ve en superficie.

El Pórfido Plumoso 2 es un intrusivo monzodiorítico que se encuentra solo en el sondaje VPIDD12020. Tiene una textura porfírica con fenocristales de entre 1-2 mm de plagioclasas (50 %) y hornblendas (25 %) orientados de forma menos notoria que en el Pórfido Plumoso, la matriz es de color rosado y de composición feldespática. Presenta xenolitos de la roca caja volcanoclástica de hasta 10 cm y alteración en parches de clorita y selectiva a minerales máficos, albitización de plagioclasas (figura 3.8).

El Pórfido Equigranular Fino se presenta en los sondajes VPIDD11003, VPIDD12020 y VPIDD12021, corresponde a una diorita de textura Equigranular de grano fino y es esta la característica principal que lo diferencia del Pórfido Feldespático. Tiene cristales de plagioclasas

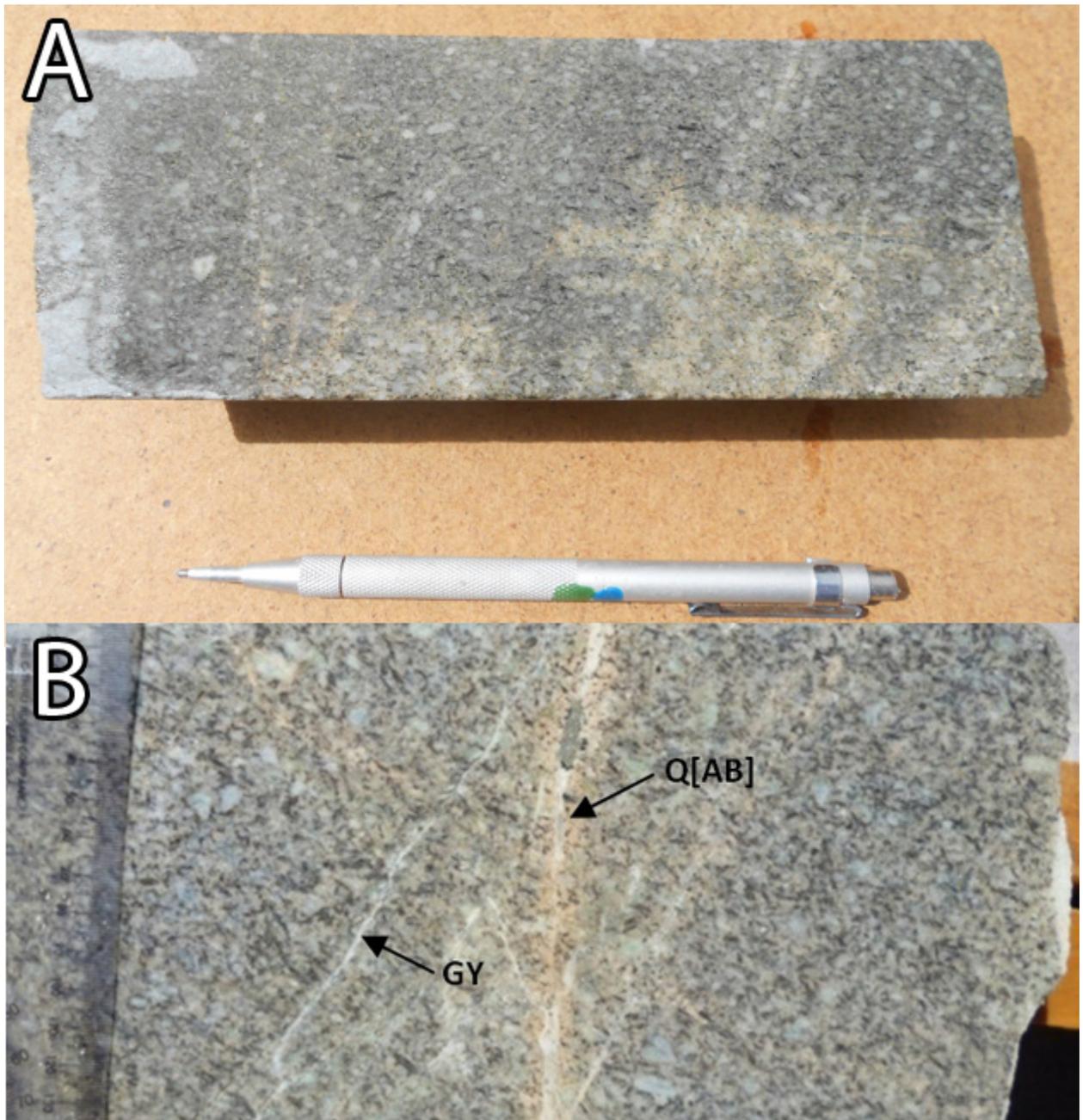


Figura 3.6: (A) Muestra del sondaje VPIDD11001 entre los 230.05 y 210.2 m. Corresponde al Pórfido Plumoso en la que se ve la textura característica con minerales máficos orientados. (B) Muestra del sondaje VPIDD11001 entre los 210.9 y 211 m. Corresponde al Pórfido Plumoso en la que se destacan las venillas presentes (figura tomada de [Dávila \(2012\)](#)).

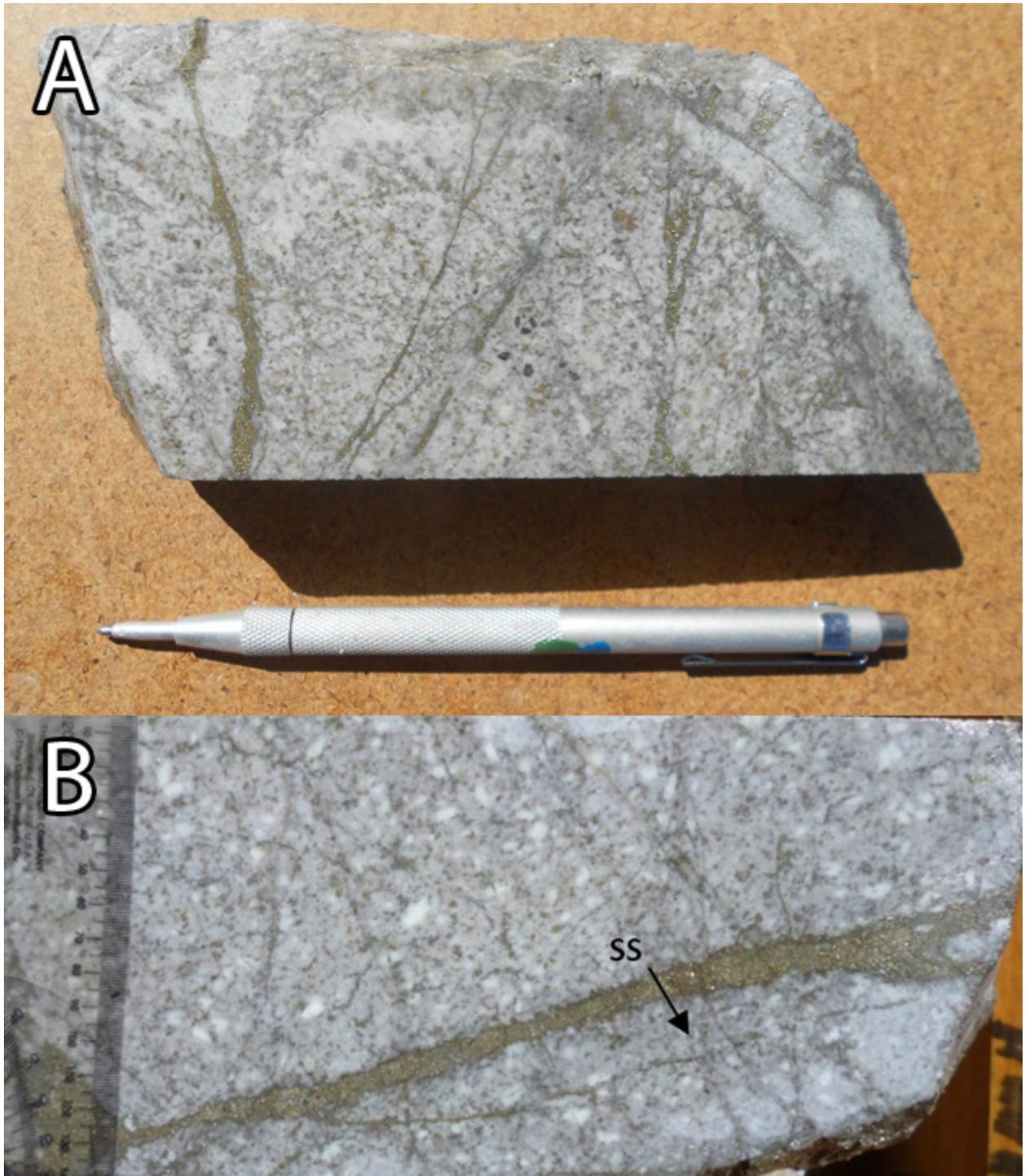


Figura 3.7: (A) Muestra del sondaje VPIDD11003 entre los 114.1 y 114.3 m. Corresponde al Pórfido Feldespático en la que se ve la textura porfírica característica y la baja presencia de minerales máficos. Presenta alteración fílica. (B) Muestra del sondaje VPIDD11003 entre los 216.35 y 216.5 m. Corresponde al Pórfido Feldespático en la que se destacan las venillas presentes (figura tomada de [Dávila \(2012\)](#)).



Figura 3.8: Muestra del sondaje VPIDD12020 entre los 301.45 y 301.55 m. Corresponde al Pórfido Plumoso 2 en la que se destaca la textura con minerales máficos orientados, granos más pequeños que el Pórfido Plumoso y presencia de xenolitos (figura tomada de [Dávila \(2012\)](#)).

(60%) y hornblendas (15%) de tamaños de entre 1-1,5mm y la matriz tiene una coloración rosada-beige por el contenido de feldespato potásico. La alteración es principalmente una albitización leve con presencia de magnetita y clorita-epidota en cúmulos (figura 3.9).



Figura 3.9: Muestra del sondaje VPIDD12020 entre los 33 y 33.4 m. Corresponde al Pórfido Equigranular Fino en la que se destaca la textura porfírica con tamaño de grano menos al Pórfido Picarón y matriz de grano fino con alteración albita (figura tomada de ([Dávila, 2012](#))).

### 3.1.2.5. Intrusivos Post Mineral

Estas unidades corresponderían al último pulso intrusivo y posiblemente cruzarían la falla de bajo ángulo. No tienen mineralización asociada y presentan solo los tipos de venillas EV13 y EV14 (Dávila, 2012). Estos cuerpos son diqueiformes, no afloran y se encuentran en los sondeos VPIDD11003, VPIDD11004 y VPIDD12020.

Los Sills y Diques Andesíticos, son cuerpos subvolcánicos de textura porfírica con fenocristales de plagioclasas de 2 mm (40 % de la roca) y tiene también fenocristales de hornblendas de 1 mm (15 % de la roca). La alteración predominante es albitización de las plagioclasas con sobreimposición de cuarzo-sericita (figura 3.10).

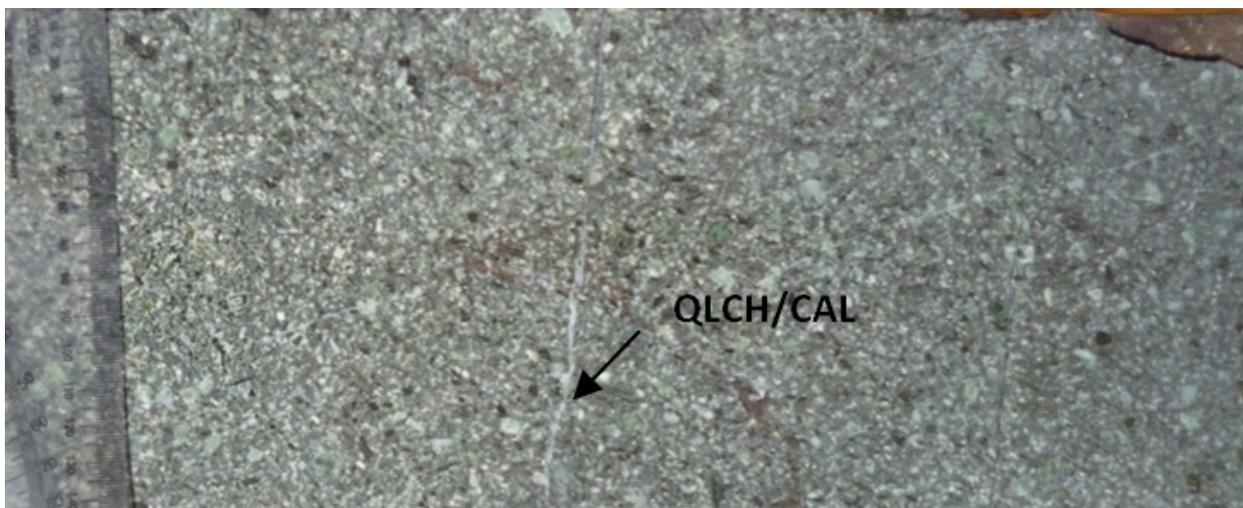


Figura 3.10: Muestra del sondeo VPIDD11003 entre los 458 y 458.15 m. Corresponde a los diques y sills andesíticos, en la que se destaca un tipo de venilla. Presenta alteración propilitica (figura tomada de (Dávila, 2012)).

El Pórfido Ocoitico es un intrusivo hipoabisal con textura porfírica de grano grueso. Presenta fenocristales de plagioclasas (60 %) que alcanzan tamaños de hasta 1 cm y cristales de hornblendas de 2 mm (15 %). La roca es competente, poco alterada, no presenta mineralización y tiene xenolitos de la roca caja (figura 3.11).

### 3.1.3. Unidades Estratificadas

#### 3.1.3.1. Unidad Sedimentaria

Esta unidad actúa como roca caja y está formada principalmente por areniscas de buena selección de grano medio y color amarillo con niveles más finos, que se encuentran intercaladas



Figura 3.11: Muestra del sondaje VPIDD11004 entre los 150 y 151.15 m. Corresponde al Pórfido Ocoitico en la que se destaca la textura característica con fenocristales de plagioclasas de hasta 1 cm.

con niveles de conglomerados, lutitas y calcarenitas con ocasionales sills andesíticos (Dávila, 2012), están en contacto con los niveles superiores por medio de una falla de bajo ángulo y presentan canales de silicificación con anomalías de Au. En superficie aflora en el sector NW de la zona de estudio, y se podría correlacionar con la Fm. Profeta (?) (figura 3.12).

### 3.1.3.2. Unidad Volcanoclastica

Corresponde a la principal roca caja y está compuesta por una intercalación de lavas de composición dacítica, depósitos volcanoclasticos y volcánicos retrabajados (Dávila, 2012), con niveles sedimentarios de areniscas de grano medio a grueso de composición polimíctica. Esta roca caja es muy receptora a la mineralización por su alta porosidad. En superficie se encuentra muy alterada, por sobre la falla de bajo ángulo y hacia el E de la zona de estudio se distingue un paquete de conglomerados arenosos de color rojizo con clastos de composición andesítica. Se correlaciona con la Fm. Estratos de Quebrada del Chaco (figura 3.13).

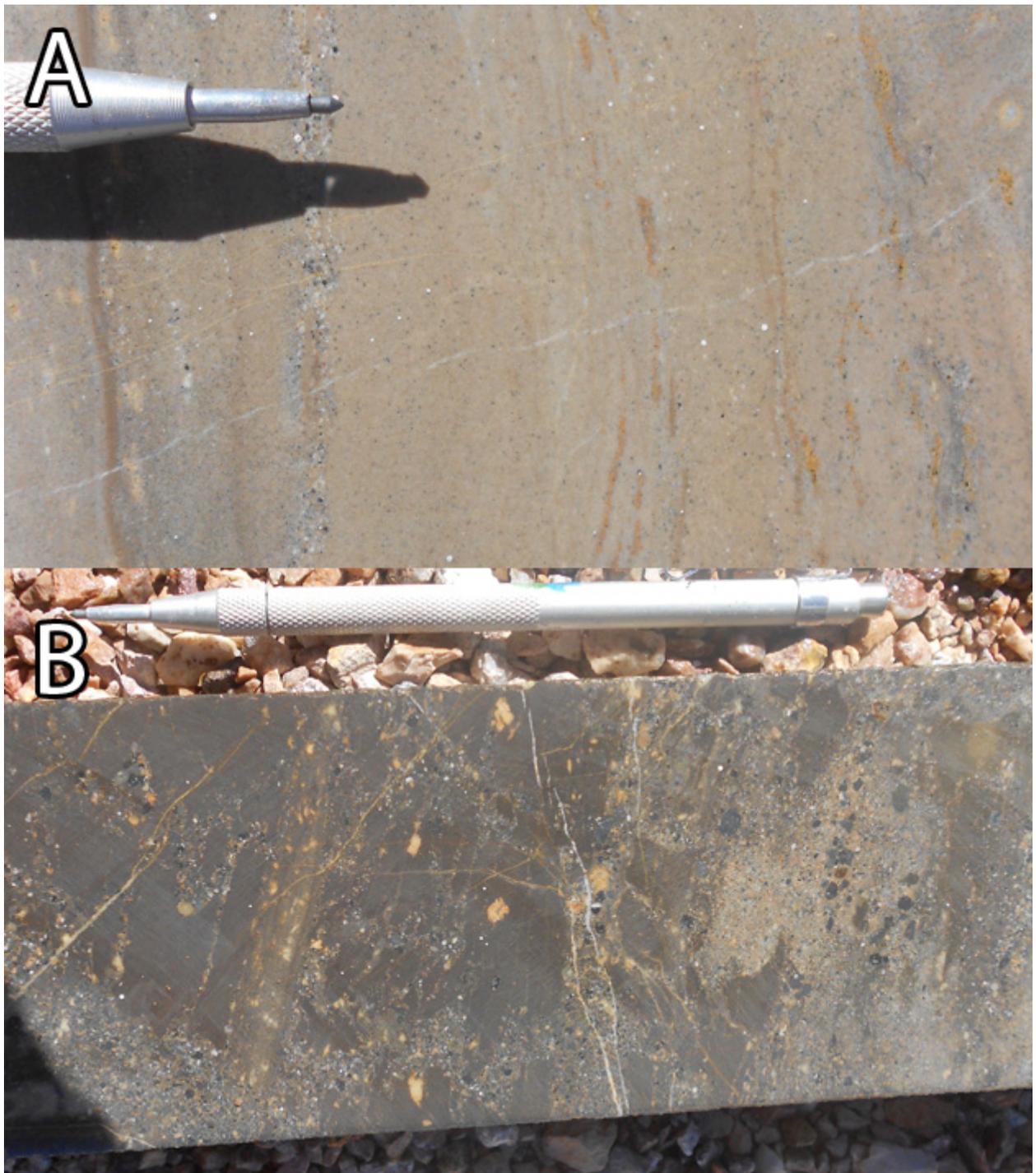


Figura 3.12: (A) Muestra del sondaje VPIDD11002 entre los 410 y 410.3 m. Corresponde a la roca caja sedimentaria de grano fino con buena selección con niveles clásticos polimícticos como se ve en (B) que corresponde a muestra de entre 410.5 y 410.7 m del mismo sondaje.



Figura 3.13: Muestra del sondaje VPIDD12020 entre los 41.15 y 41.35 m. Corresponde a la roca caja volcanoclástica cloritizada. Presenta clastos angulosos y polimícticos de composición andesítica y sedimentaria en una masa fundamental de líticos y cristales.

### 3.1.3.3. Unidad Tobas

Es un nivel de tobas vítreas de color blanco-rosado con cristales de plagioclasas alteradas de color blanco lechoso. En superficie se ven a lo largo de la zona de estudio, se encuentran muy argilizadas y podrían ser correlacionables con la Fm. Candeleros (figura 3.14).



Figura 3.14: Muestra del sondaje VPIDD11002 entre los 100 y 100.1 m. Corresponde a una toba vítrea muy fracturada de color rosado pálido con cristales de plagioclasas cloritizadas.

## 3.2. Alteración Hidrotermal

En el blanco Picarón se distingue una amplia variedad de asociaciones minerales de alteración, tanto en superficie como en profundidad, que afectan a diferentes tipos litológicos, para la clasificación la compañía realizó análisis petrográficos en GeoIntegral Consulting LLC a 40 muestras, con el fin de identificar mineralogía primaria y secundaria. Estas asociaciones minerales definen los siguientes tipos de alteración: potásica, albítica, cuarzo-sericita, propilítica y argílica moderada.

### **3.2.1. Alteración Potásica**

Corresponde a una asociación mineral compuesta por biotita secundaria, feldespato potásico y en menor cantidad clorita y cuarzo. Afecta principalmente al Pórfido Picarón y la roca caja volcanoclástica que lo rodea. La intensidad de la alteración aumenta en profundidad de débil a moderada, al igual que el estilo de mineralización que varía de presentarse en parches a ser pervasiva, tiene además alteraciones filica, argílica y propilítica sobreimpuestas y abundancia de vetillas de cuarzo multidireccionales que en algunos casos presentan sutura de pirita, calcopirita y molibdenita y en otros casos estos minerales están diseminados tanto en las vetillas como en la roca.

### **3.2.2. Alteración Calcosódica**

Esta caracterizada por la asociación mineral albita, actinolita, magnetita y especularita. Su presencia no es baja y débil, ya que es sobreimpuesta por otras alteraciones. En superficie se ve en el sector W del área y podría corresponder a un metasomatismo de contacto producto de las intrusiones tabulares del sector.

### **3.2.3. Alteración Albitica**

Se desarrolla principalmente en litologías inter mineral y mineral tardío y corresponde a presencia de albita alterando tanto la matriz de los intrusivos como las plagioclasas, tiene una intensidad moderada y se sobreimpone a la alteración potásica y calcosódica dejando solo remanentes de biotita secundaria y clorita.

### **3.2.4. Alteración Fílica**

La asociación mineral que la caracteriza se compone de cuarzo, sericita y pirita. Está muy desarrollada en los niveles superiores, es pervasiva y por lo general se encuentra sobreimponiéndose a alteraciones preexistentes y en halos de vetillas, mientras la pirita se encuentra diseminada. Está presente también en la unidad sedimentaria con una intensidad débil y masivos de pirita (Dávila, 2012) y en superficie se distingue un halo sericítico que rodea a la alteración potásica con boxwork de pirita en algunos sectores.

### **3.2.5. Alteración Propilítica**

Corresponde a la asociación mineral clorita y epidota con menor proporción de calcita, magnetita y albita. Esta alteración está asociada principalmente a los intrusivos pre mineral con una intensidad leve a moderada, se presenta también en los intrusivos mineral temprano e inter mineral con una intensidad leve y en superficie se identifica en la periferia de la zona de estudio. Por lo general la clorita se encuentra alterando a minerales máficos o de forma masiva en la matriz mientras que la epidota se ve en cúmulos.

### **3.2.6. Alteración Argílica**

Esta alteración se presenta en la zona más superficial y corresponde a una asociación de sericita, caolín y arcillas con una intensidad moderada a fuerte y un estilo de mineralización pervasivo. Está asociada a procesos supérgenos, oxidación y lixiviación de pirita. En superficie es la alteración dominante, se ve en todo el sector y presenta relictos de una alteración filica.

# Capítulo 4

## Geoquímica

### 4.1. Análisis Estadístico

Este capítulo entrega los resultados del estudio estadístico realizado a los análisis geoquímicos del blanco de exploración Picarón. Estos análisis fueron realizados a 1552 muestras, tomadas de forma sistemática en los 6 sondajes de la zona, los cuales fueron perforados durante los años 2011 y 2012, y consistieron en análisis de 36 elementos más Au. El objetivo de estos análisis fue cuantificar el contenido de elementos de interés, Cu, Au, Ag y Mo, así como de elementos relacionados con depósitos de tipo Pórfido Cuprífero, y poder reconocer concentraciones anómalas que puedan potencialmente representar algún yacimiento de interés económico.

Los análisis geoquímicos fueron hechos mediante espectrometría de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente ICP-AES con digestión por agua regia, y para el Au mediante un ensayo de fuego y análisis espectrometría de absorción atómica (AAS), ambos análisis se realizaron en el laboratorio ALS Geochemistry. Además se tomaron 380 muestras para control de calidad, 63 muestras de referencia estándar, 193 duplicados (duplicado fino, grueso y re-muestreo) y 124 muestras de material en blanco.

En este capítulo se describen los métodos utilizados para realizar el estudio geoquímico del prospecto Picarón, se expondrán los resultados obtenidos tanto del control de calidad, para asegurar la integridad de los datos utilizados, como los resultados de la estadística univariable y multivariable de las muestras propias de los sondajes de la zona.

### 4.1.1. Fundamentos y objetivos del muestreo y análisis geoquímico

El blanco de exploración Picarón está formado por un grupo de cuerpos intrusivos tabulares porfídicos con alteración hidrotermal asociada. En superficie consiste en un centro potásico, con presencia de biotita secundaria, con alteración filica sobreimpuesta y lateralmente por un borde propilítico, que afecta tanto a rocas intrusivas de composición intermedia como a la roca caja de origen volcanoclástico, y presenta también venillas de cuarzo, con y sin sutura de jarosita, y algunas con halo filico. En los sondeos realizados, y con el aumento de profundidad, los resultados arrojaron mayor presencia de sulfuros de Cu, de venillas y un cambio de alteración filica a una más potásica, lo que se interpretó como un cambio de condiciones a unas de mayor temperatura y cercanas al núcleo. Dados estos antecedentes la compañía decidió hacer un análisis geoquímico sistemático en los sondeos con el fin de determinar las concentraciones de los elementos de las unidades presentes en el prospecto. Los resultados arrojaron anomalías positivas de Cu, Mo, Ag y Au, en relación a los contenidos estándar de una corteza continental en un ambiente de subducción, además de bajos valores para el Zn y Pb, lo que es consistente con anomalías geoquímicas asociadas a sistemas porfíricos y se relaciona muy bien con el modelo de alteración visto en superficie, por lo tanto, el análisis estadístico univariable y multivariable tiene como objetivo principal encontrar similitudes y diferencias geoquímicas entre ellas, y si es posible, definir la geoquímica propia de cada intrusivo.

### 4.1.2. Control de calidad

El control de calidad se hace para asegurar la integridad de los datos utilizados para el manejo de una exploración minera, este control es parte del programa de *Quality Assurance/Quality Control* o QA/QC, que tiene como objetivos prevenir el ingreso de grandes errores a las bases de datos, demostrar que los muestreos y las discrepancias analíticas son pequeños y garantizar la precisión y exactitud de la información. El QA/QC no está restringido solamente al monitoreo de datos geoquímicos, sino que incluye también la recolección y preparación de las muestras, seguridad, métodos analíticos, administración de la base de datos y análisis de la información geológica y analítica.

Los errores de muestreo se determinan tradicionalmente en términos de precisión y exactitud como se aprecia en la figura 4.1. La precisión mide la repetibilidad, es decir, mide la habilidad de reproducir consistentemente una medida, y exactitud mide que tan cerca está el valor de una muestra con respecto a su valor real.

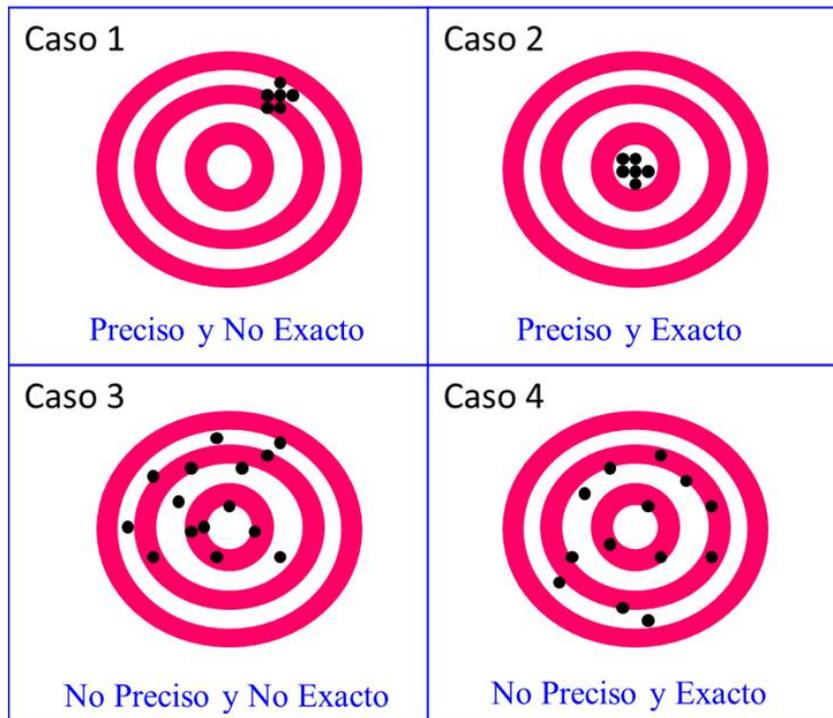


Figura 4.1: Diagrama que explica los conceptos de precisión y exactitud de los datos.

El programa de QA/QC en el muestreo, consiste en la inserción rutinaria de materiales de control de calidad. Estos materiales son de diferentes tipos y se analizan con el fin de monitorear y medir el desempeño del laboratorio y corresponden a material de referencia estándar, material en blanco, muestras duplicadas y muestras gemelas.

Para este análisis de control de calidad se tomaron 380 muestra, lo que corresponde al 19.7% de todas las muestras, o una cada 4 muestras, siendo 193 duplicados, 124 blancos y 63 estándar.

#### 4.1.2.1. Blancos

Los blancos son muestras de material estéril desprovistas del elemento de interés. Sirven para monitorear la contaminación y desarreglo de las muestras durante su preparación y análisis y pueden ser de dos tipos, blancos gruesos y blancos finos, los primeros corresponden a arena silíceo o rocas frescas sin mineralización y los segundos a material estéril molido. En este análisis 62 muestras corresponden a blancos gruesos y 62 a blancos finos.

Los límites de tolerancia establecidos son los siguientes: para blancos gruesos el valor entregado por el análisis debe ser menor a 3 veces el límite de detección del elemento analizado,

y para blancos finos deberá ser menor o igual al límite de detección del elemento analizado, y para ambos casos, esto debe suceder el 90 % de las veces. Los resultados se encuentran resumidos en la tabla 4.1 e indican que están dentro de los límites permitidos y, por lo tanto, no existe contaminación significativa en las muestras.

Tabla 4.1: Valores obtenidos para los blancos analizados.

Elemento	Unidad	Límite de detección	% fuera del límite de tolerancia	
			Blanco grueso	Blanco fino
Ag	ppm	0.2	0	0
Au	ppm	0.005	4.84	0.62

#### 4.1.2.2. Estándar

Los análisis estándar corresponden a muestras certificadas con una composición química conocida y sirven para monitorear la exactitud del análisis. Los estándares deben cubrir el rango de concentraciones que se presentan en las muestras y se alternan 3 estándares, cada uno con diferentes concentraciones de ciertos elementos de interés, en este caso; Ag y Au.

Los límites de tolerancia establecidos para el límite superior e inferior de cada estándar se calculan, respectivamente, como: la mediana +  $2*\sigma$  y la mediana -  $2*\sigma$ , siendo  $\sigma$  la desviación estándar. Se utiliza la mediana, medida robusta de tendencia central, en vez de la media para evitar que una única medición muy grande o muy pequeña pueda alterar el resultado significativamente. Para que los resultados sean exactos, estos deben estar en un 90 % dentro de los límites establecidos.

Los resultados se encuentran resumidos en la tabla 4.2, e indican que los análisis de exactitud, mediante estándar, están dentro de los rangos de tolerancia permitidos para todas las muestras, menos para las estándar con valores bajos y medios de Ag, los que entregan solo un 87.5 % y un 85.7 % de los valores dentro de los límites aceptados respectivamente.

Tabla 4.2: Valores obtenidos para los estándares analizados.

Muestra	Descripción	n° muestras	Valor esperado	Mín.	Máx.	Mediana	Media	$\sigma$	Mediana - $2\sigma$	Mediana + $2\sigma$	% ( $\pm\sigma$ )
Ag_ppm	STD Ag Bajo	8	21.3 ppm	0.3	22.3	21.3	18.7	7.0	7.33	35.27	87.5
Ag_ppm	STD Ag Medio	10	151 ppm	145.0	170.0	152.0	153.9	7.3	137.43	166.57	90
Ag_ppm	STD Ag Alto	7	389.7 ppm	377.0	423.0	389.0	390.4	15.0	358.94	419.06	85.7
Au_ppm	STD Au Bajo	14	0.07 ppm	0.056	0.065	0.061	0.061	0.002	0.056	0.07	100
Au_ppm	STD Au Medio	12	2.46 ppm	0.011	2.570	2.415	2.226	0.671	1.07	3.76	91.7
Au_ppm	STD Au Alto	9	9.65 ppm	9.290	9.940	9.600	9.597	0.206	9.19	10.01	100

### 4.1.2.3. Duplicados

Existen 3 tipos de duplicados; gemelas, duplicado grueso y duplicado fino, y sirven para establecer la precisión de los análisis, monitorear la homogeneidad de la mineralización y la variación inducida por el método de muestreo. Las gemelas corresponden a muestras que se toman en el mismo sitio que la muestra original y cuando se trata de muestreo de sondajes, la muestra original corresponde a un cuarto del tramo de testigo y otro cuarto, del mismo tramo, corresponde a la gemela. El duplicado grueso se separa en el laboratorio durante la preparación de las muestras después de chancarla, y ambas muestras, la original y su duplicado, serán porciones iguales. El duplicado fino también se separa en el laboratorio, y corresponde a la segunda parte de las pulpas de las muestras que se separan al final de la preparación completa y después de moler las muestras.

Los límites de tolerancia establecidos se establecen al calcular la diferencia del par dividido entre la media del par como:

$$(|x_1-x_2|)/[(x_1+x_2)/2]$$

Siendo  $x_1$  y  $x_2$  los valores obtenidos del análisis para cada par muestra-duplicado, y una vez conocido este valor se deben cumplir los siguientes requerimientos para el 90 % de la población y poder verificar su precisión:

- (a) Para los duplicados gruesos el valor deberá ser menor a 0.2
- (b) Para los duplicados finos el valor deberá ser menor a 0.1
- (c) Para las muestras gemelas el valor deberá ser menor a 0.3

Los resultados se encuentran resumidos en la tabla 4.3, e indican que los análisis de precisión no se encuentran dentro de los rangos establecidos por el protocolo de control de calidad. Esto podría deberse a la cercanía de las concentraciones de Ag y Au en las muestras, a los límites de detección del laboratorio, es importante destacar que la precisión entrega mejores resultados para los análisis de Au que los de Ag.

### 4.1.3. Estadística univariable por elementos

El análisis estadístico univariable se realizó utilizando los resultados de análisis de 36 elementos más Au en 1552 muestras que fueron tomadas de forma sistemática en los sondajes realizados en la zona. Estos análisis fueron hechos en ICP-AES con digestión por agua regia,

Tabla 4.3: Valores obtenidos para los 3 tipos de duplicados analizados. DUPd corresponde al valor de  $100 * [(|x1-x2|) / ((x1+x2)/2)]$

Muestra	Descripción	n° muestras	n° muestras con valores DUPd >10%	% fuera de rango	% fuera de rango permitido
Ag_ppm	DUP fino	64	24	37.5	10
Au_ppm	DUP fino	64	20	31.3	10

Muestra	Descripción	n° muestras	n° muestras con valores DUPd >20%	% fuera de rango	% fuera de rango permitido
Ag_ppm	DUP grueso	65	19	29.2	10
Au_ppm	DUP grueso	65	21	32.3	10

Muestra	Descripción	n° muestras	n° muestras con valores DUPd >30%	% fuera de rango	% fuera de rango permitido
Ag_ppm	Gemela	64	27	42.2	10
Au_ppm	Gemela	64	19	29.7	10

y para el Au mediante ensaye al fuego y un análisis espectrometría de absorción atómica (AAS).

La digestión con agua regia se recomienda para todas las muestras que no contengan material orgánico y presenten un contenido bajo de sulfuro. Este tipo de digestión es bueno para análisis de la geoquímica asociada a la mineralización ya que disuelve la mayoría de los óxidos, sulfuros, carbonatos, pero no digiere totalmente minerales silicatados o refractarios y por lo tanto, no entrega resultados totalmente representativos de la composición litológica de las muestras.

Para efectos de análisis estadísticos se excluyeron los elementos en que al menos la mitad de los resultados estén bajo los límites de detección, exceptuando el elemento Ag, que a pesar de encontrarse bajo el límite de detección, se conservó por su interés económico (tabla 4.4). Se excluyeron además los siguientes elementos: B, Ga, Hg, Th, Tl, U y W, ya que presentan una variación poco significativa que no aporta mayor información para efectos estadísticos.

Tabla 4.4: Elementos excluidos del análisis estadístico por encontrarse la mitad de los resultados bajo el límite de detección.

Elemento	Limite de deteccion [ppm]	% de muestras bajo el limite de deteccion
Ag	0,2	56,44
Be	0,5	79,64
Bi	2	76,42
Cd	0,5	99,68
Sb	2	87,44

Para el resto de los elementos en los que los resultados de los análisis tengan valores bajo los límites de detección, se reemplazarán estos valores por la mitad del límite inferior de detección para los cálculos estadísticos. Este filtro deja un nuevo universo de 31 elementos incluido el oro.

Cuando se trabaja con datos geoquímicos es mejor ajustarlos a un patrón de distribución lognormal (Ahrens, 1957), por esto todos los datos presentados han sido procesados en base logarítmica y los resultados fueron calculados como el antilogaritmo de estos valores. Para el análisis univariable se utilizó la extensión de Microsoft Excel; WinSTAT versión 2012.1 y se encuentran los resultados en el anexo A de media, desviación estándar, varianza, coeficiente de variación, oblicuidad, curtosis, mínimo, máximo, rango, percentiles y media geométrica. Un resumen de este análisis se encuentra en la tabla 4.5, en ella se indican los valores del promedio, desviación estándar, error estándar, el umbral distrital y se incluyen los valores globales esperados para litologías similares según Taylor y McLennan (1995) y Turekian y Wedepohl (1961).

El valor de background, o umbral de la zona, se calculó para cada elemento como:

$$\text{Umbral} = \text{antilog} (\mu L + 2\sigma L)$$

En donde  $\mu L$  es la media de los logaritmos de las concentraciones y  $\sigma L$  es la desviación estándar de dichas concentraciones logarítmicas, con este valor es posible definir una línea base de comparación y definir anomalías en la zona (Townley *et al.*, 1999). En la tabla 4.5 se observan anomalías positivas para Cu, Mo y Au y valores bajos para Pb y Zn.

#### 4.1.4. Diagramas de caja

La confección de diagramas de caja permite ver de forma simple y rápida la distribución de los elementos en las distintas litologías y estudiar diferencias y similitudes. Entregan información sobre la distribución de una variable como su simetría, dispersión y la existencia de valores atípicos, para esto se utilizó el programa ioGAS versión 4.4.

Los diagramas de caja más relevantes se muestran a continuación y se realizaron para los elementos mayores Al, Fe, Ca, K, Mg, Na, S y Ti (figuras 4.2 y 4.3) y para los elementos de interés económico Au, Ag, Cu y Mo para cada litología (figuras 4.4) y alteración (figuras 4.5) definidas en el proyecto.

De los gráficos de las figuras 4.2 y 4.3 se desprende que las concentraciones de Ti son las que tienen mayor dispersión dentro de cada litología, especialmente en la roca caja sedimentaria

Tabla 4.5: Resultados de los análisis estadísticos univariados.

Elemento	Unidad	Media log	Error Std log	Dsv Std log	Umbral	Abundancia Promedio	
						Taylor & McLennan, 1995	Turekian & Wedepohl, 1961
Ag	ppm	-0.791	0.007	0.292	0.168	-	0.11
Al	%	-0.225	0.009	0.338	0.620	9.5	7.8
As	ppm	0.501	0.012	0.485	3.353	-	2
Au	ppm	-1.940	0.013	0.513	0.012	-	0.004
Ba	ppm	1.447	0.011	0.427	29.441	350	330
Ca	%	0.311	0.008	0.326	2.126	5.36	7.6
Co	ppm	1.057	0.009	0.353	11.874	25	48
Cr	ppm	1.035	0.010	0.374	11.328	55	170
Cu	ppm	2.049	0.021	0.809	122.939	60	87
Fe	%	0.612	0.004	0.161	4.175	5.83	8.65
K	%	-1.058	0.013	0.502	0.093	1.25	0.83
La	ppm	1.090	0.005	0.179	12.567	19	15
Mg	%	-0.155	0.009	0.348	0.729	2.11	4.6
Mn	ppm	2.475	0.008	0.299	309.121	1100	1500
Mo	ppm	0.757	0.016	0.635	6.150	-	1.5
Na	%	-1.066	0.005	0.179	0.088	2.6	1.8
Ni	ppm	0.807	0.012	0.475	6.786	30	130
P	ppm	2.947	0.004	0.162	901.403	-	1100
Pb	ppm	0.449	0.008	0.318	2.916	10	6
S	%	0.489	0.012	0.462	3.252	-	0.03
Sc	ppm	0.807	0.006	0.228	6.584	30	30
Sr	ppm	1.536	0.008	0.302	35.588	400	465
Ti	%	-1.624	0.013	0.531	0.025	0.48	1.38
V	ppm	1.759	0.006	0.252	59.110	175	250
Zn	ppm	0.973	0.010	0.396	9.832	-	105

producto de valores atípicos que sesgan el promedio y de los valores cercanos o iguales a los límites inferiores de detección, mientras que el resto de los elementos al tener el promedio ubicado sobre la línea de mediana indican que las distribuciones de los elementos dentro de cada litología son simétricas. El ancho de las cajas, al ser angosto, indica que los datos están concentrados, lo que significa que los valores son cercanos entre ellos, esto no es así para las concentraciones de K en el pórfido Picarón y la microdiorita, y son las concentraciones de S las que presentan mayor dispersión.

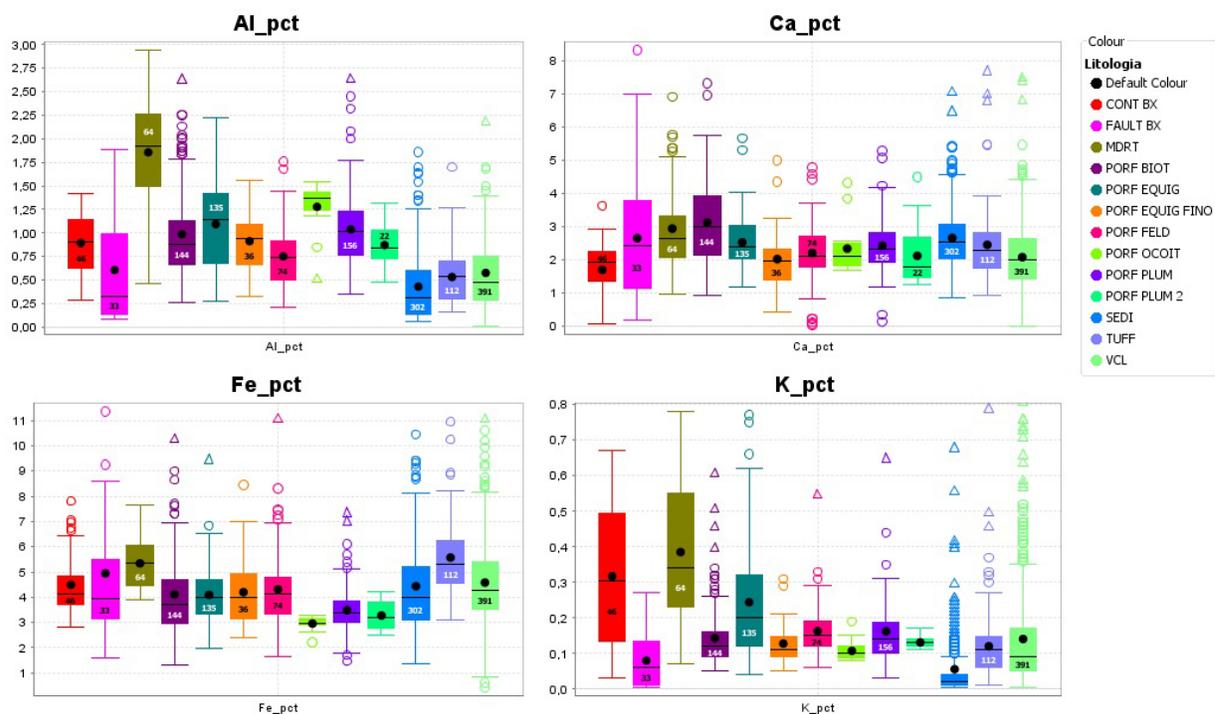


Figura 4.2: Diagramas de caja para elementos mayores en las litologías ya definidas en el prospecto Picarón. CONT BX: brecha contacto, FAULT BX: brecha contacto, MDRT: microdiorita, PORF BIOT: pórfido Biotítico, PORF EQUIG: pórfido Picarón, PORF EQUIG FINO: pórfido Equigranular Fino, PORF FELD: pórfido Feldespático, PORF OCOIT: pórfido Ocoítico, PORF PLUM: pórfido Plumoso, PORF PLUM 2: pórfido Plumoso 2, SEDI: unidad Sedimentaria, TUFF: unidad Tobas, VCL: unidad Volcanoclástica.

En la figura 4.4 para las concentraciones de cobre se observa que los pórfidos definidos como mineral temprano, es decir como pórfidos productores, son efectivamente los que tienen mayores concentraciones de Cu y además es posible distinguir que están relacionados linealmente de forma positiva con las concentración de Mo. El mayor ancho de las cajas indica una mayor dispersión para el pórfido Biotítico, las tobas y las brechas de falla, que para el resto de las litologías. La ubicación de las líneas de la mediana en todas las litologías es cercana a la parte inferior de las cajas, lo que indica que los datos están sesgados y la mayoría de los datos se concentran hacia los valores más bajos de Cu, esto último se repite en todos los elementos de interés económico, de los cuales los de Au son los que presentan mayor dispersión, ya que

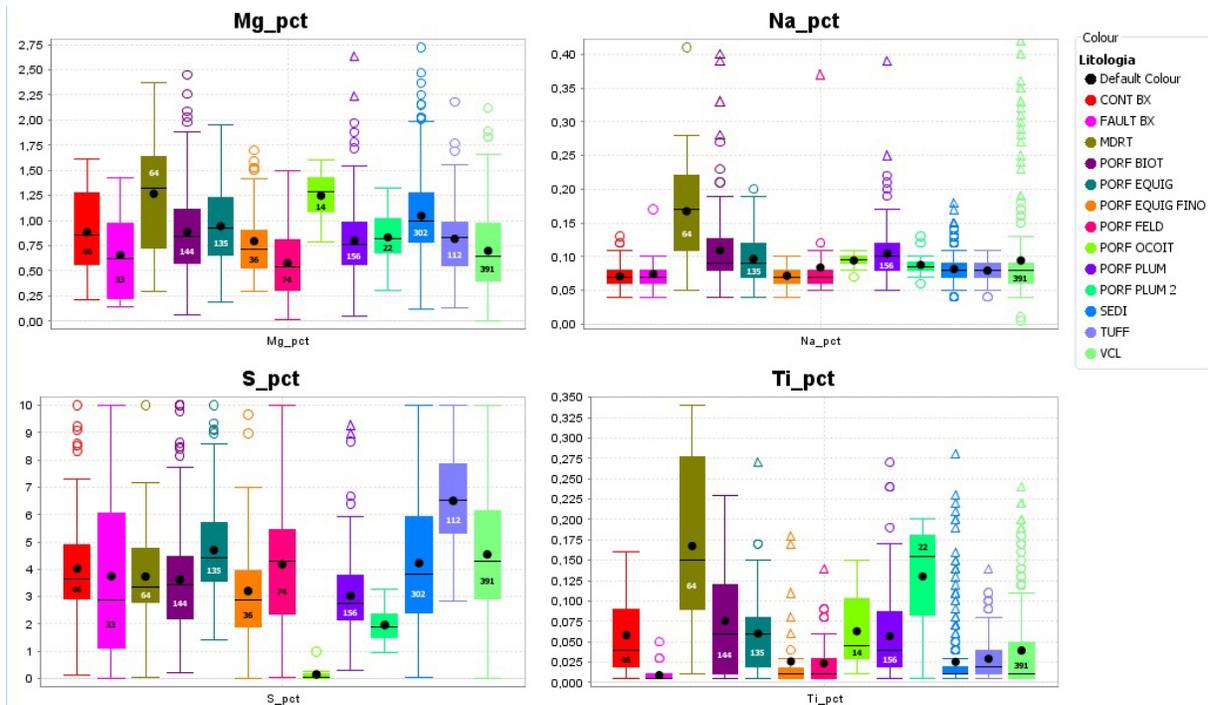


Figura 4.3: Diagramas de caja para elementos mayores en las litologías ya definidas en el prospecto Picarón. CONT BX: brecha contacto, FAULT BX: brecha contacto, MDRT: microdiorita, PORF BIOT: pórfido Biotítico, PORF EQUIG: pórfido Picarón, PORF EQUIG FINO: pórfido Equigranular Fino, PORF FELD: pórfido Feldespático, PORF OCOIT: pórfido Ocoítico, PORF PLUM: pórfido Plumoso, PORF PLUM 2: pórfido Plumoso 2, SEDI: unidad Sedimentaria, TUFF: unidad Tobas, VCL: unidad Volcanoclástica.

los valores atípicos sesgaron el promedio.

De la figura 4.5 se observa que para todas las alteraciones las concentraciones de los elementos de interés presentan dispersión, y que además la presencia de valores atípicos sesga el promedio provocando que los datos estén concentrados, o sean más densos, hacia los valores más bajos, esto ocurre para los cuatro elementos de interés, es más notorio para el Au y Ag, siendo este último el que presenta mayor dispersión y dado que las cajas son muy similares entre si no es posible obtener una interpretación más detallada. En los casos del Cu y el Mo sus concentraciones son mayores para la alteración potásica, y la zona de lixiviación supérgena y más bajas para la alteración argílica y fílica, lo que es consistente con los modelos existentes, ya que la alteración potásica alberga mineralización de interés y las alteraciones argílica y fílica son por lo general estériles (Sillitoe, 2010). La alteración propilítica si bien presenta valores menores que la alteración potásica para Cu y Mo, presenta valores altos considerables que pueden atribuirse a una zona cercana y de gradación al núcleo potásico. Las concentraciones para el Ag y el Au son inversas a las del Cu y Mo, ya que son bajas para la alteración potásica y propilítica y altas para las zonas con calcita, con argilización y para la alteración fílica, siendo estas últimas consideradas para sistemas de pórfidos como mas bien estériles (Sillitoe, 2010).

#### 4.1.5. Análisis estadístico de poblaciones

Este análisis se hace con el fin de determinar la distribución estadística de los datos en el prospecto Picarón. Como se mencionó anteriormente, para hacer este tipo de análisis se parte de la base que la concentración de los elementos debería seguir una distribución log normal y que al graficar los datos en un diagrama de frecuencia acumulada se debería obtener una línea recta. Cuando un elemento presenta más de una población homogénea, la recta presenta quiebres y es posible identificar el umbral máximo y mínimo, porcentajes y la media para las poblaciones, o para cada segmento de la recta, de cada elemento.

Las poblaciones que se encuentran sobre los valores globales esperados, según Taylor y McLennan (1995) y Turekian y Wedepohl (1961), se consideran como anomalías para efectos de exploración, no obstante, es importante relacionar estos resultados meramente estadísticos con las observaciones y evidencias geológicas.

Con estos datos geoquímicos se obtuvo además el umbral exploratorio recomendado. Éste fue determinado para cada caso como el umbral superior de la población o como el valor medio de la población, que cae dentro del rango de límite de valores globales (Townley *et al.*, 1999) teniendo en consideración los valores de background obtenidos anteriormente, la media

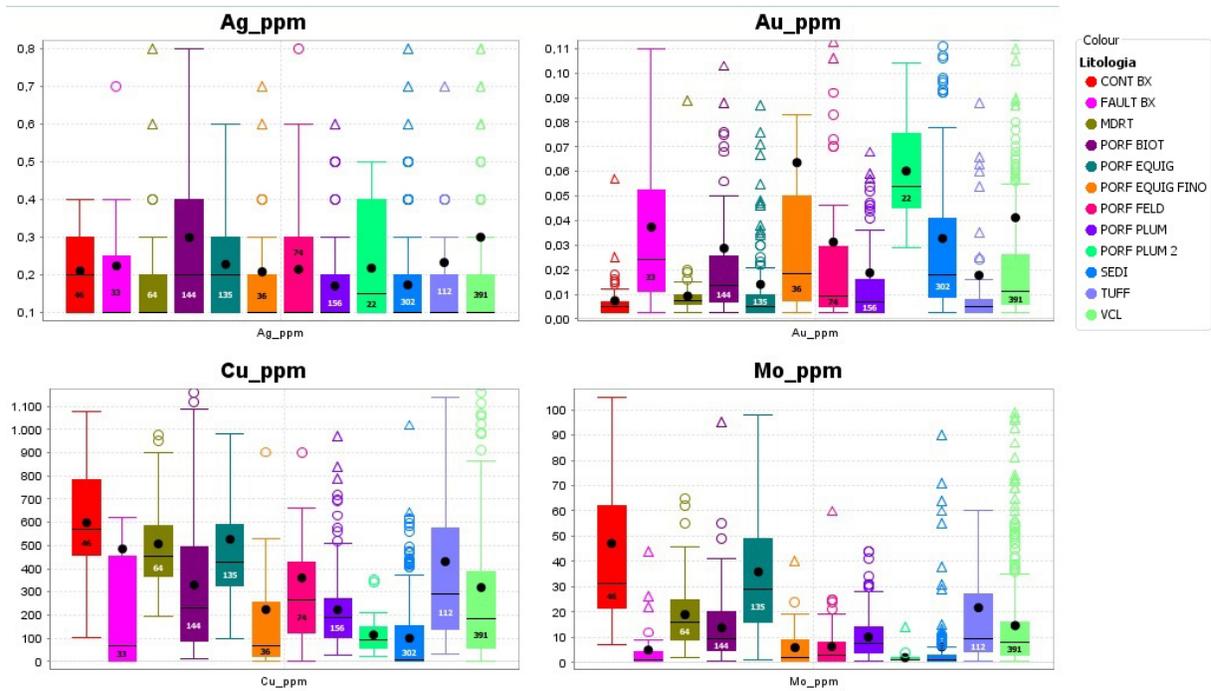


Figura 4.4: Diagramas de caja para elementos de interés económico en las litologías ya definidas en el prospecto Picarón. CONT BX: brecha contacto, FAULT BX: brecha contacto, MDRT: microdiorita, PORF BIOT: pórfido Biotítico, PORF EQUIG: pórfido Picarón, PORF EQUIG FINO: pórfido Equigranular Fino, PORF FELD: pórfido Feldespático, PORF OCOIT: pórfido Ocoítico, PORF PLUM: pórfido Plumoso, PORF PLUM 2: pórfido Plumoso 2, SEDI: unidad Sedimentaria, TUFF: unidad Tobas, VCL: unidad Volcanoclástica.

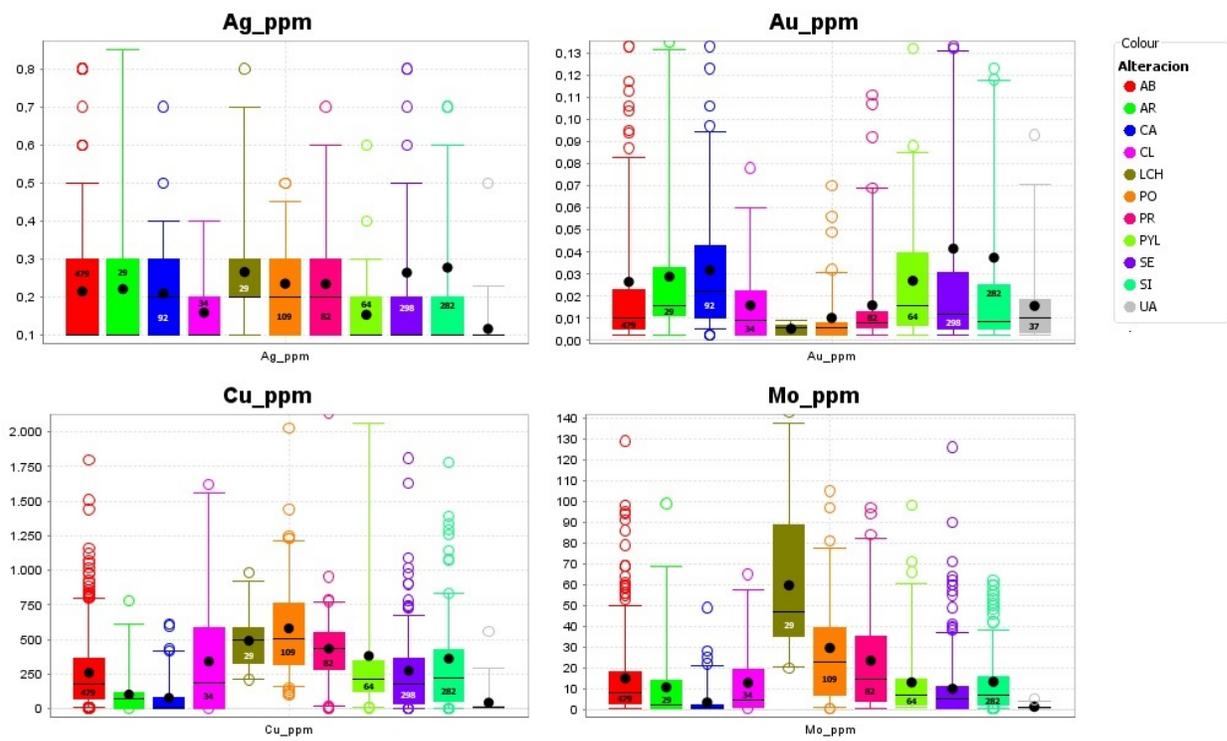


Figura 4.5: Diagramas de caja para elementos de interés económico en las alteraciones ya definidas en el prospecto Picarón. AB: albitización, AR: alteración argílica, CA: calcita, CL: clorita, LCH: lixiviación, PO: alteración potásica, PR: alteración propilítica, PYL: alteración fílica, SE: sericita, SI: silicificación, UA: roca no alterada.

y los porcentajes de cada población. Se ha trabajado de esta manera debido a la falta de datos para rocas no alteradas, las cuales idealmente debieran ser ocupadas para determinar el mayor valor entre los valores globales y los regionales. Los resultados para los elementos de mayor interés se muestran en la tabla 4.6.

Tabla 4.6: Resumen de análisis de poblaciones y umbral de exploración recomendado.

Elemento	Poblaciones	Umbral mínimo	Umbral Máximo	Media	% de Poblacion	Background	Valores Globales	Umbral Exploración
<b>Ag</b>	<b>3</b>	0.1	0.1	0.10	56.4	0.168	0.11	0.4
		0.1	<b>0.4</b>	0.25	36.8			
		0.4	259	0.76	6.8			
<b>As</b>	<b>4</b>	1	2	1.213	45.6	3.353	2	6
		2	<b>6</b>	3.802	27.6			
		6	25	9.333	22			
		25	990	60.771	4.8			
<b>Au</b>	<b>3</b>	0.002	0.006	0.003	27.9	0.012	0.004	0.027
		0.006	<b>0.027</b>	0.012	49.0			
		0.027	3.87	0.061	23.1			
<b>Cu</b>	<b>4</b>	0.5	11	3.401	16.4	122.939	60-87	311
		11	80	36.822	14.2			
		80	<b>311</b>	173.863	32.9			
		311	10000	553.05	36.5			
<b>Mo</b>	<b>4</b>	0.5	1	0.753	23.7	6.150	1.5	22.000
		1	6	3.033	21.9			
		6	<b>22</b>	11.043	35.1			
		22	598	42.404	19.3			
<b>Pb</b>	<b>3</b>	1	2	1.335	40.1	2.916	<b>6-10</b>	6
		2	5	3.456	34			
		5	81	6.781	25.9			
<b>Zn</b>	<b>4</b>	1	3	1.467	9.1	9.832	<b>105</b>	105
		3	10	5.964	41.4			
		10	24	15.582	36.9			
		24	218	35.822	12.6			

#### 4.1.6. Diagrama bivalente

Este diagrama se hizo con el fin de agrupar algunas variables originales, que en este caso corresponden a las concentraciones de los elementos, en subconjuntos que están íntimamente relacionados entre sí, y que marcarían tendencias geoquímicas. Para este estudio estos subconjuntos de variables se determinaron usando razones de elementos que puedan representar de la mejor manera cada alteración.

**Razón K/al vs (K+Na)/Al:** Estas razones permiten contrastar la tendencia a una alteración potásica vs una albitica. De la figura 4.6, que grafica los resultados de las muestras

que fueron identificadas con alteración potásica y albítica, se ve una clara tendencia de las muestras etiquetadas con color rojo hacia la ortoclasa, y por lo tanto, hacia la alteración potásica y son las muestras en rojo las que se identificaron con esta alteración, en cambio las muestras logueadas como albitización presentan una tendencia hacia el extremo albítico solo para algunas muestras, lo que puede relacionarse a la alteración sericita que está sobreimpuesta o a una tendencia más potásica.

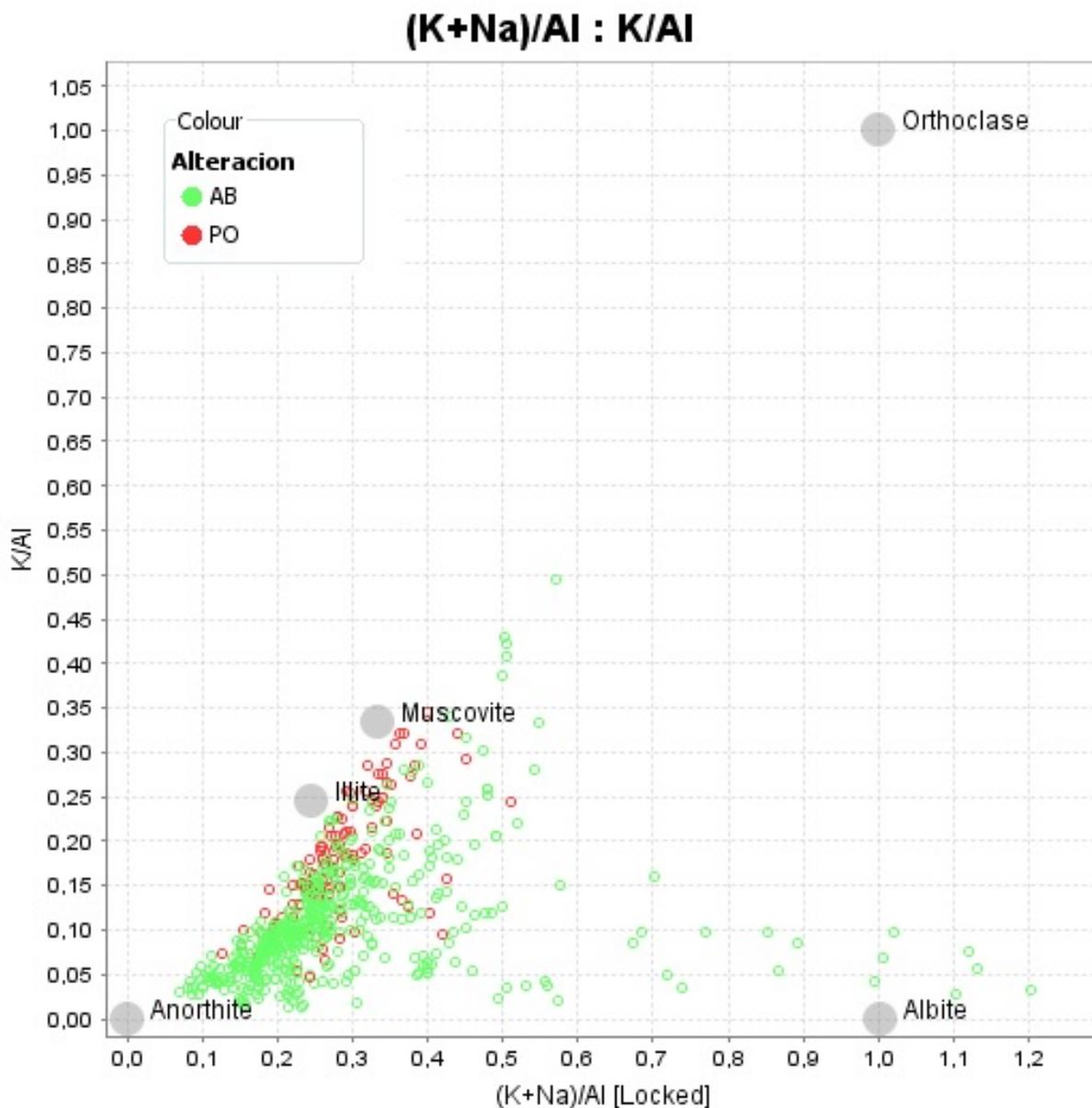


Figura 4.6: Diagrama bivalente que grafica la tendencia geoquímica a la alteración potásica (K/Al) vs la albitización ((Na+K)/Al). AB: albitización, PO: alteración potásica.

En el gráfico de la figura 4.7 se plotearon todas las litologías que tienen una tendencia más potásica, considerando todas las alteraciones con las cuales fueron mapeadas, estas litologías

corresponden al pórfido Picarón, los pórfidos definidos como mineral tardío y la microdiorita. En el gráfico de la figura 4.8 se graficaron las litologías que presentaban las tendencias más albiticas, considerando variadas alteraciones, los resultados fueron que la roca caja volcánico-clástica tiene algunas muestras siguiendo esta tendencia, al igual que la roca sedimentaria que cuenta con más muestras hacia la albitización, mientras que el pórfido Biotítico que fue registrado en gran parte como albitización, presenta una tendencia no tan evidente como en los otros casos.

Otros diagramas bivariantes, como por ejemplo el de clorita-moscovita-feldespató potásico,  $(Fe+Mg)/Al$  vs  $K/Al$ , no entregaron tendencias claras y, por lo tanto, no fueron incluidas en este trabajo.

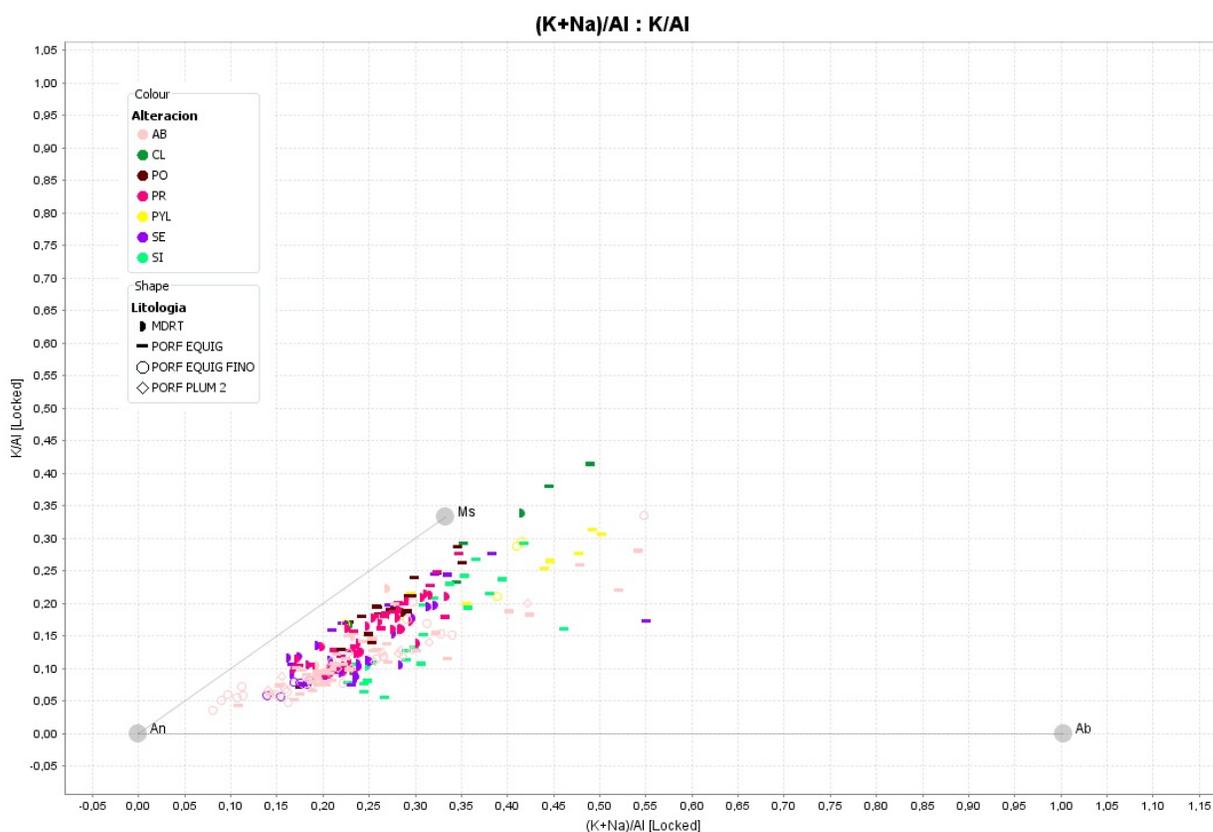


Figura 4.7: Diagrama bivariante que grafica la tendencia geoquímica a la alteración potásica ( $K/Al$ ) vs la albitización  $((Na+K)/Al)$ . AB: albitización, CL: clorita, PO: alteración potásica, PR: alteración propilitica, PYL: alteración filica, SE: sericita, SI: silicificación, MDRT: microdiorita, PORF EQUIG: pórfido Picarón, PORF EQUIG FINO: pórfido Equigranular Fino, PORF PLUM 2: pórfido Plumoso 2.

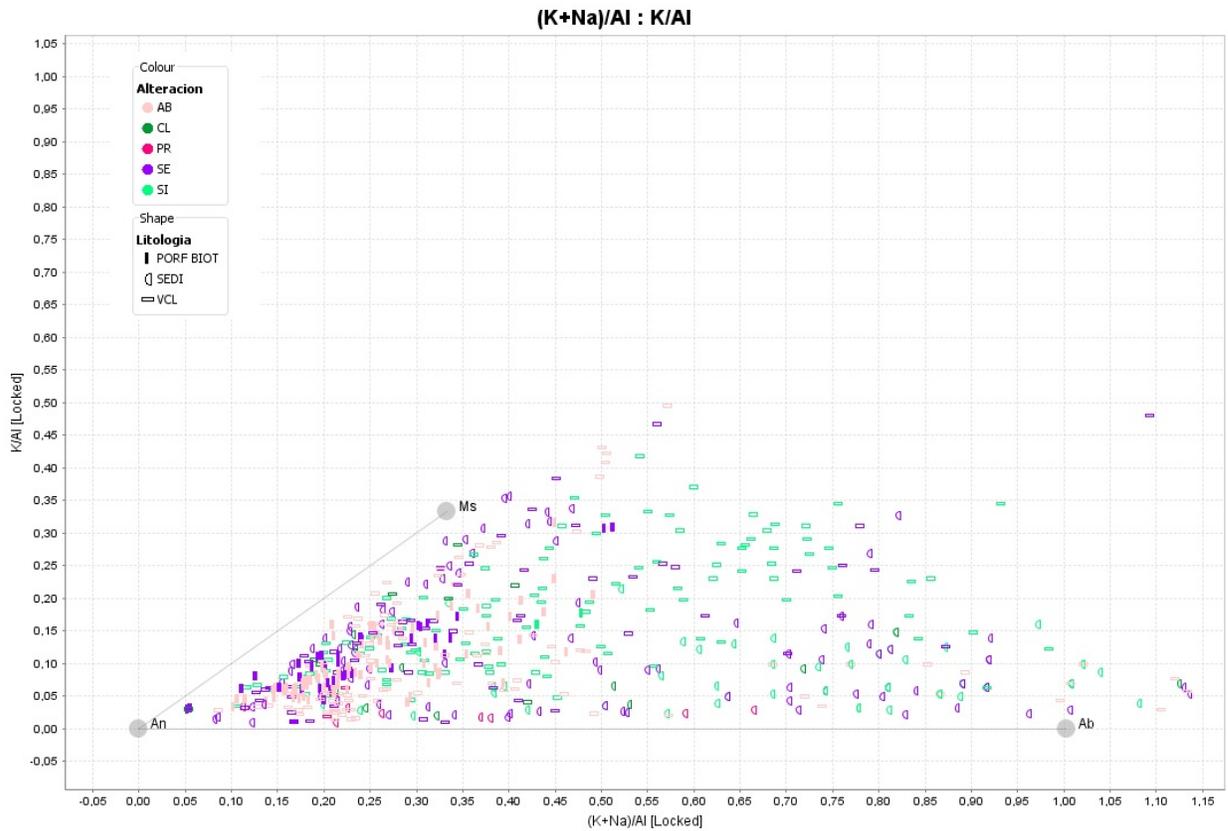


Figura 4.8: Diagrama bivalente que grafica la tendencia geoquímica a la alteración potásica  $(K/Al)$  vs la albitización  $((Na+k)/Al)$ . AB: albitización, CL: clorita, PR: alteración propilítica, SE: sericita, SI: silicificación, PORF BIOT: pórfido Biotítico, SEDI: sedimentario, VCL: volcanoclástico.

## 4.1.7. Estadística multivariable

El análisis estadístico multivariable se hizo con el programa ioGAS versión 4.4 y XLSTAT 2014 y consiste en un análisis de correlación utilizando la matriz de Pearson y un análisis de componentes principales.

### 4.1.7.1. Análisis de correlaciones

Para medir el grado de asociación lineal o la relación lineal entre dos variables se utiliza la matriz de correlación de Pearson. En este caso las variables corresponden a los elementos, que fueron procesados en base logarítmica y se analizaron para todas las litologías presentes en el blanco de exploración Picarón, para el grupo de intrusivos y para las rocas estratificadas.

La matriz de correlación de Pearson entrega el coeficiente de correlación R. Cuando los valores de R tengan un valor mayor a 0.5 es considerado bueno, y cuando está sobre 0.8 se considera excelente (Townley *et al.*, 1999). Los datos obtenidos de este análisis sugieren una distribución estadística y relaciones entre los elementos, y aunque las altas correlaciones pueden atribuirse a una asociación mineralógica, por si solos estos resultados no son indicativos de estas asociaciones.

Los resultados más relevantes para todas las litologías se encuentran en la figura 4.9, para intrusivos en la figura 4.10 y para las rocas estratificadas en la figura 4.11.

Los resultados para todas las litologías entregan asociaciones interesantes y altas para Cu-Mo, Cu-K y Fe-S, mientras que para todos los intrusivos no entrega relaciones altas entre elementos de interés como era de esperarse. Finalmente para las rocas estratificadas tenemos alta relación Cu-Mo y Fe-S.

Además se hizo un análisis de correlaciones con los elementos de interés económico para los distintos grupos de intrusivos: mineral temprano, inter mineral, mineral tardío, pre mineral y post mineral, los resultados más relevantes se encuentran resumidos en la figura 4.12. De la figura se observa que las relaciones entre Cu y Mo para los intrusivos definidos como productores o mineral temprano es alta, como era esperable, y la alta relación entre Cu y S puede ser indicio de la presencia de sulfuros en estas litologías. En los pórfidos definidos como mineral tardío, existe una alta relación entre Ag y Au como era de esperarse, ya que el pórfido Equigranular Fino está asociado a una anomalía de Au en el sistema, mientras que los intrusivos post mineral, que fueron descritos sin una mineralización asociada presentan alta relación Cu-Mo, Au-Cu y Pb-Zn. Además se hizo un análisis de correlaciones para todos

	Al
Ba	0.52
K	0.72
Sr	0.59
Ti	0.58
V	0.64
Zn	0.72

	Cu
K	0.56
Mo	0.59

	Fe
S	0.57

	Mg
V	0.52

	Ni
Sc	0.54

	Ti
V	0.61
Zn	0.65

	V
Zn	0.59

	Ba
K	0.54

	Ca
Mg	0.58
Mn	0.51

	Cr
Ni	0.65
Sc	0.68

Figura 4.9: Selección de resultados de correlaciones entre los elementos para todas las litologías presentes en el blanco de exploración Picarón.

	Al
K	0.53
Mg	0.61
Na	0.54
Sr	0.56
V	0.75
Zn	0.61

	Mg
V	0.7
Zn	0.55

	Mn
Sc	0.53

	Na
Sr	0.55
Ti	0.58
V	0.5

	Sc
V	0.56

	Fe
K	0.52

	Ti
V	0.6
Zn	0.71

	Co
Fe	0.67

	Cr
Sc	0.56

	V
Zn	0.72

Figura 4.10: Selección de resultados de correlaciones entre los elementos para todas los intrusivos presentes en el blanco de exploración Picarón.

	Al
K	0.68
Ti	0.55
V	0.68
Zn	0.66

	Ba
K	0.51

	Ca
Mg	0.63
Mn	0.56

	Cr
Sc	0.5
Ti	0.53
V	0.64

	Fe
S	0.67

	Cu
K	0.52
Mo	0.63

	K
Mo	0.52

	P
V	0.52

	Sc
V	0.59

	V
Zn	0.54

	Ti
V	0.64
Zn	0.55

Figura 4.11: Selección de resultados de correlaciones entre los elementos para todas las rocas estratificadas presentes en el blanco de exploración Picarón.

los intrusivos presentes sin contar a los definidos como inter mineral y al contrario de lo visto en la figura 4.10 las relaciones fueron buenas para Cu-Mo y Mo-S.

Mineral Temprano	
	Cu
Mo	0.5
	Cu
S	0.54

Mineral Tardío	
	Ag
Au	0.54
	Mo
S	0.5
Zn	-0.5

Post Mineral	
	Cu
Mo	0.52
	Au
Cu	0.59
Zn	0.54
	Pb
Zn	0.55

Todos menos IM	
	Cu
Mo	0.61
	Mo
S	0.59

Figura 4.12: Selección de resultados de correlaciones entre los elementos de interés para los distintos grupos de intrusivos.

#### 4.1.7.2. Análisis de componentes principales

El objetivo de un análisis de componentes principales es describir un conjunto de datos utilizando el menor número de variables, perdiendo la menor cantidad de información, para esto transforma el conjunto original de variables en un conjunto de nuevas variables, los llamados componentes principales (PC o D en este trabajo), que recogen la mayor parte de la variabilidad de los datos y que podrían describir algún evento geológico.

Para obtener los componentes principales se realizó una rotación factorial, utilizando la normalización varimax con el programa XLSTAT. Este proceso toma la matriz factorial inicial y la transforma en una más fácil de interpretar, que explica la misma varianza y donde los factores rotados tratan de que cada una de las variables originales tengan una correlación lo más próxima a 1 que sea posible con uno de los factores, y correlaciones próximas a cero con los restantes, consiguiendo así correlaciones altas con un grupo de variables y baja con el resto. Luego se eligen los componentes principales que recojan el porcentaje de variabilidad que se considere suficiente, en este caso se consideran los primeros 8 que representan el 69.216 % de la varianza de los datos. La tabla 4.7 muestra el resultado del análisis, en naranja se destacan las asociaciones de elementos con valores mayores a 0.5, ya que serían las relevantes desde una perspectiva estadística o geológica.

La D1 corresponde a los elementos Al-K-Na-P-Sr-Ti-V-Zn, que pueden atribuirse a una componente litológica propia de las rocas intrusivas presentes en el área. Esto fue determinado a partir de que los elementos mayoritarios Al-K-Na son parte de minerales formadores de rocas y que el resto se presentan en menor medida en estos minerales. Además, en el diagrama de caja de la figura 4.13 es posible distinguir como la PC1 presenta mayores valores para las muestras logueadas como intrusivos y menores para las rocas que hacen de caja.

La D2 incluye al Au-Cr-Ni-Pb y, con valores cercanos a 0.5, al As y Zn. D2 tiene un comportamiento similar a D1 como se ve en la figura 4.14, con respecto a las litologías mapeadas en la zona. Se le atribuye a una componente de mineralización por la asociación de As-Au-Pb-Zn, que también se podría relacionar con alteración propilítica (figura 4.15).

La D3 corresponde a los elementos Cu-Fe-S y al As, que se presenta con un valor menor pero muy cercano a 0.5, se le atribuye esta asociación a una componente mineralógica principalmente de sulfuros de cobre. En la figura 4.16 se ve que los mayores valores de PC3 son para los pórfidos mineral temprano, las brechas de contacto, la microdiorita y la unidad de tobas, mientras que los menores son para la unidad de rocas sedimentaria y para los pórfidos mineral tardío y post mineral. Además en la figura 4.17 y como era de esperarse la alteración potásica es la que presenta mayores valores para esta componente principal mientras que las

Tabla 4.7: Resultados de los análisis de componentes principales. Se muestran los 8 componentes principales cuyos valores sobre el  $\pm 0.5$  de correlación están destacados en color naranja y los valores entre 0.4 y 0.5 en color verde.

CP	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8
Ag_ppm	0.012	0.147	-0.071	-0.075	0.019	0.077	0.017	0.824
Al_pct	0.879	-0.008	0.023	0.090	0.208	0.046	0.106	0.002
As_ppm	-0.034	0.492	0.499	-0.238	0.141	0.061	0.146	-0.159
Au_ppm	-0.036	0.823	0.009	0.012	0.007	-0.029	-0.003	0.092
Ba_ppm	0.274	-0.028	-0.231	-0.249	0.199	-0.201	0.565	-0.003
Ca_pct	-0.011	-0.018	-0.001	0.164	0.160	0.875	-0.053	-0.011
Co_ppm	0.009	0.139	0.377	0.066	0.793	-0.028	-0.103	0.039
Cr_ppm	0.000	0.760	-0.054	0.472	-0.063	-0.126	-0.040	0.142
Cu_ppm	0.183	0.079	0.648	-0.122	0.201	-0.048	0.121	0.122
Fe_pct	-0.019	0.082	0.833	0.107	0.143	-0.039	-0.084	-0.078
K_pct	0.702	-0.085	0.242	0.157	-0.042	-0.216	0.044	0.162
La_ppm	-0.149	-0.013	-0.030	0.200	-0.108	0.057	0.804	0.014
Mg_pct	0.373	0.031	-0.040	0.667	0.015	0.292	-0.032	-0.109
Mn_ppm	0.018	0.009	0.006	0.024	0.906	0.177	0.073	-0.042
Mo_ppm	0.137	-0.137	0.327	0.012	-0.048	-0.214	-0.011	0.380
Na_pct	0.509	0.091	-0.198	-0.198	-0.077	-0.174	-0.168	-0.158
Ni_ppm	-0.117	0.752	0.117	0.235	0.374	-0.094	-0.064	0.260
P_ppm	0.604	-0.124	0.078	-0.074	-0.047	0.287	0.144	-0.003
Pb_ppm	0.129	0.739	0.098	-0.183	-0.030	0.112	-0.012	-0.197
S_pct	-0.170	-0.031	0.783	0.120	-0.075	0.148	-0.331	0.007
Sc_ppm	-0.040	0.066	0.053	0.826	0.086	-0.003	0.053	-0.031
Sr_ppm	0.624	-0.097	0.012	-0.222	-0.097	0.425	0.019	0.156
Ti_pct	0.765	0.007	-0.030	0.156	-0.038	-0.080	-0.224	0.027
V_ppm	0.694	-0.014	0.036	0.583	-0.023	0.004	0.150	0.044
Zn_ppm	0.681	0.423	-0.138	0.051	0.102	-0.028	-0.026	-0.045
CP	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8
Variabilidad (%)	16.653	11.636	9.756	8.679	7.372	5.582	5.135	4.404
% acumulado	16.653	28.289	38.044	46.724	54.096	59.677	64.812	69.216

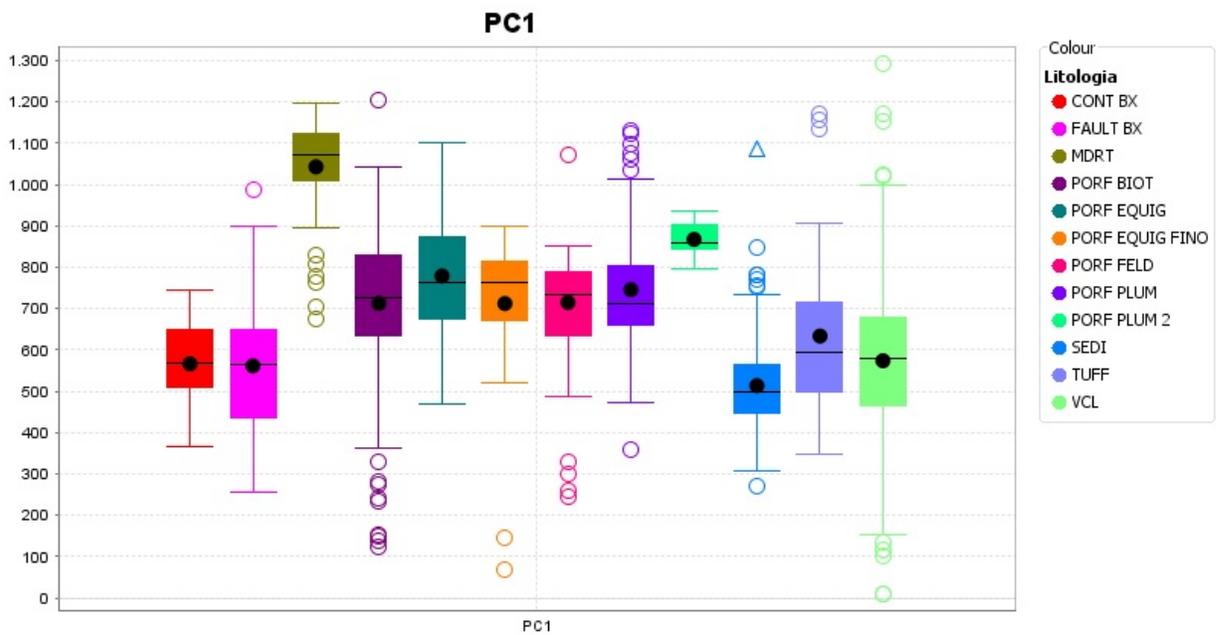


Figura 4.13: Gráfico PC1 vs Litología. Los valores de PC1 fueron calculados como:  $Al \cdot 0.879 + K \cdot 0.702 + Na \cdot 0.509 + P \cdot 0.604 + Sr \cdot 0.624 + Ti \cdot 0.765 + V \cdot 0.694 + Zn \cdot 0.681$ . CONT BX: brecha contacto, FAULT BX: brecha contacto, MDRT: microdiorita, PORF BIOT: pórfido Biotítico, PORF EQUIG: pórfido Picarón, PORF EQUIG FINO: pórfido Equigranular Fino, PORF FELD: pórfido Feldespático, PORF PLUM: pórfido Plumoso, PORF PLUM 2: pórfido Plumoso 2, SEDI: unidad Sedimentaria, TUFF: unidad Tobas, VCL: unidad Volcanoclástica.

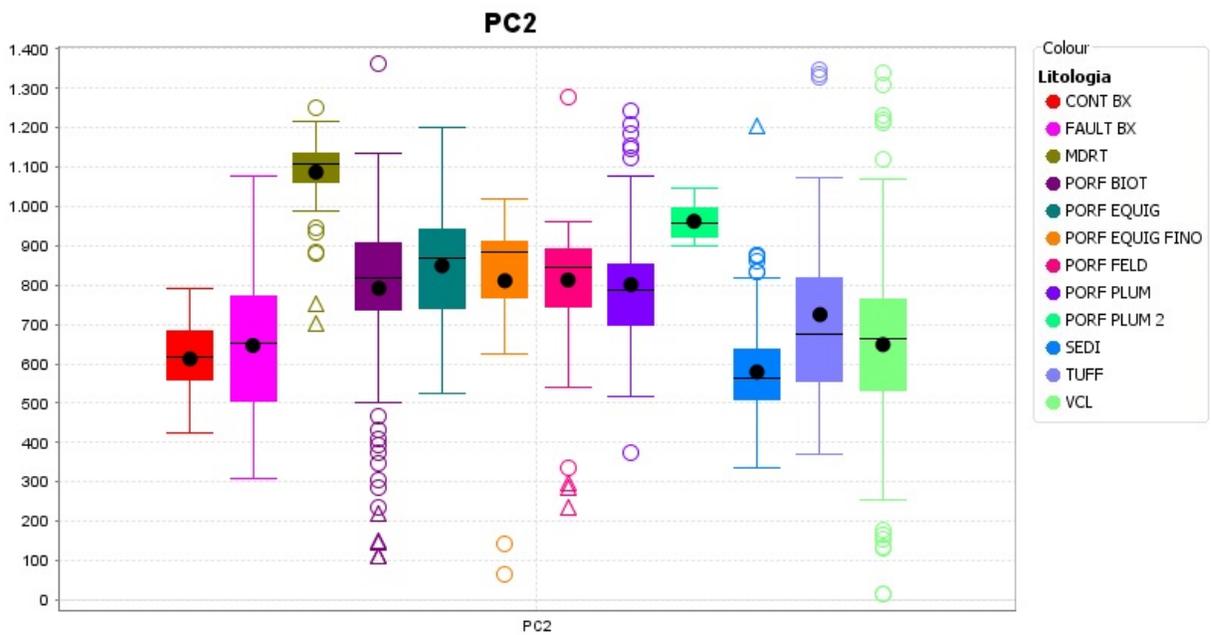


Figura 4.14: Gráfico PC2 vs Litología. Los valores de PC2 fueron calculados como:  $Au \cdot 0.823 + Cr \cdot 0.76 + Ni \cdot 0.752 + P \cdot 0.739 + As \cdot 0.492 + Zn \cdot 0.423$ . CONT BX: brecha contacto, FAULT BX: brecha contacto, MDRT: microdiorita, PORF BIOT: pórfido Biotítico, PORF EQUIG: pórfido Picarón, PORF EQUIG FINO: pórfido Equigranular Fino, PORF FELD: pórfido Feldespático, PORF PLUM: pórfido Plumoso, PORF PLUM 2: pórfido Plumoso 2, SEDI: unidad Sedimentaria, TUFF: unidad Tobas, VCL: unidad Volcanoclástica.

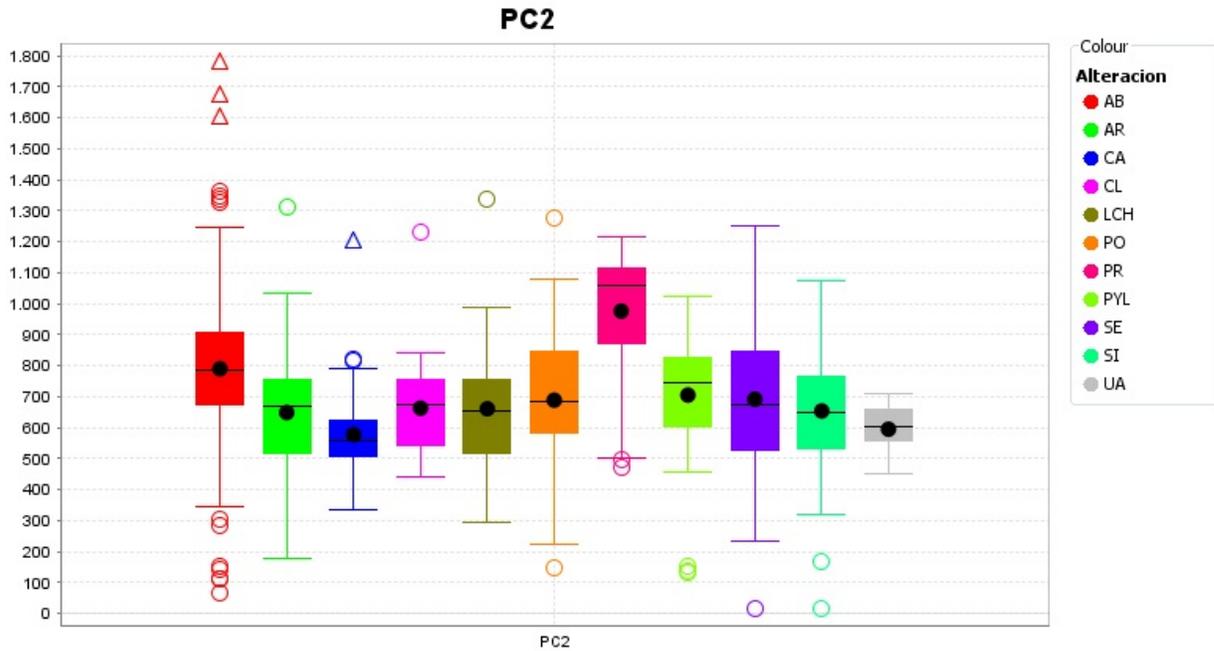


Figura 4.15: Gráfico PC2 vs Alteración. Los valores de PC2 fueron calculados como:  $Au*0.823 + Cr*0.76 + Ni*0.752 + P*0.739 + As*0.492 + Zn*0.423$ . AB: albitización, AR: alteración argílica, CA: calcita, CL: clorita, LCH: lixiviación, PO: alteración potásica, PR: alteración propilítica, PYL: alteración fílica, SE: sericita, SI: silicificación, UA: roca no alterada

rocas sin alteración presentan valores cercanos a cero.

La D4 incluye a los elementos Mg-Sc-V y se presenta con un valor menor, pero muy cercano a 0.5, el Cr. Esta componente principal podría estar asociada a alguna litología más propia de las rocas estratificadas o de los intrusivos definidos como pre mineral, como se ve en la figura 4.18.

La D5 corresponde a los elementos Co y Mn y, con un valor de 0.374, al Ni. Estos elementos podrían tratarse de una componente que indica una zona de oxidación sobre el nivel de aguas subterráneas, sin embargo, esto no se ve reflejado con la figura 4.19 donde LCH, que corresponde a una alteración supérgena, presenta los valores más bajos, por lo tanto, se atribuye a una componente litológica.

La D6 incluye al elemento Ca y se presenta con un valor cercano a 0.5 el Sr. Esta componente principal está fuertemente relacionada con la alteración propilítica como se ve en la figura 4.20 y sería por lo tanto una componente de alteración.

La D7 corresponde a los elementos Ba-La y se relacionan con lo que fue mapeado como alteración supérgena en la zona (figura 4.21).

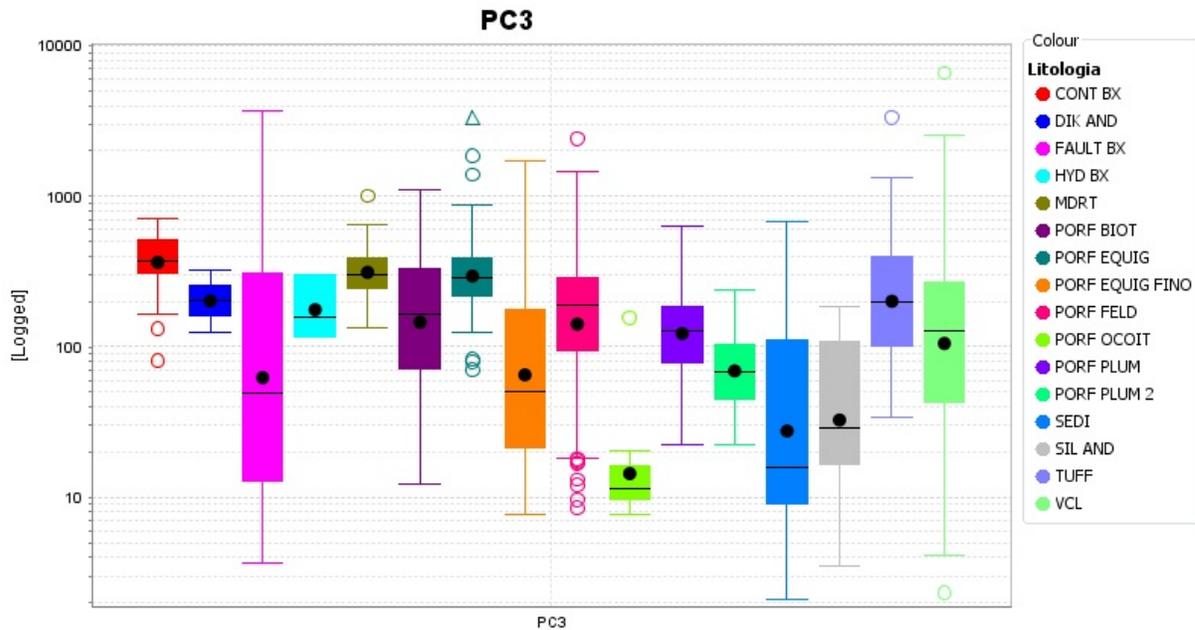


Figura 4.16: Gráfico PC3 vs Litología. Los valores de PC3 fueron calculados como:  $As^{*0.499} + Cu^{*0.648} + Fe^{*0.833} + S^{*0.783}$ . El gráfico presenta el eje Y en base logarítmica para facilitar su interpretación. CONT BX: brecha contacto, DIK AND: dique andesítico, FAULT BX: brecha contacto, HYD BX: brecha hidrotermal, MDRT: microdiorita, PORF BIOT: pórfido Biotítico, PORF EQUIG: pórfido Picarón, PORF EQUIG FINO: pórfido Equigranular Fino, PORF FELD: pórfido Feldespático, PORF OCOIT: pórfido Ocoitico, PORF PLUM: pórfido Plumoso, PORF PLUM 2: pórfido Plumoso 2, SEDI: unidad Sedimentaria, TUFF: unidad Tobas, VCL: unidad Volcanoclástica.

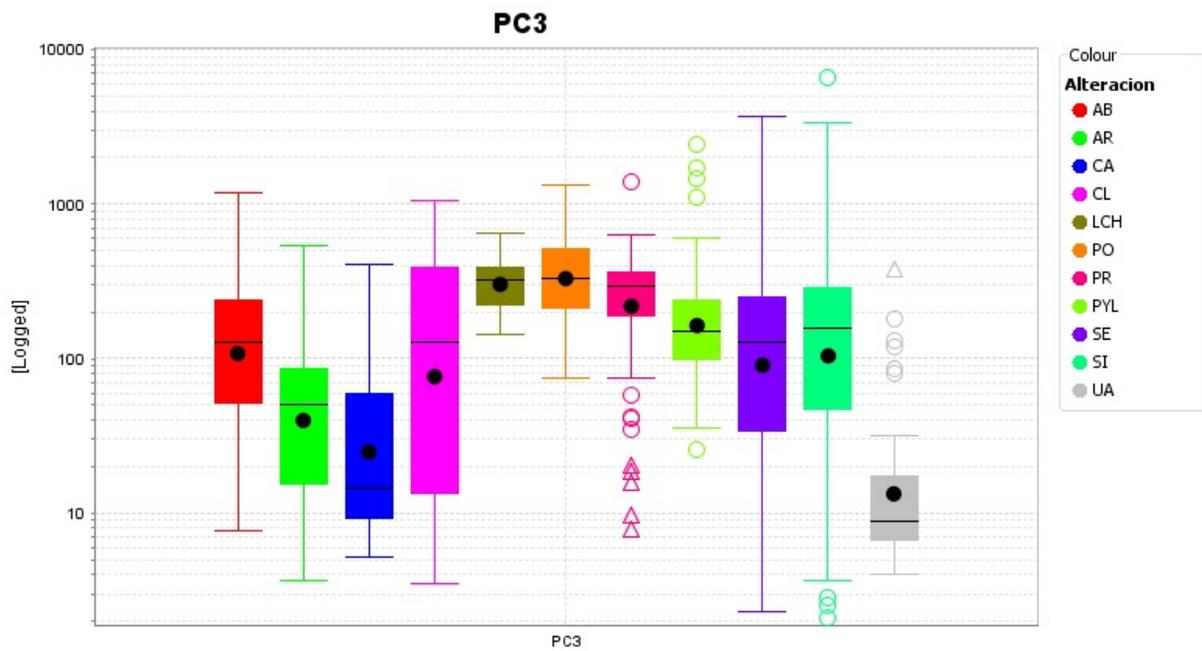


Figura 4.17: Gráfico PC3 vs Alteración. Los valores de PC3 fueron calculados como:  $As*0.499 + Cu*0.648 + Fe*0.833 + S*0.783$ . El gráfico presenta el eje Y en base logarítmica para facilitar su interpretación. AB: albitización, AR: alteración argílica, CA: calcita, CL: clorita, LCH: lixiviación, PO: alteración potásica, PR: alteración propilítica, PYL: alteración fílica, SE: sericita, SI: silicificación, UA: roca no alterada

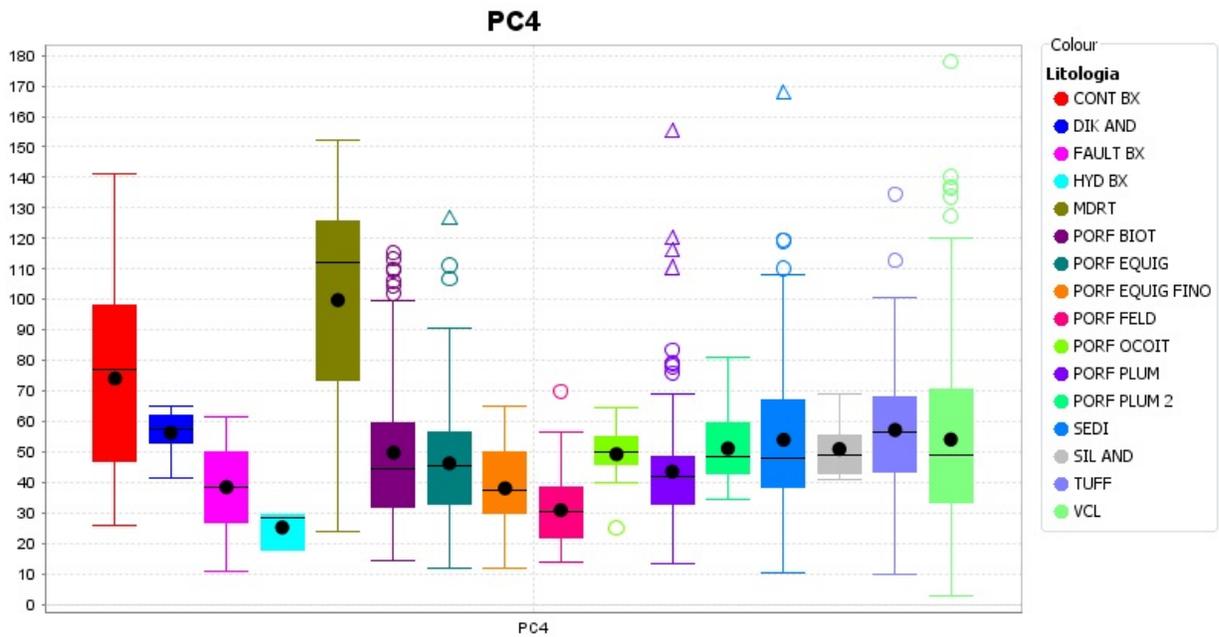


Figura 4.18: Gráfico PC4 vs Litología. Los valores de PC4 fueron calculados como:  $Mg*0.667 + Sc*0.826 + V*0.583 + Cr*0.472$ . CONT BX: brecha contacto, DIK AND: dique andesítico, FAULT BX: brecha contacto, HYD BX: brecha hidrotermal, MDRT: microdiorita, PORF BIOT: pórfido Biotítico, PORF EQUIG: pórfido Picarón, PORF EQUIG FINO: pórfido Equigranular Fino, PORF FELD: pórfido Feldespático, PORF OCOIT: pórfido Ocoítico, PORF PLUM: pórfido Plumoso, PORF PLUM 2: pórfido Plumoso 2, SEDI: unidad Sedimentaria, TUFF: unidad Tobas, VCL: unidad Volcanoclástica.

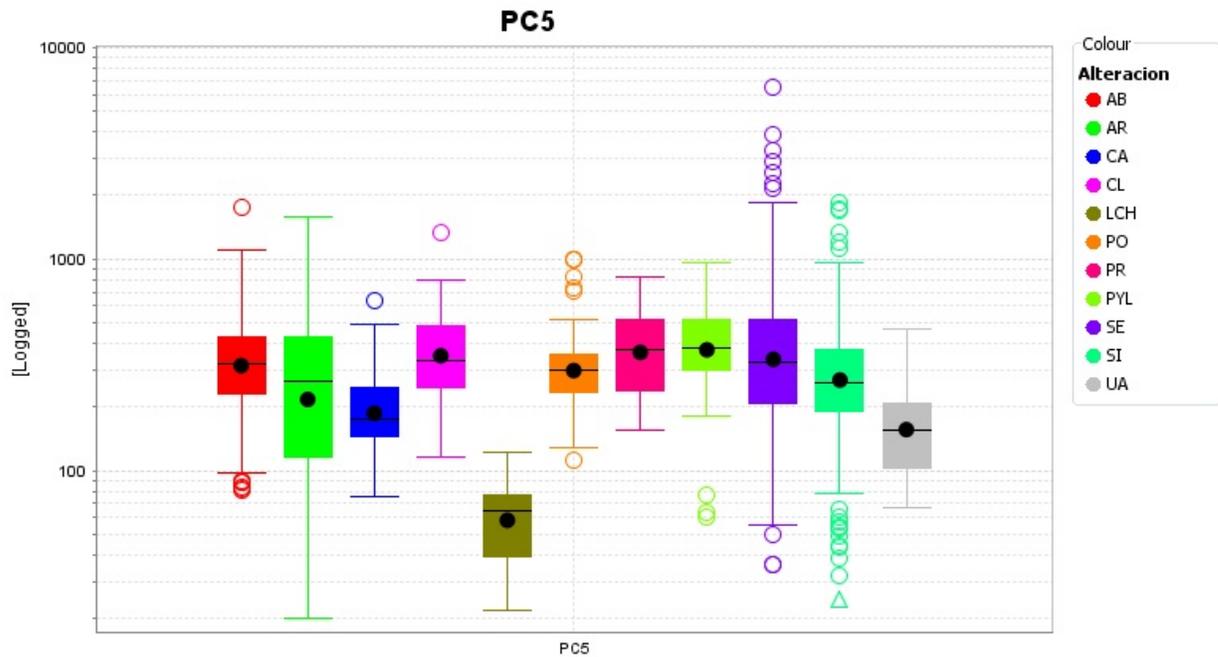


Figura 4.19: Gráfico PC5 vs Alteración. Los valores de PC5 fueron calculados como:  $Co \cdot 0.793 + Mn \cdot 0.906 + Ni \cdot 0.374$ . AB: albitización, AR: alteración argílica, CA: calcita, CL: clorita, LCH: lixiviación, PO: alteración potásica, PR: alteración propilítica, PYL: alteración filica, SE: sericita, SI: silicificación, UA: roca no alterada

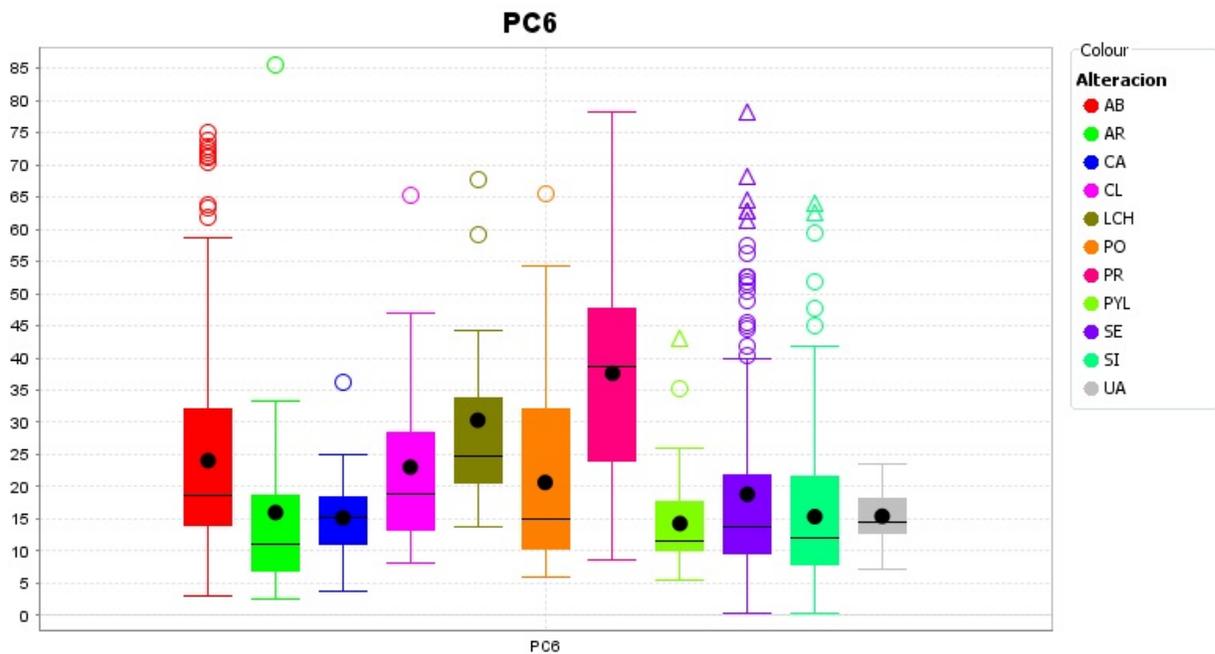


Figura 4.20: Gráfico PC6 vs Alteración. Los valores de PC6 fueron calculados como:  $Ca \cdot 0.875 + Sr \cdot 0.425$ . AB: albitización, AR: alteración argílica, CA: calcita, CL: clorita, LCH: lixiviación, PO: alteración potásica, PR: alteración propilítica, PYL: alteración filica, SE: sericita, SI: silicificación, UA: roca no alterada

Finalmente la D8 corresponde a Ag, por lo que se atribuye esta componente a un evento mineralizador, sin embargo, este resultado es producto de la existencia de valores *outliers* que aumentan los valores de PC8 y de que los análisis geoquímicos para este elemento presentaban poca variabilidad y fue incluido en este análisis solo por el interés económico que tiene.

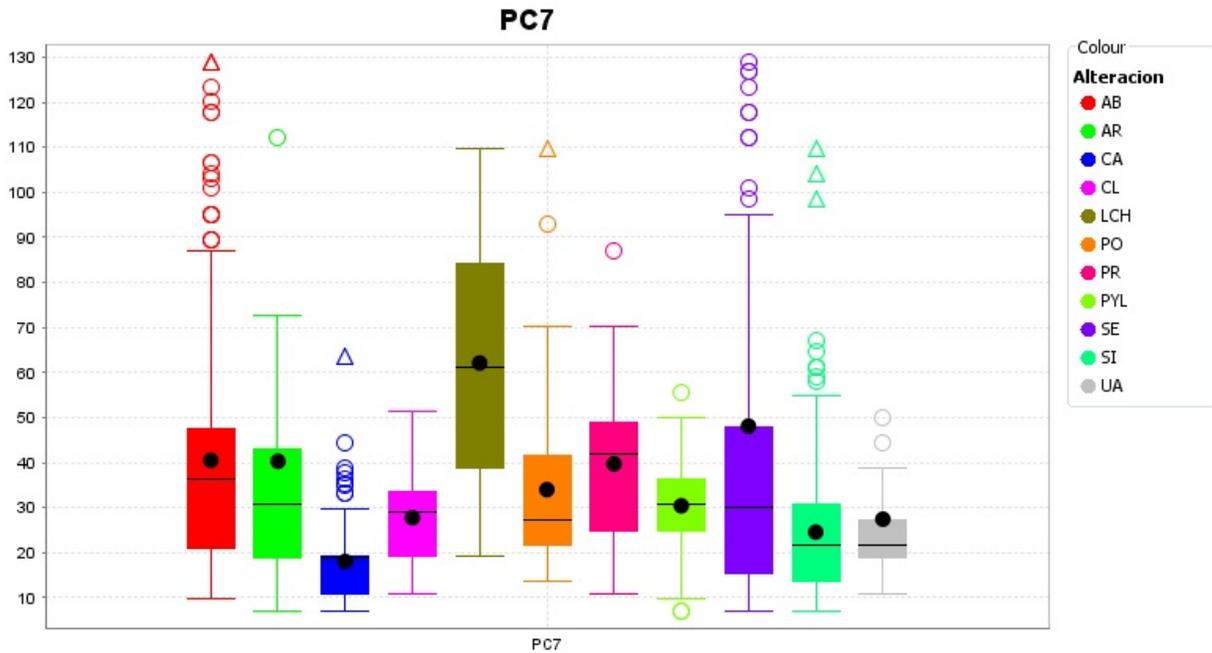


Figura 4.21: Gráfico PC7 vs Alteración. Los valores de PC7 fueron calculados como:  $Ba \cdot 0.565 + La \cdot 0.804$ . AB: albitización, AR: alteración argílica, CA: calcita, CL: clorita, LCH: lixiviación, PO: alteración potásica, PR: alteración propilítica, PYL: alteración filica, SE: sercita, SI: silicificación, UA: roca no alterada

# Capítulo 5

## Secciones geológicas

### 5.1. Secciones

Se realizaron 3 secciones en el prospecto Picarón, la sección norte que corta al sondeo VPIDD11002, la sección central que corta a los sondeos VPIDD001, VPIDD11003 y VPIDD12020 y la sección sur que corta a los sondeos VPIDD11004 y VPIDD12021 y a cada una de ellas en las proyecciones de los sondeos se les graficaron las concentraciones de los elementos Au, Cu y Mo, eligiendo los valores de los tramos según las poblaciones definidas en el capítulo 4. Éstas se construyeron para estudiar la relación entre litologías, alteraciones y los límites definidos en el capítulo anterior como umbrales exploratorios recomendados para el área. Importante es mencionar que debido a la baja densidad de sondeos en el área, la interpretación de la geología en profundidad puede contener errores que pueden ser disminuidos al considerar los datos generados por sondeos históricos de la zona, a los cuales no se tuvo acceso en este trabajo.

#### 5.1.1. Concentraciones de Cu

Del análisis de poblaciones se concluyó que el umbral exploratorio para el Cu corresponde a 311 ppm. De las 3 secciones (figuras 5.1, 5.2 y 5.3) se desprende que los valores sobre este umbral se encuentran en las rocas mapeadas como la Microdiorita, como el pórfido Picarón, y en las rocas que actúan como caja y que están en contacto con el último intrusivo mencionado, siendo las más receptivas a este elemento y por lo tanto a la mineralización, la unidad de tobas y el paquete volcanoclástico. El pórfido Feldespático definido como inter mineral, presenta valores sobre 311 ppm cuando está en las cercanías o en contacto con el

pórfido Picarón como se aprecia en la sección central, mientras que cuando se encuentra más en superficie presenta valores un poco más bajos, sin embargo, no hay certeza de que ésta sea siempre la tendencia ya que no existen muestras geoquímicas de este pórfido en las cercanías a la superficie, esto también podría deberse a que toda la superficie está argilizada con alteración sericita sobreimpuesta.

### **5.1.2. Concentraciones de Mo**

Para el Mo del análisis de poblaciones se concluyó que el umbral exploratorio corresponde a 22 ppm. Las secciones corresponden a las figuras 5.4, 5.5 y 5.6, de ellas se desprende que al igual que el Cu, las mayores concentraciones se encuentran en el pórfido Picarón y en las rocas cajas cercanas a él, especialmente el paquete volcanoclástico. Esto es consistente con la correlación que existe entre ambos elementos sobre todo para los pórfidos definidos como mineral temprano. En las tres secciones al igual que en las de Cu, después de la falla basal, las concentraciones son menores al umbral definido en la zona y no presentan un real interés económico, al igual que en los pórfidos descritos como mineral tardío.

### **5.1.3. Concentraciones de Au**

Para el Au, se definió el umbral exploratorio en 0.027 ppm o -1.569 en base logarítmica. Las secciones correspondientes son las de las figuras 5.7, 5.8 y 5.9, de las cuales se desprende que las mayores concentraciones sobre el umbral se encuentran en el paquete sedimentario profundo, exactamente luego de la falla. Los niveles de Au son también altos para el pórfido Feldespático, como se ve en la sección norte y en la central, y para el pórfido Plumoso como se puede ver en las secciones sur y central, ambos están definidos como inter mineral. Los valores más bajos los presentan las rocas definidas como pórfidos productores, siendo las concentraciones del pórfido Biotítico mayores al pórfido Picarón. La roca caja volcanoclástica también presenta algunos valores sobre el umbral cuando se encuentra en las cercanías a los pórfidos inter mineral. Los pórfidos mineral tardío y post mineral presentan concentraciones promedio.

### **5.1.4. Alteraciones**

También se graficaron las alteraciones mapeadas en los sondajes por MHC a las secciones, como se ve en las figuras 5.10, 5.11 y 5.12. La data usada grafica las alteraciones predomi-

# Sección Norte Blanco Exploración Picarón

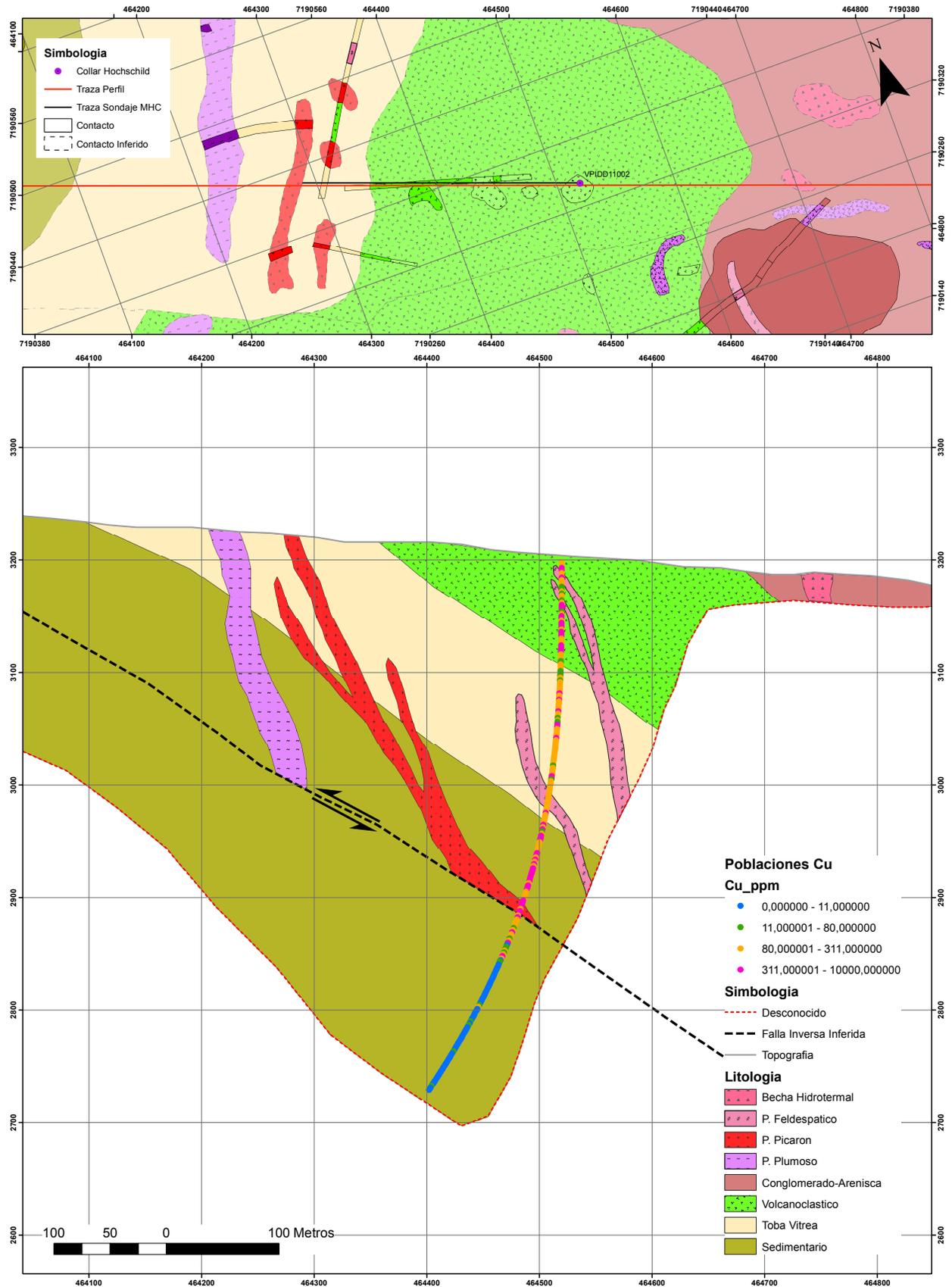


Figura 5.1: Sección norte vs concentraciones de Cu

## Sección Central Blanco Exploración Picarón

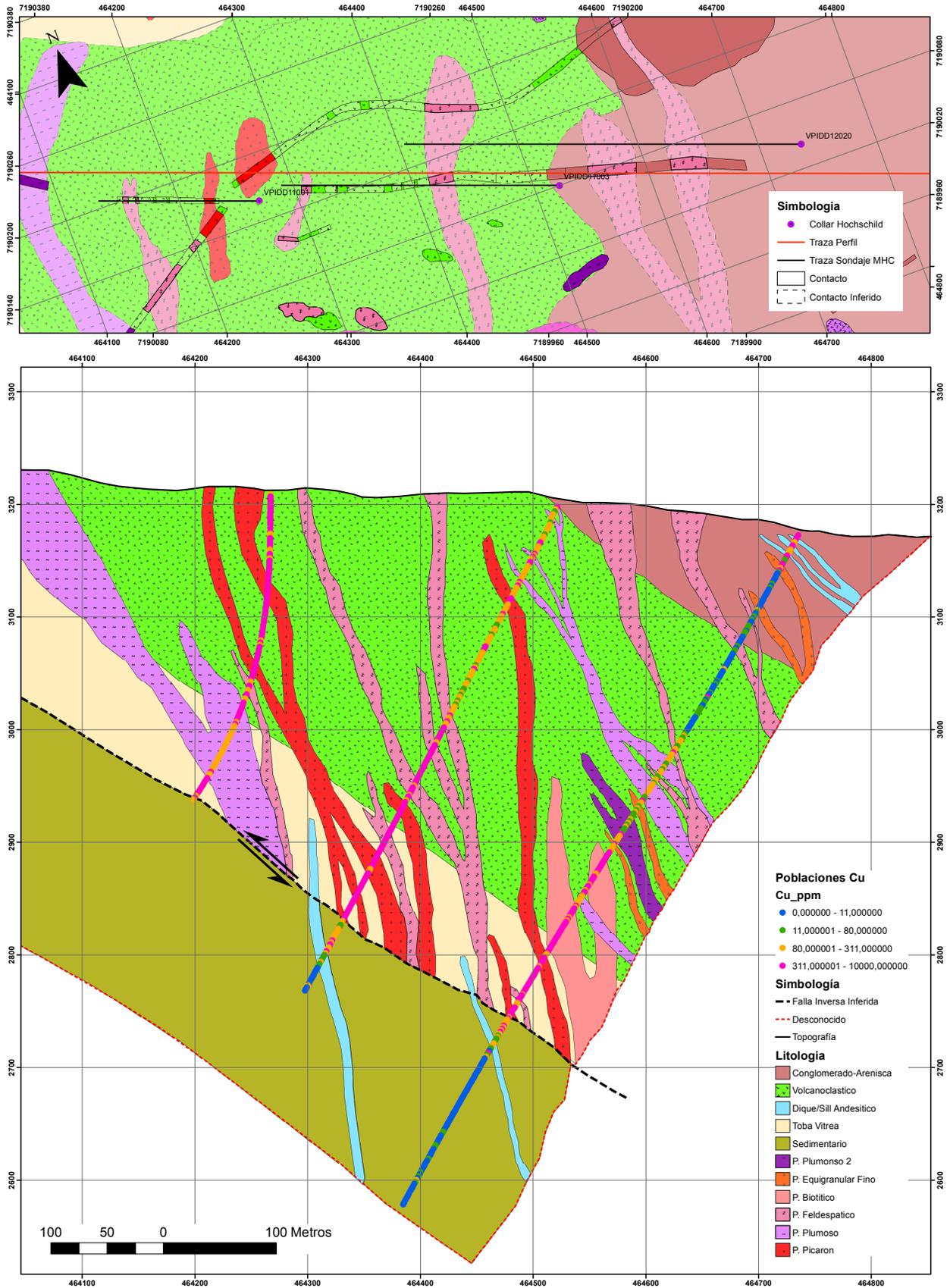


Figura 5.2: Sección central vs concentraciones de Cu

# Sección Sur Blanco Exploración Picarón

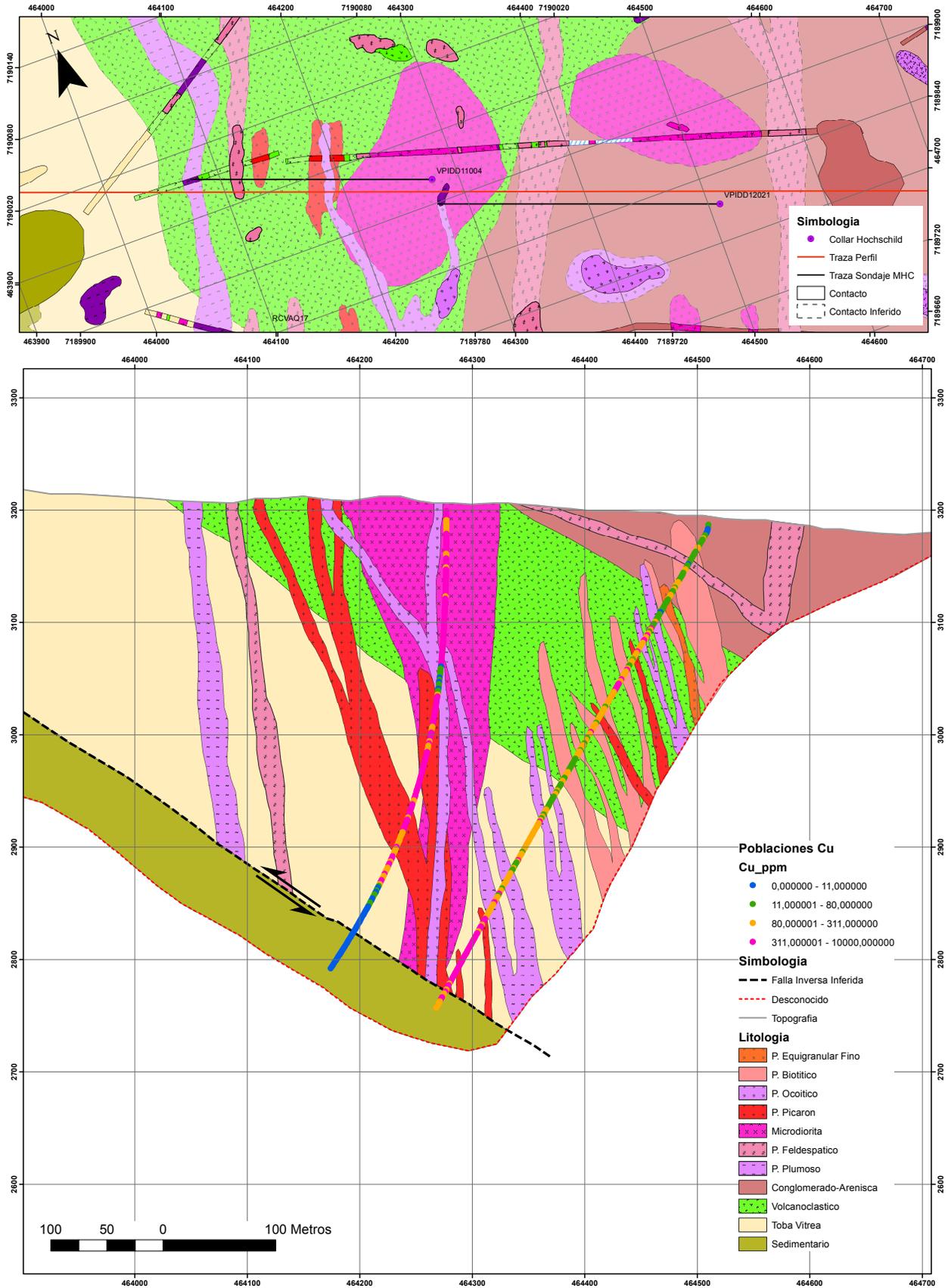


Figura 5.3: Sección sur vs concentraciones de Cu

# Sección Norte Blanco Exploración Picarón

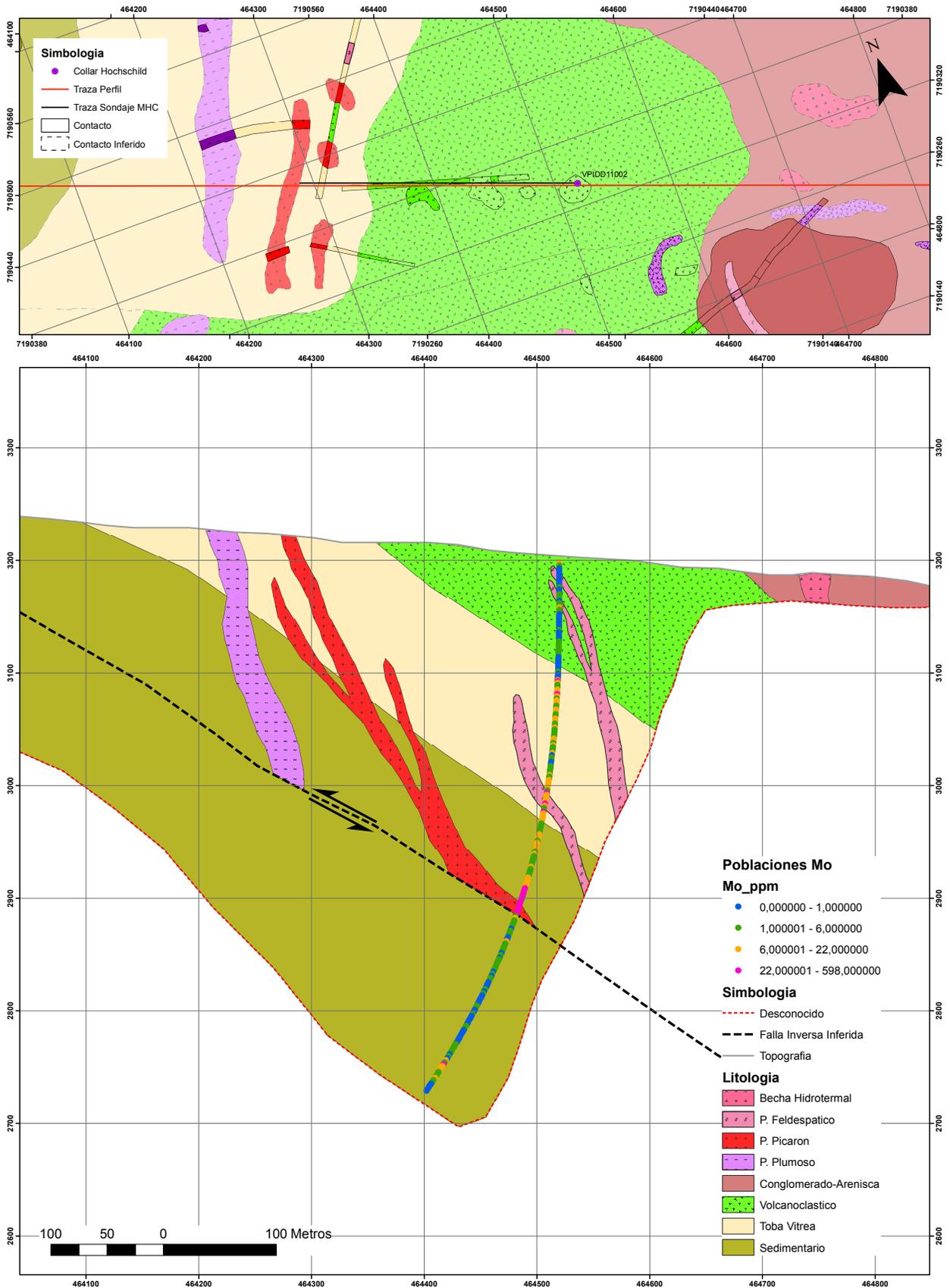


Figura 5.4: Sección norte vs concentraciones de Mo

# Sección Central Blanco Exploración Picarón

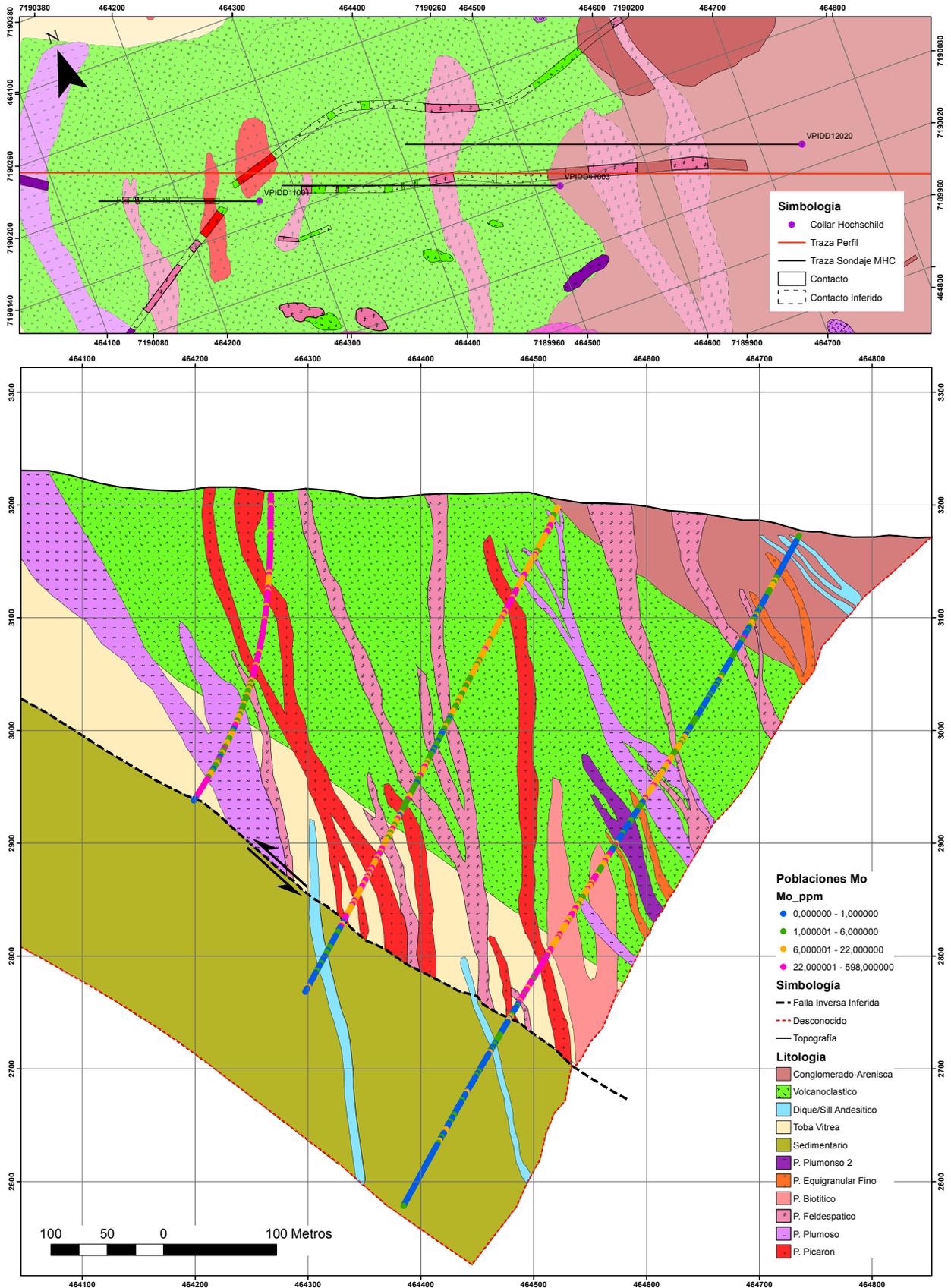


Figura 5.5: Sección central vs concentraciones de Mo

# Sección Sur Blanco Exploración Picarón

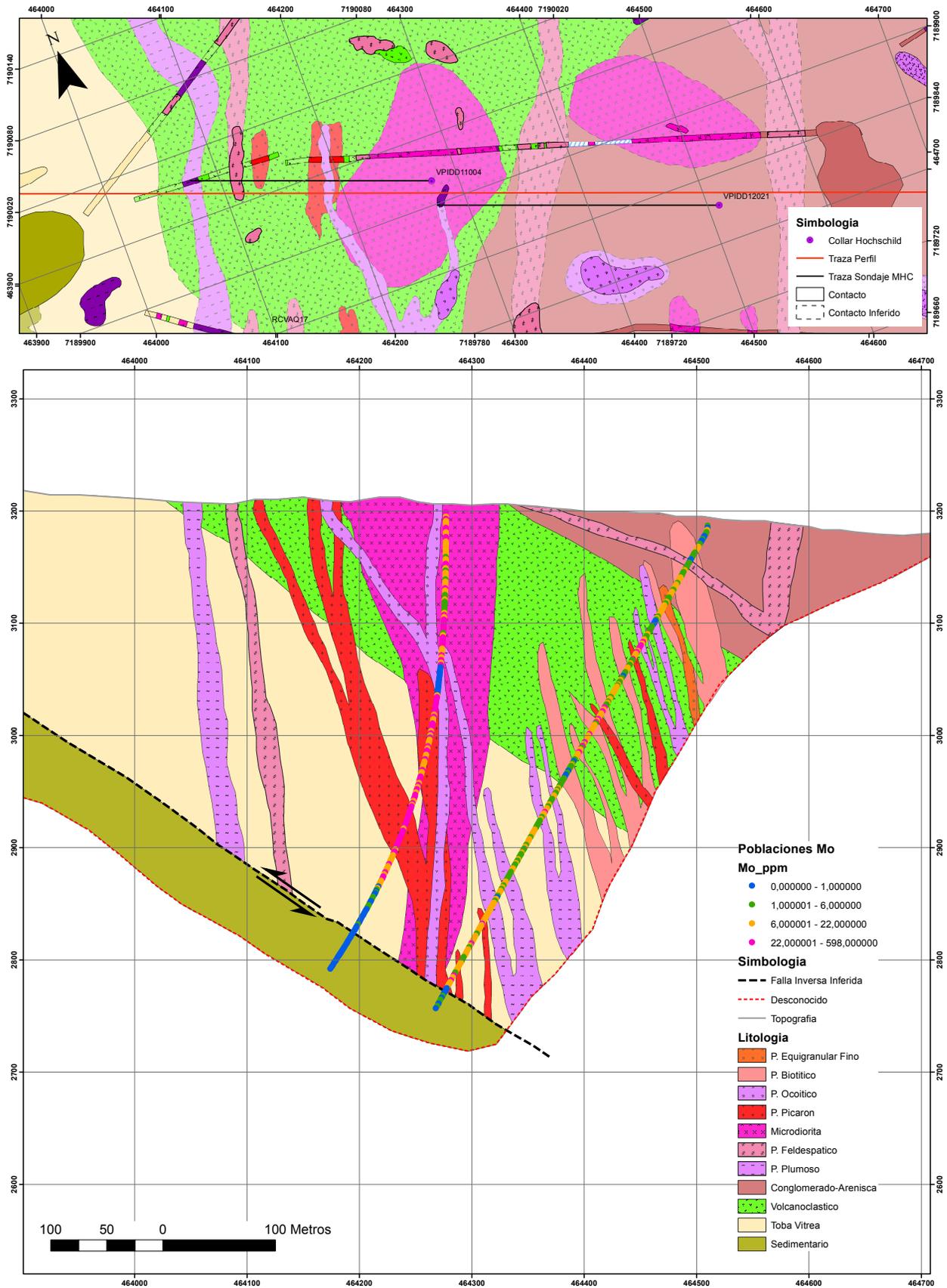


Figura 5.6: Sección sur vs concentraciones de Mo

# Sección Norte Blanco Exploración Picarón

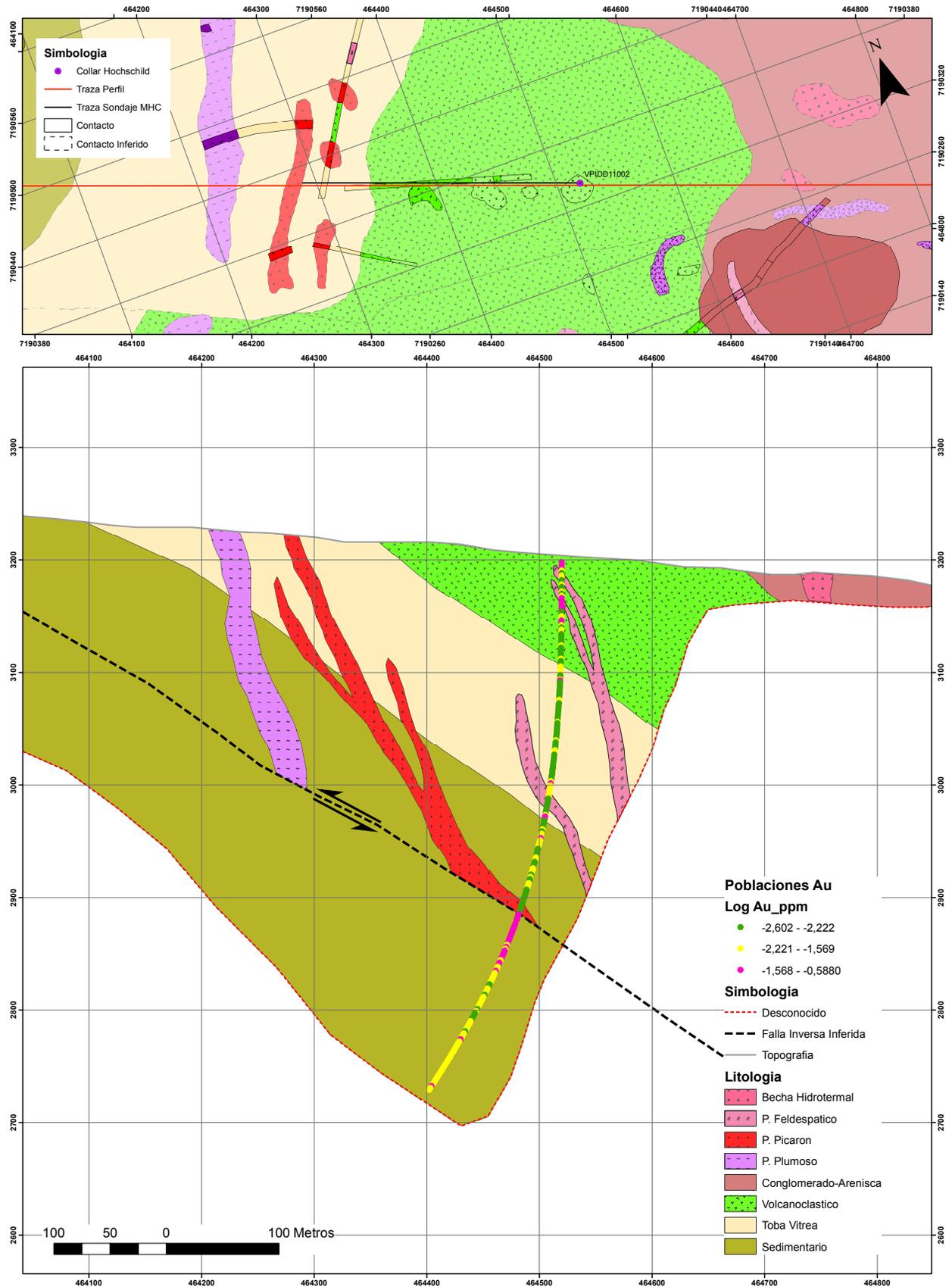


Figura 5.7: Sección norte vs concentraciones de Au

# Sección Central Blanco Exploración Picarón

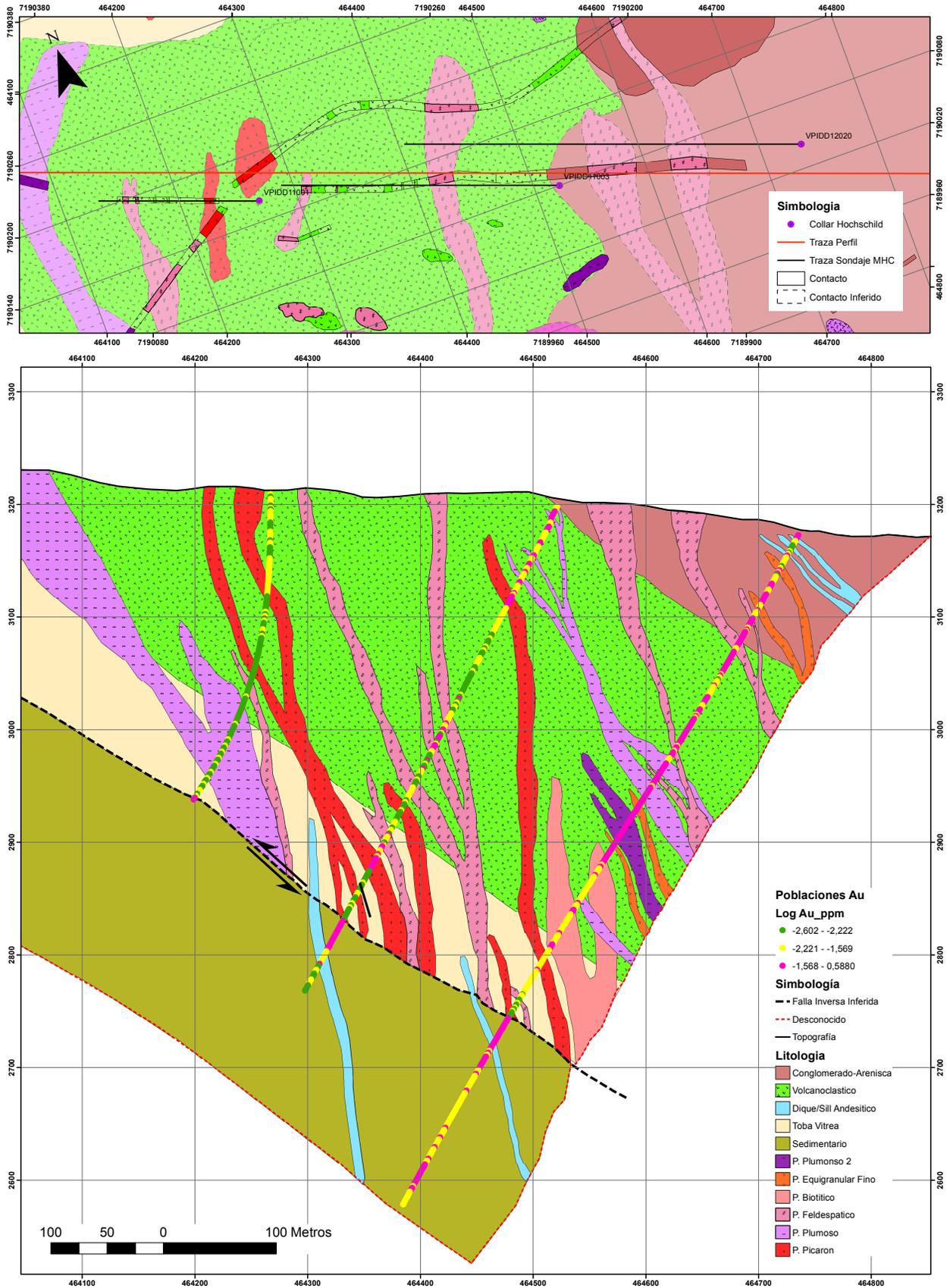


Figura 5.8: Sección central vs concentraciones de Au

# Sección Sur Blanco Exploración Picarón

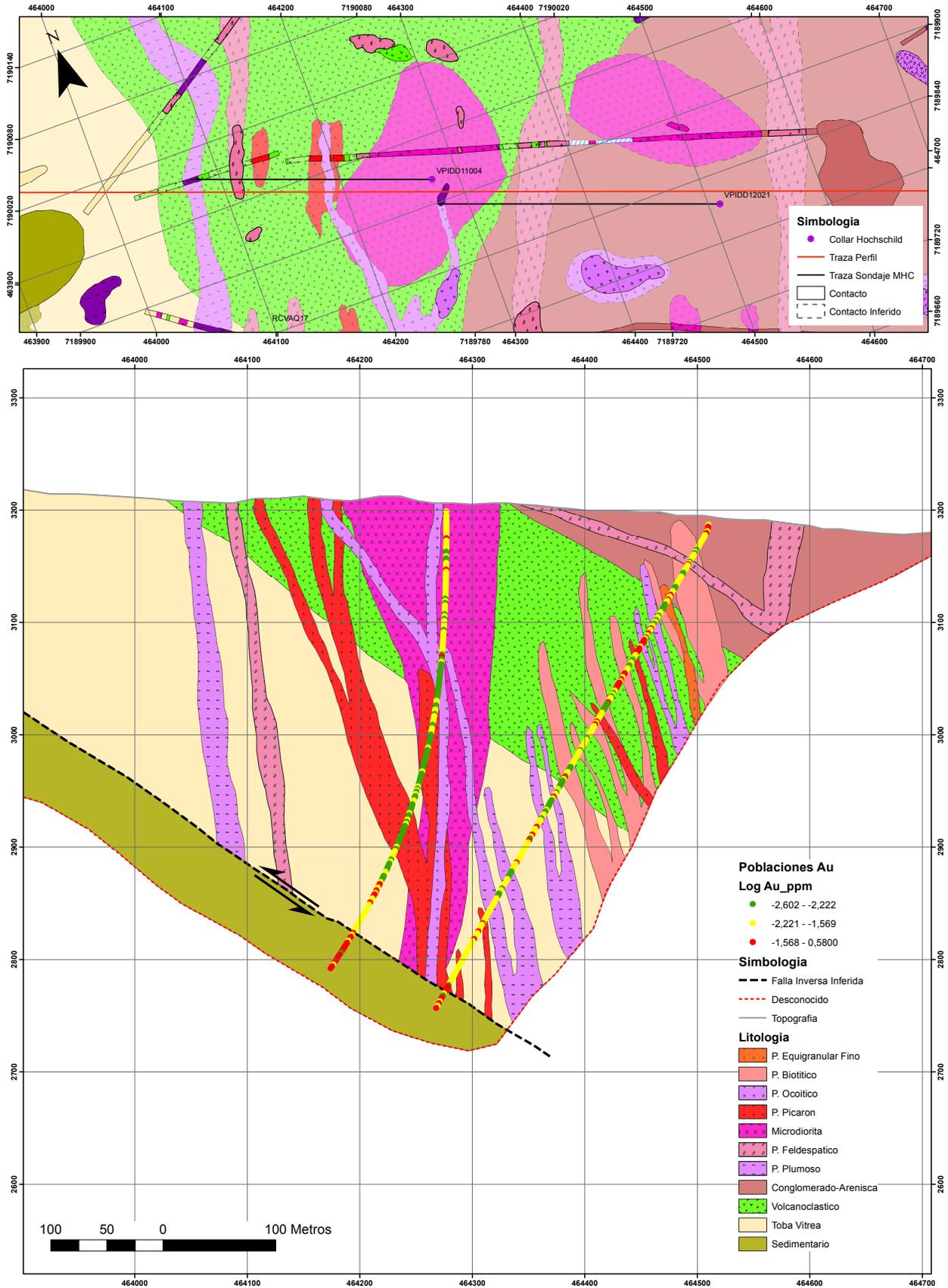


Figura 5.9: Sección sur vs concentraciones de Au

nantes, y de ella se desprende que la alteración potásica se encuentra alterando al pórfido Feldespático, al pórfido Picarón, en menor medida al pórfido Biotítico y a la roca caja volcanoclástica y la unidad tobas en las cercanías a los pórfidos mencionados. En terreno, más específicamente en los sondeos, la silicificación presente en el pórfido Picarón (figura 5.11) no es evidente y se cree que debe haber sido mapeada así por la alta densidad de vetillas de cuarzo afectando a este intrusivo (10 vetillas cada 10 cm en promedio), ya que la asociación mineralógica de alteración predominante descrita fue biotita secundaria-clorita-albita-feldespato potásico, con alteración sericita sobrepuesta no solo a este tipo de roca, sino que afecta de la misma manera a las rocas que actúan de caja, es importante destacar que las concentraciones de Cu en la alteración que fue mapeada como silicificación son menores a las de la alteración potásica con un valor promedio cercano a las 500 ppm. La albitización ocurre rodeando los centros de alteración potásica, en la cual también se encuentra presente en menor grado. La alteración propilítica se encuentra más cercana a la superficie y se ve claramente en la microdiorita (figura 5.12). El paquete sedimentario profundo se presenta bastante fresco, presenta alteración débil de calcita y propilítica.

## Sección Norte Blanco Exploración Picarón

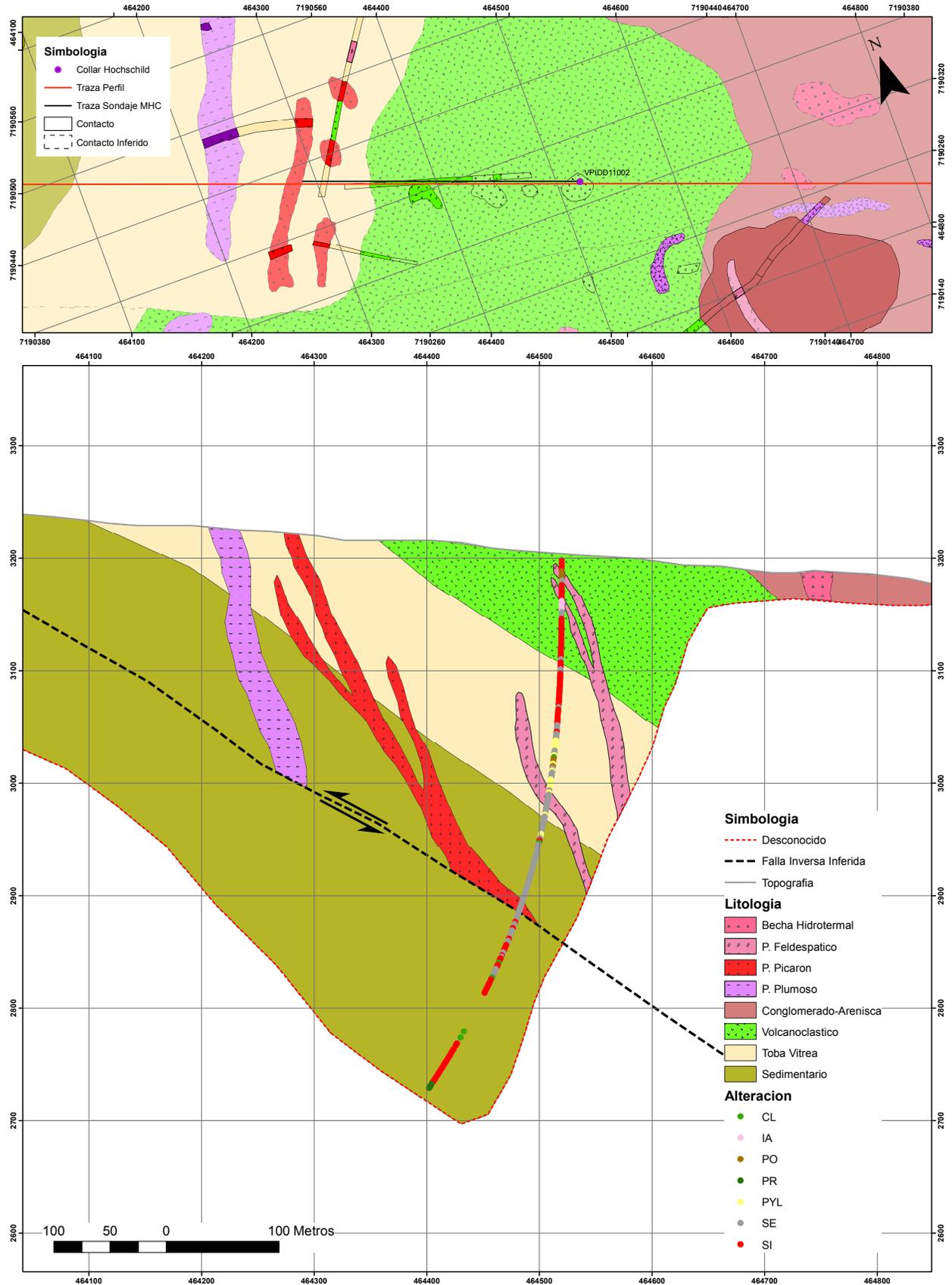


Figura 5.10: Sección norte vs alteraciones. CL: clorita, IA: argilización intermedia, PO: alteración potásica, PR: alteración propilítica, PYL: alteración filica, SE: sericita, SI: silicificación.

## Sección Central Blanco Exploración Picarón

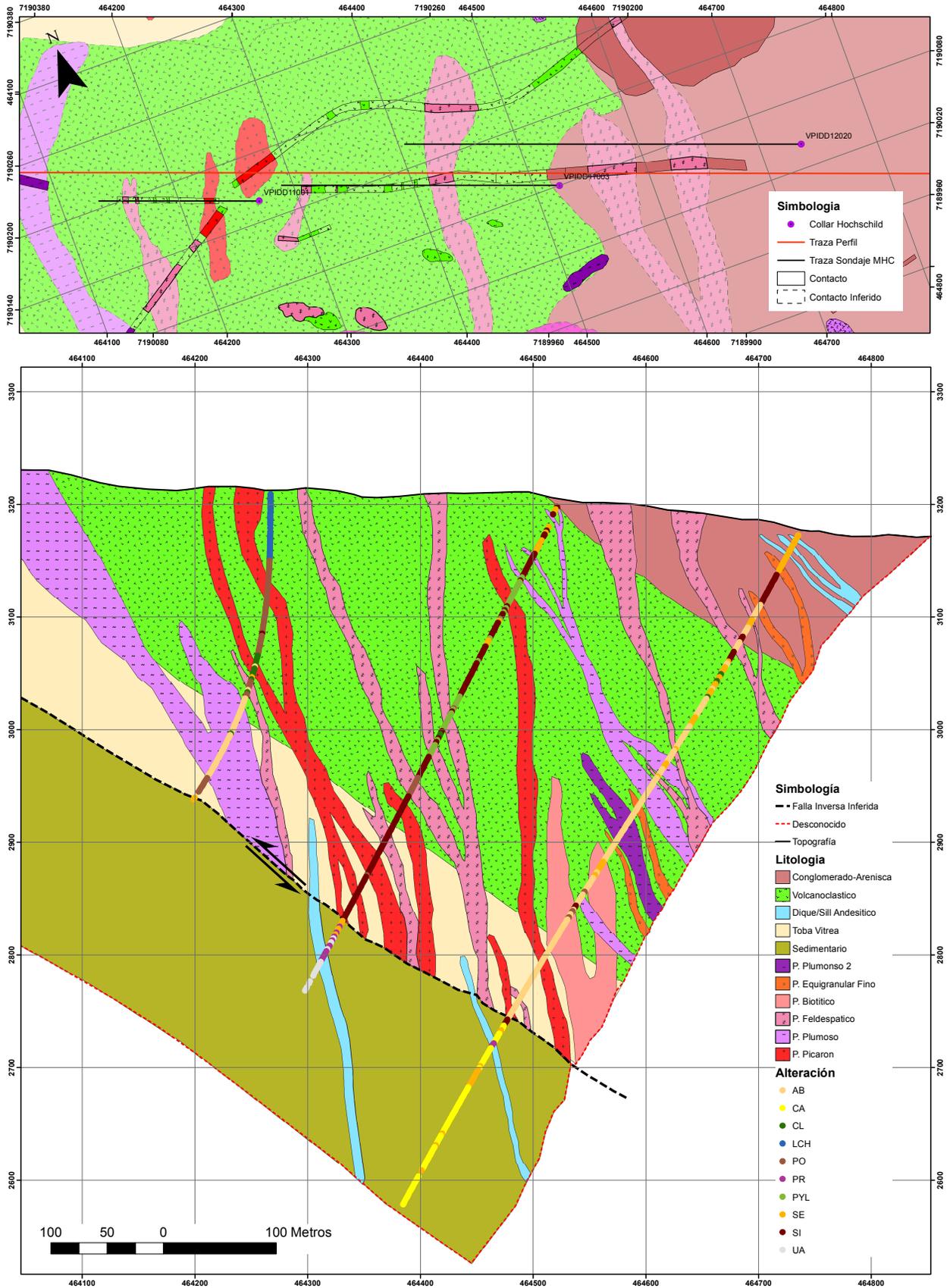


Figura 5.11: Sección central vs alteraciones. AB: albita, CA: calcita, CL: clorita, LCH: lixiviación, PO: alteración potásica, PR: alteración propilítica, PYL: alteración filica, SE: sericita, SI: silicificación, UA: sin alteración.

## Sección Sur Blanco Exploración Picarón

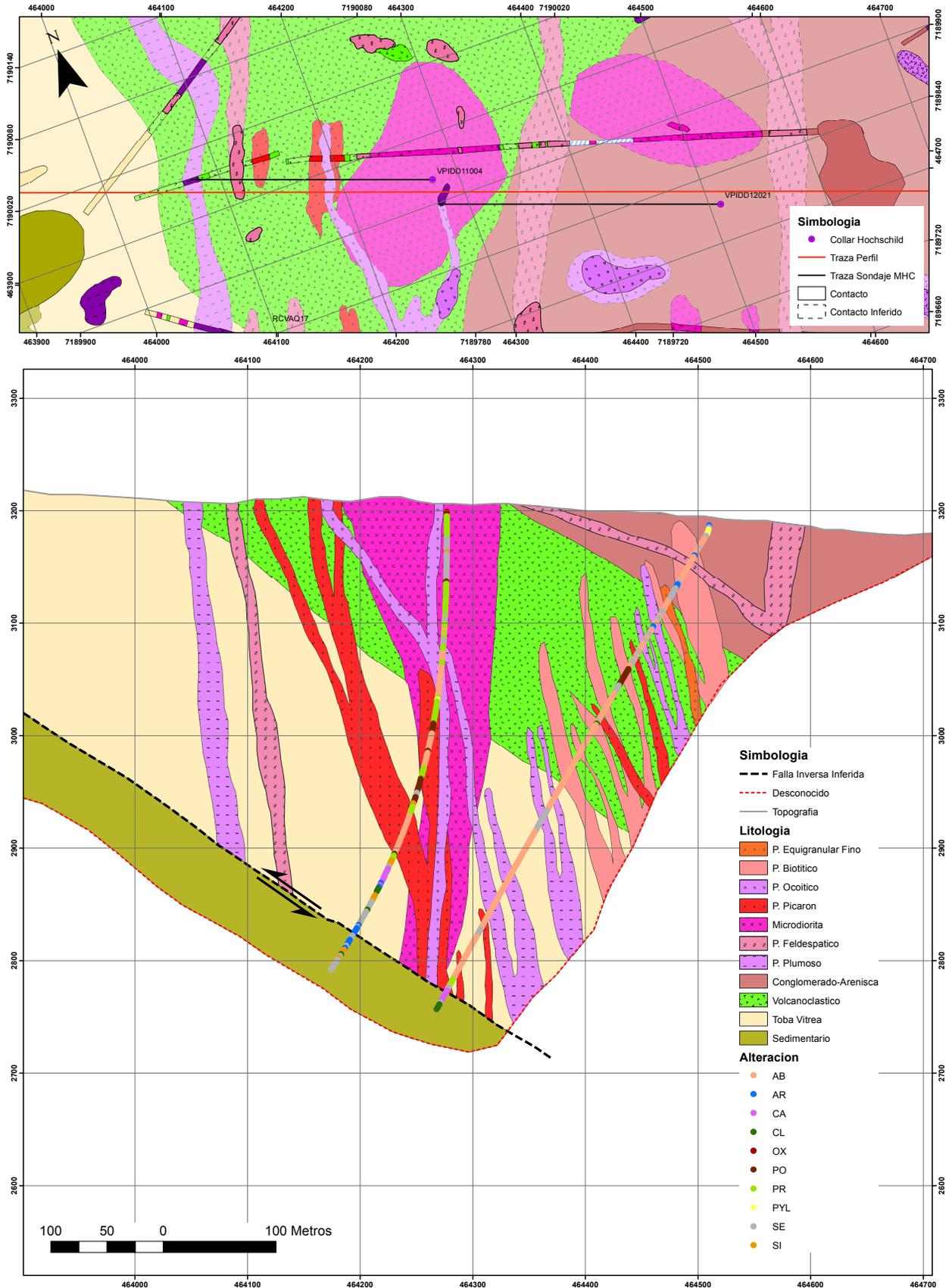


Figura 5.12: Sección sur vs alteraciones. AB: albita, AR: argilización, CA: calcita, CL: clorita, OX: oxidación, PO: alteración potásica, PR: alteración propilítica, PYL: alteración fílica, SE: sericita, SI: silicificación.

# Capítulo 6

## Discusiones

### 6.1. Síntesis geológica

El blanco de exploración Picarón corresponde a un grupo de cuerpos intrusivos que ha sido reconocido como parte de los Intrusivos Hipabisales de Sierra Candeleros (Kshsc) los cuales tienen una edad datada de 86 Ma aproximadamente, lo que lo ubica en la franja metalogénica correspondiente a la del Cretácico Superior. Esta franja incluye vetas mesotermales a epitermales con contenidos de Au y Cu, las cuales están controladas por complejos sistemas estructurales (Maksaev *et al.*, 2007) y también pórfidos de Cu y Au, sin embargo, en los prospectos de este tipo solo ha existido explotación a pequeña escala de estructuras auríferas (Maksaev, 2001).

Los cuerpos ígneos se encuentran intruyendo a rocas estratificadas del Jurásico Superior, correspondientes a la Formación Profeta, la Formación Candeleros y a una unidad del Cretácico inferior, Estratos de la Quebrada del Chaco, que antiguamente se incluía en la Formación Santa Ana, estas secuencias sedimentarias continentales se depositaron en concordancia sobre areniscas de ambiente somero de la Formación Profeta, para posteriormente ser afectadas por un evento de deformación contraccional que formó amplios pliegues concéntricos, como el sinclinal Del Chaco (Venegas *et al.*, 2013).

Las alteraciones descritas en superficie por MHC coinciden, al igual que la litología, con la existente en la literatura. Las alteraciones presentes corresponden principalmente a argílica y filica, al igual que como se detalla en el trabajo de Venegas *et al.* (2013), sin embargo, a menor escala es identificable un centro de alteración potásica, evidenciado por la asociación mineralógica biotita secundaria, cuarzo, albita.

## 6.2. Geoquímica

En la zona de estudio es posible encontrar numerosas evidencias, en forma de vetillas, de mineralización de Cu, además de la presencia en superficie de zonaciones de alteraciones hidrotermales consistentes con un modelo tipo pórfido cuprífero. Los resultados geoquímicos en los sondajes realizados entregaron algunas concentraciones interesantes que fueron analizadas en este trabajo, mediante un análisis estadístico univariable y multivariable que será discutido a continuación.

Primero se realizó un control de calidad para asegurar la integridad de los datos generados por el laboratorio. Del control de blancos se concluyó que no existe contaminación en las muestras. Los resultados del análisis a muestras estándar arrojaron resultados fuera de rango para las muestras que midieron concentraciones bajas y altas de Ag (figura 4.2), esto afecta la exactitud de los resultados y podría haber sido afectada por la cercanía de los valores analizados a los límites de detección de Ag. Los resultados del control de calidad para muestras duplicadas están todos fuera del límite de tolerancia permitidos por la compañía, esto podría ser producto de un error de manipulación que podría ocurrir durante cualquier etapa del análisis. El error fundamental de muestreo, o *fundamental sampling error*, está relacionado con características intrínsecas del material analizado y, por lo tanto, no puede ser eliminado totalmente, por lo que el error, en este caso, podría atribuirse a las prácticas de muestreo utilizadas durante la implementación y seguimiento del protocolo, o a la cercanía de las concentraciones de Au y Ag a los límites de detección, que en el caso de estos elementos se encuentran por lo general fuera de rango. El resultado del control de calidad es que los análisis geoquímicos tienen buena exactitud pero pobre precisión, pero esto podría cambiar si se hiciera el mismo análisis con un elemento mayor, ya que las concentraciones no deberían ser cercanas a los límites de detección.

Del análisis estadístico univariable se obtuvieron los siguientes resultados: de la estadística básica se definió un valor de *background* (figura 4.5), que no se obtuvo como es recomendable de rocas frescas y sin alteración, por lo que los valores pueden estar sobreestimados. Se consideraron los valores sobre este valor como anomalías positivas, entre ellos se encuentran el Cu, Mo, Ag, Au, As y S, y con los valores bajo este valor como anomalías negativas entre ellos el Fe, Zn y Pb. Las anomalías positivas de Cu  $\pm$  Mo  $\pm$  Au son características de zonaciones metálicas en alteraciones potásicas (Sillitoe, 2010), lo que se correlaciona bien con lo visto en la zona, estos centros de Cu  $\pm$  Mo  $\pm$  Au presentan halos con anomalías de Pb  $\pm$  Zn que reflejan condiciones hidrotermales de bajas temperaturas que está relacionado con alteración propilítica (Sillitoe, 2010).

Los resultados de los análisis mediante diagramas de caja armonizan las concentraciones de los elementos bastante bien con las litologías ya definidas en el proyecto, mientras que para las alteraciones las concentraciones de Ag y Au no se condicen bien con lo esperado en la alteración argílica y fílica, las cuales son comúnmente estériles (Sillitoe, 2010). La mayor dispersión de concentraciones de K en el pórfido Picaron y en la microdiorita podría deberse a zonas puntuales con alteración potásica que provoquen un aumento de biotita y feldespato potásico y, por lo tanto, de K, ya que disolución en agua regia disuelve la mayoría de la biotita y no así otros minerales con K en su composición (Snall y Liljefors, 2000). Las concentraciones de elementos mayoritarios en la microdiorita son las más altas en comparación al resto de los intrusivos definidos en la zona, que tienen valores similares entre ellos. La concentración en intrusivos es mayor en Fe que Mg y la concentración es mayor para el Ca que para el Na en intrusivos y rocas estratificadas.

El análisis de poblaciones permitió definir los valores de umbral exploratorio recomendado en la zona, los cuales serán utilizados junto a tres perfiles hechos de la zona, para un análisis en la siguiente sección 5. Del análisis realizado es destacable que existan concentraciones de Au con valores sobre el umbral en el paquete sedimentario ubicado bajo la falla inversa. Es probable que estas concentraciones se deban a otro evento completamente diferente a los que mineralizan y enriquecen a las rocas ubicadas sobre esta falla, ya que el único análisis que permitió diferenciar este paquete sedimentario del resto de las litologías fueron las altas concentraciones de Au en el paquete sedimentario (figura 4.4) y en su alteración fílica predominante (figura 4.5), además de que la única componente principal con Au asociado, la CP2, no tiene ninguna afinidad con esta litología en particular.

Como último análisis estadístico univariable se realizó un diagrama bivariante que permite definir una tendencia geoquímica hacia un extremo albitico o hacia una alteración potásica. Fue posible distinguir las tendencias según las alteraciones y litologías mapeadas, salvo para el pórfido Biotítico, ya que las mayores concentraciones de Na no se ven muy reflejadas en el diagrama hacia una alteración albitica y la tendencia es débil (figura 4.8), pero dado que las concentraciones de K son menores a las del pórfido Picaron, se valida una alteración albitica predominante para el pórfido Biotítico, pero no tan intensa.

Los resultados del análisis estadístico multivariable serán discutidos a continuación. Para el análisis de correlación de Pearson, muchas de las correlaciones son entre elementos mayoritarios o elementos que pueden ser trazas en minerales formadores de rocas. Para los distintos conjuntos de intrusivos (figura 4.12) existen buenas correlaciones de Cu-Mo y Cu-Au, mientras que para intrusivos inter mineral no existen correlaciones de Cu con otro elementos, las buenas correlaciones ya mencionadas se relacionan a la presencia de sulfuros de Cu, calcopirita, molibdenita y bornita en las litologías mencionadas. La baja correlación de minerales de

interés en los pórfidos definidos como inter mineral es anómala, ya que estos deberían haber sido emplazados durante los eventos de alteración y mineralización (Snall y Liljefors, 2000) y deberían por lo tanto tener mineralización de interés, que debería ir disminuyendo a medida que los intrusivos se hacen más jóvenes, sin embargo esto no ocurre, ya que como se vio en la sección 5, los pórfidos definidos como inter mineral no presentan leyes sobre el umbral exploratorio para el Mo y muy pocas están sobre este valor para el Cu y Au, además, presentan casi en su totalidad una alteración albitica, y alteración potásica se presenta marcada solo en sectores del pórfido Feldespático, esto puede deberse a una excepción, puede ocurrir que las fases más tempranas presenten pobre mineralización (Sillitoe, 2010).

El análisis de componentes principales entrego 7 factores, que fueron analizados y cuyos resultados se encuentran resumidos en la tabla 6.1. La CP1 que explica un 16 % aproximado de la variabilidad corresponde a una componente litológica propia de las unidades intrusivas de la zona (figura 4.13) y por lo tanto a una composición diorítica. Atribuir las componentes principales CP4 y CP5 a alguna litología en especial no es evidente, CP4 se atribuyo finalmente a los pórfidos pre mineral, es decir, a la microdiorita. La componente de mineralización de Cu, CP3, es consistente con lo visto en diagramas de cajas, correlaciones de Pearson y en las secciones, ya que existen anomalías de Cu en la zona, asociadas a la alteración potásica y a los intrusivos definidos como pre mineral y mineral temprano. La componente de mineralización CP2 que explica el 11 % de la variabilidad se podría atribuir a una componente de mineralización de Au o a una alteración propilítica, esto sumado a la CP6 que también se atribuyo a una alteración propilítica, podría indicar la ubicación del prospecto dentro de un modelo de pórfido cuprífero, que sería en una zona distal al núcleo del sistema de pórfido. Esto ya que la asociación Pb-Zn, presente en la CP2, cuando se encuentra en concentraciones anómalas se asocia a un halo del núcleo mineralizado y coinciden espacialmente con zonas de alteración propilítica y podrían las venillas que cortan esta alteración ser ricas en Au (Sillitoe, 2010), esto podría indicar que a pesar de que el prospecto en cuestión no presenta anomalías positivas de Zn y Pb, ya que puede ocurrir en algunos pórfidos cupríferos que esta zonaciones no alcance a desarrollarse (Sillitoe, 2010), se encuentre efectivamente en una zona de alteración propilítica próxima al centro potásico. Esto último también se ve evidenciado en las alteraciones presentes en el blanco de exploración Picarón, ya que la asociación clorita-epidota-albita está presente, tanto en la roca caja como en rocas definidas como mineral temprano e inter mineral y la alteración albita esta casi siempre en compañía de clorita.

La silicificación se considera rara en pórfidos cupríferos y ha sido descrita asociada a venillas de cuarzo con bordes de alteración potásico (Seedorff *et al.*, 2005), esta alteración que ha sido atribuida al pórfido Picaron y fue definida por la alta densidad de venillas de cuarzo multidireccionales, no tiene asociada en la literatura una mineralización de sulfuros de

Tabla 6.1: Resumen del análisis de componentes principales, se indica la componente principal (CP), la asociación mineralógica y a que tipo de factor corresponde.

CP1	Al, K, Na, P, Sr, Ti, V, Zn	Factor litológico
CP2	Au, Cr, Ni, Pb, (As), (Zn)	Factor mineralización Au? Factor alteración propilítica
CP3	Cu, Fe, S, (As)	Factor mineralización Cu
CP4	Mg, Sc, V, (Cr)	Factor litológico
CP5	Co, Mn, (Ni)	Factor litológico
CP6	Ca, (Sr)	Factor alteración propilítica
CP7	Ba, La	Factor alteración

interés (Seedorff *et al.*, 2005), lo que sería consistente con lo expuesto anteriormente, ya que esta alteración puede presentarse de forma local, y ubicaría al prospecto en el núcleo de un sistema de pórfido (Seedorff *et al.*, 2005), sin embargo, las concentraciones de Cu presentes en el pórfido Picaron y la rara ocurrencia de esta alteración en pórfidos cupríferos, hacen descartar esta alteración como tal, ya que la asociación biotita-feldespato potásico-albita, presente en esta litología y evidenciada mediante petrografía, se condice mejor con las leyes de Cu mayores para las rocas descritas como mineral temprano que las rocas mapeada como con silicificación.

Tomando todo lo anterior en consideración, sería posible ubicar al blanco de exploración Picarón en la zona límite entre las alteraciones potásica y propilítica, como se ve en las figuras 6.1 y 6.2, sin embargo, los umbrales exploratorios determinados en la zona, son de bajos valores para Cu, Mo y Au.

En cuanto a la franja metalogénica del Cretácico Superior, en la cual el prospecto está ubicado, la mayoría de los pórfidos que tienen edades entre el Cretácico Superior y el Paleoceno tienen una composición calco alcalinas, andesíticas a riolíticas (Sillitoe y Perello, 2005) y esta no sería la excepción al estar ubicado en rocas de composición diorítica. Existen al menos seis pórfidos cupríferos en el norte de Chile que tienen esta edad, pero hasta el 2005, solo uno estaba en producción en el distrito Domeyko (Sillitoe y Perello, 2005), esto debido a que esta franja no corresponde a una de las más relevantes desde el punto de vista económico, ya que no alberga ningún yacimiento o pórfido gigante como la franja del Eoceno Superior al Oligoceno Inferior, pero si fue durante este periodo que los metales preciosos, como el oro y la plata, toman importancia, sobre todo asociados a sistemas mesotermales y epitermales como es el distrito Inca de Oro, distrito que alberga pórfidos Cu-Au, que han sido evaluados y explotados, como la mina del mismo nombre propiedad de Codelco y PanAust, el proyecto Carmen y el proyecto Artemisa, todos ubicados en la región de Atacama.

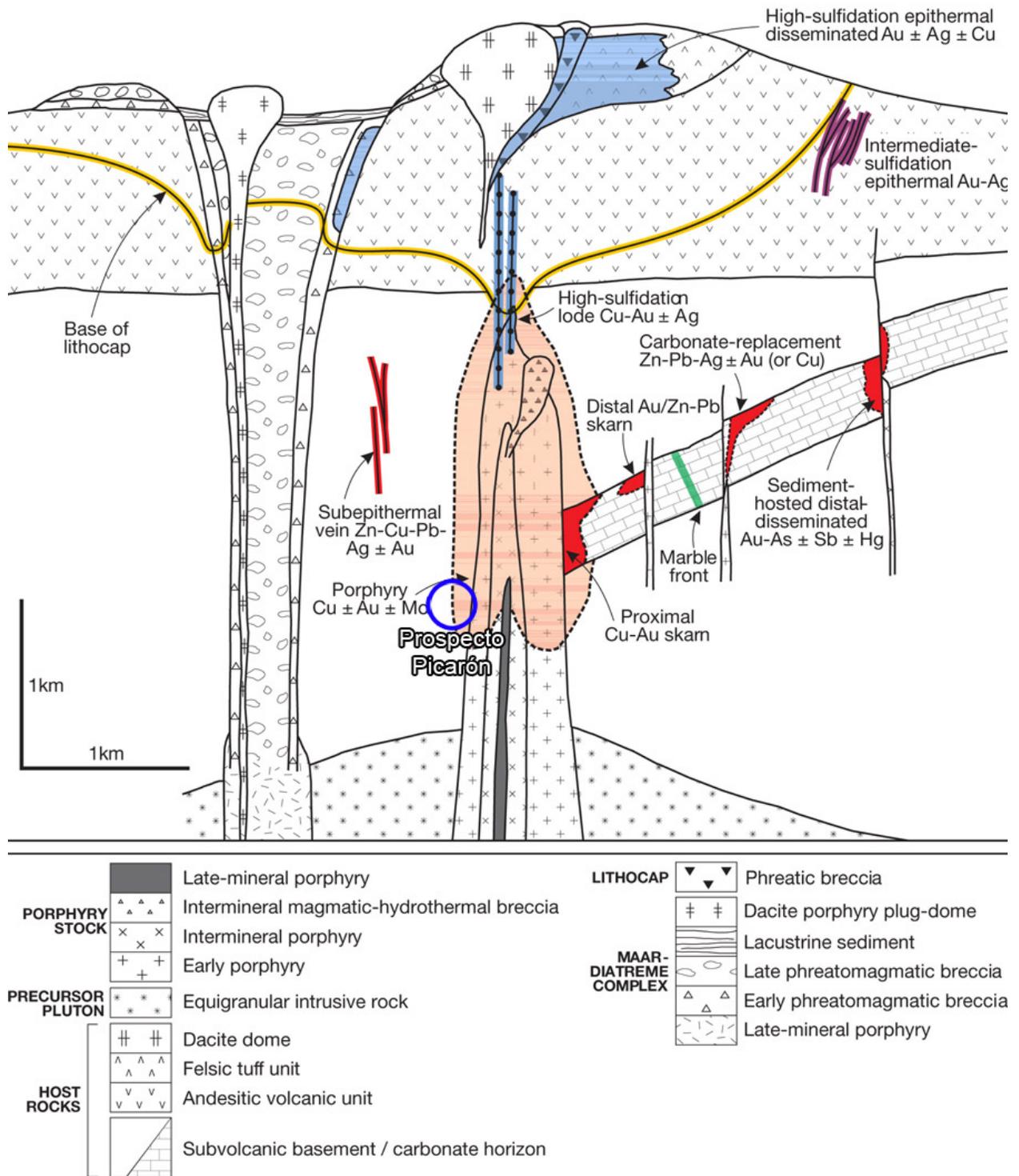


Figura 6.1: Anatomía de un sistema pórfido cuprífero, la cual evidencia las relaciones espaciales entre un centro de Cu-Mo-Au y la roca caja. Se ubicó al prospecto Picarón en el esquema. Imagen modificada de Sillitoe (2010).

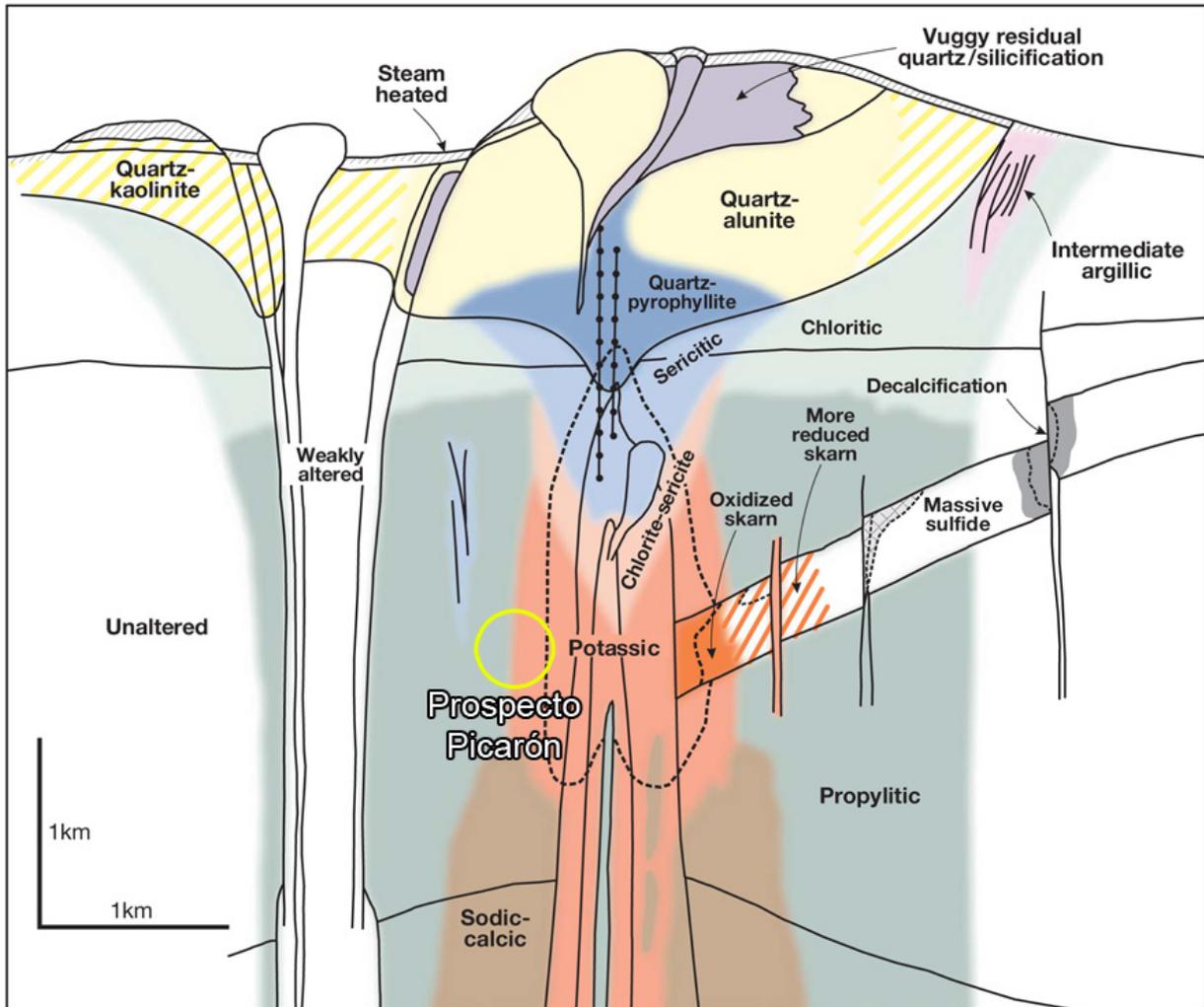


Figura 6.2: Esquema de la anatomía de un sistema pórfido cuprífero, que muestra las zonaciones por alteración. Se ubicó al prospecto Picarón en la imagen. Imagen modificada de Sillitoe (2010).

# Capítulo 7

## Conclusiones

El Blanco de exploración Picaron consta de 8 distintos cuerpos intrusivos, definidos texturalmente y clasificados en pre mineral, inter mineral, mineral tardío y post mineral. Estos cuerpos diqueiformes pertenecen a los Intrusivos Hipabisales Andesíticos de Sierra Candeleros (Kshsh) con una edad de aproximadamente 86 Ma (Venegas *et al.*, 2013). Geoquímicamente es posible diferenciarlos en pre mineral, inter mineral, mineral tardío y post mineral, y en el caso de los mineral temprano existen diferencias geoquímicas entre el Pórfido Picaron y el Pórfido Biotítico, diferencias que no son tan claras para diferencias entre en los pórfidos clasificados como inter mineral o mineral tardío, además la CP1 nos habla de un factor litológico propio de todas las unidades intrusivas, entonces las diferencias geoquímicas están relacionadas a efectos de alteración hidrotermal y mineralización asociada.

La ubicación del pórfido es en la franja metalogénica del Cretácico Superior, franja donde los prospectos no son los típicos presentes en otras franjas más interesantes desde el punto de vista económico. Las concentraciones promedio de Cu en el prospecto Picarón son bajas y no superan las 600 ppm, como es el caso del yacimiento Inca de Oro, que corresponde a un pórfido Cu-Au-Mo de la misma edad, pero cuya ley promedio alcanza el 0.47% de Cu (Ballard *et al.*, 2008), sin embargo, al ubicarse el prospecto Picarón en la cercanías del halo propilítico, dentro de un modelo de sistema de pórfido cuprífero, el núcleo de este cuerpo mineralizado podría alcanzar leyes más altas e interesantes.

En cuanto a los objetivos específicos de este trabajo, se logro una mayor comprensión de la distribución geoquímica dentro del prospecto Picarón, los análisis estadísticos permitieron encontrar similitudes y diferencias entre las litologías presentes en la zona. Los pórfidos definidos como mineral temprano y pre mineral, tienen las mayores leyes de Cu-Mo, siendo el pórfido Picaron el que presenta mayor ley de Cu, y se le relacione más a una alteración

potásica que el pórfido Biotítico. En cuanto a los pórfidos definidos como inter mineral, son estos los que presentan la menor correlación de Cu y otros elementos, lo que no era esperable, ya que al ser considerados pórfidos relacionados a etapas de mineralización temprana, las leyes deberían ser mayores y quedaría evidenciado en la estadística. Los pórfidos mineral tardío, presentan efectivamente las mayores leyes y correlaciones de Au, así como una alteración asociada propilítica. Finalmente los pórfidos post mineral, no presenten leyes significativas, ni alteraciones características.

Se reconocieron al menos dos eventos mineralizadores, el primero corresponde a uno de Cu, que está asociado a la alteración potásica, que afecta a los pórfidos pre mineral y mineral temprano, así como a la roca caja, siendo al parecer la más receptiva a este evento el paquete volcanoclástico. El segundo evento mineralizador corresponde a uno de Au que está asociado a la a los intrusivos mineral tardío, y a las alteraciones registradas como calcita y clorita y filica, sin embargo las leyes son bajas y están por muy poco sobre el umbral exploratorio recomendado. El resto de los pórfidos no presentan leyes interesantes por lo que deberían ser descartados para objetivos de exploración.

En cuanto a caracterización geoquímica de las litologías presentes, la única que mostro un comportamiento notablemente diferente fue la microdiorita, que tiene mayor afinidad con la asociación Mg, Sc, V y Cr. La dificultad de esto estuvo en el tipo de análisis geoquímicos realizados, ya que como se menciona en este trabajo la disolución en agua regia no digiera totalmente la mayoría de los silicatos, sin embargo, es posible seguir ahondando en nuevos análisis geoquímicos, utilizando la data ya existente, creando subpoblaciones de conjuntos de datos.

Para mejorar el análisis de QA/QC se recomienda incluir en los análisis de duplicados, un análisis a elementos mayores, cuyas concentraciones no generarían conflictos por encontrarse en las cercanías de los límites de detección.

La ubicación del prospecto en un modelo de un sistema de pórfido cuprífero, seria en el límite entre las alteraciones potásicas y propilítica, sin embargo, la baja densidad de sondeos dificulto la confección de una zonación más exacta y por lo tanto de una relación prospecto-modelo. Para entender mejor la geometría de este pórfido, se recomienda un análisis estructural en la zona, ya que se desconoce la naturaleza exacta de la falla basal presente en el sistema, y es esta falla la que podría haber desplazado a lo que se conoce hoy del prospecto Picarón del resto del cuerpo mineralizado. Además, este estudio indica una posible vectorización de la mineralización hacia el W y no se descarta que este cuerpo mineralizado desconocido podría contener al núcleo de alteración potásica, que alcanzaría mayores leyes de Cu, sin embargo, las bajas leyes por sobre el umbral exploratorio recomendado, indicarían

descartar este blanco exploratorio si es que no se encuentra al resto del cuerpo mineralizado, situación que se ve dificultada por la presencia de un gran cobertura de gravas en la zona, que podría ser estudiada utilizando la geoquímica de superficie, con la que se espera detectar patrones geoquímicos de iones metálicos (elementos móviles), gases orgánicos e inorgánicos y compuestos de gases de hidrocarburos que presenten una anomalía de contraste lateral sobre un yacimiento con respecto a un valor de fondo (Luca, 2012).

# Capítulo 8

## Bibliografía

- Ahrens, L. H, Lognormal-type distributions-III, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1957, Vol. 11: 205-212.
- Amilibia, A., Sabat, F., McClay, K.R., Muñoz, J.A., Roca, E., Chong, G., 2008. The role of inherited tectono-sedimentary architecture in the development of the central Andean mountain belt: Insights from the Cordillera de Domeyko, *Journal of Structural Geology* 30: 1520-1539.
- Baeza, L., Chiang, O., Cruz, G., Faúndez, P., Henríquez, H., Kovacic, P., Marquardt, J. C., Morgado, M., Retamal, P., Rivera, S., Segovia, M., Vicencio, H., Villegas, P., Vukasovic, M., y Yañez, L. 2008. Proyecto Inca de Oro, Informe de Exploración Avanzada 2005-2007, Versión 2.1 Corporación Nacional del Cobre de Chile, Vicepresidencia Corporativa de Desarrollo, Gerencia Corporativa de Exploraciones y Exploraciones Mineras Andinas S.A. Informe Interno.
- Ballard, J.R., Alin, J.M., Williams, I.S., Campbell, I.H., Faunes, A., 2001. Two ages of porphyry intrusion resolved for the super-giant Chuquicamata copper deposit of northern Chile by ELA-ICP-MS and SHRIMP. *Geology* 29 (5), 383-386.
- Cass, D., 2007. Technical Report on the Vaquillas Property, Antofagasta Region, Northern Chile.
- Chong, G. 1973. Reconocimiento geológico del área Catalina-Sierra de Varas y estratigrafía del Jurásico del Profeta, Provincia de Antofagasta. Memoria de Título (Inédito), Universidad de Chile, Departamento de Geología: 284 p.
- Coira, B.; Davidson, J.; Mpodozis, C.; Ramos, V.A. 1982. Tectonic and magmatic evolution

- of the Andes of northern Argentina and Chile. *Earth Science Reviews*, 18: 303-332.
- Contact Financial Corp, 2012. Contact Strategy Note: Iron Creek Capital Corp. (TSX.V: IRN). <http://www.contactfinancial.com>.
- Cornejo, P.; Mpodozis, C.; Ramírez, C.F., Tomlinson, A.J. 1993. Estudio Geológico de la Región de Potrerillos y El Salvador (26°-27° Lat. S). Servicio Nacional de Geología y Minería-CODELCO, Informe Registrado, IR-93-01: 258 p. 12 mapas escala 1:50.000. Santiago.
- Cornejo, P., Mpodozis, C., Geología de la Region de Sierra Exploradora (25°-26° S), 1996. Servicio Nacional de Geología y Minería, Informe Registrado IR-96-09, Santiago, Chile, 330 pp.
- Cornejo, P.; Matthews S.; Pérez de Arce, C. 2003. The K-T Compressive Deformation Event in Northern Chile (24 - 27°). In Congreso Geológico Chileno, No. 10, in CD-Rom (Thematic session 1): 11 p. Concepción.
- Cornejo, P.; Mpodozis, C.; Rivera, O.; Matthews, S. 2009. Carta Exploradora, Regiones de Antofagasta y Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica 119: 100 p., 1 mapa escala 1:100.000.
- Davila, E. 2012. Cuarto informe análisis paragénético Proyecto Victoria - Sector Picaron. Minera Hochschild Chile.
- Frutos, J.; Tobar, A.; Thomas, A. 1975. Geología del área de Sierra del Jardín, Salvador y Potrerillos, Provincia de Atacama. Instituto de Investigaciones Geológicas, Informe (Inédito), No. 4684: 41 p. Santiago.
- García, F. 1967. Geología del Norte Grande de Chile. In Symposium sobre el Geosinclinal Andino, Sociedad Geológica de Chile, 3: 138p.
- Hub, C.; Muñoz, Alvaro. 2011. Informe Anual de Exploración, Proyecto Victoria, Chile, MHC.
- Jaillard, Etienne. 1992. La Fase Peruana (Cretáceo Superior) en la Margen Peruana. Boletín de la Sociedad Geológica del Perú, v. 83 p. 81-87
- Luca, R. 2012. PROCESOS DE OXIDACIÓN QUÍMICA Y BIOQUÍMICA EN ROCAS SULFURO MINERALIZADAS Y RELACIÓN CON LA GENERACIÓN DE IONES LIBRES Y GASES DE HIDROCARBUROS: APLICACIÓN A LA EXPLORACIÓN DE YACIMIENTOS BAJO COBERTURA. Tesis para optar al grado de doctor en ciencias medición geología, Universidad de Chile, 2012.

- Maksaev, V. 1990. Metallogeny, geological evolution and thermochronology of the Chilean Andes between latitudes 21° and 26° south, and the origin of the major porphyry copper deposits. Tesis doctoral, Dalhousie University:, 544 p. Halifax.
- Maksaev, V.; Zentilli, M. 1999. Fission track thermochronology of the Domeyko Cordillera, northern Chile: Implications for Andean tectonics and porphyry copper metallogenesis. *Exploration and Mining Geology* 8: 65-89.
- Maksaev, V., 2001. Reseña metalogénica de Chile y de los procesos que determinan la metalogénesis Andina. Apuntes del curso GL54A - Metalogénesis.
- Maksaev, V.; Townley, B.; Palacios, C.; Camus, F. Metallic Ore Deposits, *In*: Moreno, T. y Gibbons, W. (eds) *The Geology of Chile*. The Geological Society, London, 187-208.
- Muñoz, N. 1989. Estudio geológico estratigráfico de las Hojas Baquedano y Pampa Unión, II Región de Antofagasta, Chile. Memoria de Título (Inédito), Universidad de Chile, Departamento de Geología: 161 p.
- Naranjo, S.; Puig, A., 1984. Hojas Taltal y Chañaral Regiones de Antofagasta y Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica n° 62-63 (1:250.000).
- Naranjo, J.A.; Cornejo, P. 1989. Avalanchas múltiples del Volcán Chaco en el Norte de Chile: un mecanismo de degradación de volcanes miocenos. *Revista Geológica de Chile*, 16 (1): 61-72.
- Naranjo, J.A.; Cornejo, P. 1992. Hoja Salar de la Isla. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile. 72, mapa escala 1:250.000. Santiago.
- Niemeyer, H. 2008. Geología Estructural. Editorial RIL: 292 p. Santiago.
- Niemeyer, H., Urrutia, C. 2009. Transcurrencia a lo largo de la Falla Sierra de Varas (Sistema de fallas de la Cordillera de Domeyko), norte de Chile. *Andean geology*, 36(1), 37-49
- Richards, J.P., Boyce, A.J., Pringue, M.S., 2001. Geologic evolution of the Escondida Area, Northern Chile: a model for spatial and temporal localization of Porphyry Cu mineralization. *Economic Geology* 96 (2), 271-305
- South American Management S.A., 2012. Informe de mapeo, Proyecto Victoria. 2012.
- Seedorf, E., Dilles, J.D., Proffett, J.M., Jr., Einaudi, M.T., Zurcher, L., Stavast, W.J.A., Johnson, D.A., and Barton, M.D., 2005, Porphyry deposits: characteristics and origin of hypogene features, in Hedenquist, J.W., Thompson, J.F.H., Goldfarb, R.J., and Richards,

- J.R., eds., *Economic Geology 100th Anniversary Volume: Society of Economic Geologists*, Littleton, Colorado, p. 251-298.
- Sillitoe, R.H., and Perelló, J., 2005, Andean copper province: Tectonomagmatic settings, deposit types, metallogeny, exploration, and discovery: *ECONOMIC GEOLOGY 100TH ANNIVERSARY VOLUME*, p. 845-890
- Sillitoe, Richard H. 2010. Porphyry Copper Systems. *Economic Geology* v.105: pp.3-41
- Snall S.; Liljefors T., 2000: Leachability of major elements from minerals in strong acids. *Journal of Geochemical Exploration* 71(1): 1-12
- Taylor, S.R. and McLennan, S.M., 1995. The geochemical evolution of the continental crust. *Reviews in Geophysics* 33: 241-265.
- Tomlinson, A.J.; Mpodozis, C.; Cornejo, P.; Ramírez, C.F. 1993. Structural Geology of the Sierra Castillo- Agua Amarga Fault System, Precordillera of Chile, El Salvador- Potrerillos. In *Second International Symposium on Andean Geology*. Orstom, p. 259-262. Oxford, England.
- Townley, B.; Maksaev, V.; Palacios, C.; Lahsen, A.; Parada, M. 1999. Base and precious metals geochemistry of rock units of the mainland Aysén region, Chilean Patagonia. *Journal of Geochemical Exploration*, N° 68, pp. 21-46.
- Turekian, K.K. and Wedepohl, K.H., 1961. Distribution of the Elements in some major units of the Earth's crust. *Geological Society of America, Bulletin* 72: 175-192.
- Venegas, C.; Cervetto, M.; Astudillo, N.; Espinoza, F.; Cornejo, P.1; Mpodozis, C.2; Rivera, O.3 2013. Carta Sierra Vaquillas Altas, Región de Antofagasta. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica No. 159, 1 mapa escala 1:100.000.

# Anexo A

## Tabla de estadística básica

	Ag_ppm	Al_pct	As_ppm	Au_ppm	Ba_ppm	Ca_pct	Co_ppm	Cr_ppm	Cu_ppm	Fe_pct	K_pct	La_ppm
Valid cases	1552	1552	1552	1552	1552	1552	1552	1552	1552	1552	1552	1552
Mean	-0.790566	-0.224954	0.5007663	-1.940248	1.4472558	0.3109632	1.056677	1.0351505	2.0486338	0.612478	-1.057767	1.0901352
Std. error of mean	0.0074114	0.0085708	0.0123197	0.0130313	0.0108515	0.0082832	0.0089617	0.0095054	0.0205284	0.0040969	0.012734	0.0045429
Variance	0.0852502	0.1140081	0.2355559	0.2635509	0.1827548	0.1064853	0.1246431	0.1402259	0.6540363	0.0260501	0.2516653	0.0320297
Std. Deviation	0.2919763	0.3376509	0.4853411	0.513372	0.4274983	0.3263209	0.3530483	0.3744675	0.8087251	0.1614003	0.5016625	0.1789684
Variation Coefficient rel.	-0.369326	-1.500975	0.9691967	-0.264591	0.2953855	1.0493877	0.3341119	0.3617517	0.3947631	0.2635202	-0.474266	0.1641708
V.coefficient(%)	-0.937484	-3.810023	2.4601754	-0.671628	0.7497963	2.6637295	0.848098	0.9182581	1.0020531	0.6689105	-1.203859	0.4167256
Skew	2.2674397	-0.61564	1.072204	0.6340506	0.03238	-2.86106	-0.770354	-0.34735	-1.022034	-0.043481	-0.633893	0.4601677
Kurtosis	12.886803	0.2032506	1.5392522	0.3299107	-0.245202	11.126959	2.1998329	-0.269522	0.2482473	2.4257301	-0.105187	0.4635049
Minimum	-1	-2	0	-2.60206	0.69897	-2	-0.30103	0	-0.30103	-0.366532	-2.30103	0.69897
Maximum	2.4132998	0.622214	2.9956352	0.587711	3.0569049	1.3541084	2.6190933	2.8709888	4	1.3521825	-0.017729	2
Range	3.4132998	2.622214	2.9956352	3.189771	2.3579348	3.3541084	2.9201233	2.8709888	4.30103	1.7187141	2.2833012	1.30103
Sum	-1226.958	-349.1292	777.18932	-3011.265	2246.1409	482.61482	1639.9627	1606.5535	3179.4796	950.56579	-1641.654	1691.8899
1st percentile	-1	-1	0	-2.60206	0.69897	-1.124166	0	0	-0.30103	0.2001093	-2.30103	0.69897
5th percentile	-1	-0.886057	0	-2.60206	0.69897	-0.254551	0.4771213	0.4771213	0.30103	0.3579348	-2	1
10th percentile	-1	-0.744727	0	-2.60206	0.69897	0.1048256	0.60206	0.4771213	0.69897	0.4248816	-2	1
25th percentile	-1	-0.431798	0	-2.30103	1	0.2479733	0.90309	0.69897	1.7263053	0.5171959	-1.30103	1
Median	-1	-0.167491	0.4771213	-2	1.4771213	0.3598355	1.0791812	1.1139434	2.3138672	0.6095944	-0.958607	1
75th percentile	-0.69897	0.0170333	0.7781513	-1.60206	1.7583559	0.4653829	1.2787536	1.3222193	2.6273659	0.7082082	-0.744727	1.30103
90th percentile	-0.39794	0.1522883	1.1139434	-1.244125	1.9542425	0.5728716	1.447158	1.4771213	2.8171681	0.8035244	-0.481486	1.30103
95th percentile	-0.30103	0.2585161	1.4039017	-1.036212	2.1139434	0.6477249	1.544068	1.544068	2.9203059	0.8617718	-0.309804	1.30103
99th percentile	0.0413927	0.3819052	2.1030669	-0.593796	2.4693179	0.7926355	1.8290988	1.7075702	3.2527007	1.0319367	-0.136677	1.4771213
Geom. mean	----	----	----	----	1.3780597	----	----	----	----	----	----	1.0756352

	Mg_pct	Mn_ppm	Mo_ppm	Na_pct	Ni_ppm	P_ppm	Pb_ppm	S_pct	Sc_ppm	Sr_ppm	Ti_pct	V_ppm	Zn_ppm
Valid cases	1552	1552	1552	1552	1552	1552	1552	1552	1552	1552	1552	1552	1552
Mean	-0.155175	2.4749439	0.756599	-1.065764	0.8074612	2.946695	0.44862	0.4886545	0.8069286	1.5359943	-1.623617	1.7588506	0.9725374
Std. error of mean	0.0088224	0.007592	0.016128	0.0045427	0.0120672	0.004112	0.008063	0.0117231	0.0057869	0.0076576	0.0134765	0.0064051	0.0100539
Variance	0.1207986	0.0894542	0.4036944	0.0320268	0.2259991	0.026244	0.100888	0.2132912	0.0519744	0.0910086	0.2818694	0.0636712	0.156878
Std. Deviation	0.3475609	0.299089	0.6353695	0.1789603	0.4753936	0.162001	0.317628	0.4618346	0.2279789	0.3016763	0.5309137	0.2523316	0.3960782
Variation Coefficient rel.	-2.239805	0.1208468	0.8397705	-0.167917	0.588751	0.054977	0.708011	0.9451148	0.2825268	0.1964046	-0.326994	0.1434639	0.4072627
V.coefficient(%)	-5.685443	0.3067533	2.1316443	-0.426236	1.4944651	0.139552	1.797191	2.3990467	0.7171562	0.4985466	-0.830031	0.3641638	1.0337817
Skew	-2.29728	-0.124151	-0.0501257	1.0955118	-0.913009	-3.244701	0.195646	-2.766237	-0.73107	-0.041199	0.2580005	-0.942523	-0.415728
Kurtosis	7.8171754	2.2156979	-0.8973217	5.2738228	0.3642853	30.17142	0.021936	10.145648	0.8666705	0.8157897	-1.234481	4.3840659	0.152599
Minimum	-2.30103	1.30103	-0.30103	-2.30103	-0.30103	1	0	-2.30103	-0.30103	-0.30103	-2.30103	-0.30103	0
Maximum	0.6170003	4.09691	2.7767012	-0.19382	2.6374897	3.444045	1.908485	1	1.4913617	2.5998831	-0.468521	2.3944517	2.3384565
Range	2.9180303	2.79588	3.0777312	2.10721	2.9385197	2.444045	1.908485	3.30103	1.7923917	2.9009131	1.8325089	2.6954817	2.3384565
Sum	-240.831	3841.113	1174.2417	-1654.066	1253.1798	4573.27	696.2581	758.39183	1252.3532	2383.8631	-2519.853	2729.7361	1509.378
1st percentile	-1.69897	1.5915901	-0.30103	-1.39794	-0.30103	2.439735	0	-1.69897	0.30103	0.90309	-2.30103	1.0976052	0
5th percentile	-0.753416	1.9444827	-0.30103	-1.30103	-0.30103	2.732394	0	-0.334512	0.4771213	1.0791812	-2.30103	1.3222193	0.30103
10th percentile	-0.49485	2.1398791	0	-1.221849	0	2.792392	0	0.0766372	0.4771213	1.155117	-2.30103	1.436102	0.4771213
25th percentile	-0.267606	2.3053514	0.30103	-1.154902	0.60206	2.863323	0.30103	0.3970679	0.69897	1.3272701	-2	1.6232493	0.7187653
Median	-0.086186	2.4871384	0.845098	-1.09691	0.9771213	2.963788	0.477121	0.5871491	0.845098	1.5185139	-1.69897	1.7781513	1
75th percentile	0.045323	2.6520043	1.2552725	-1	1.146128	3.045323	0.69897	0.757396	1	1.7323938	-1.154902	1.9190781	1.2552725
90th percentile	0.1583625	2.8198066	1.5682017	-0.886057	1.2304489	3.117271	0.845098	0.889917	1.0791812	1.94939	-0.886057	2.0670675	1.4149733
95th percentile	0.2121876	2.9000118	1.7403627	-0.721246	1.30103	3.153355	0.954243	0.9548934	1.1139434	2.0388147	-0.769551	2.137826	1.5682017
99th percentile	0.3442699	3.2715381	1.9912261	-0.39794	1.638161	3.20809	1.20412	1	1.1892648	2.2053918	-0.552842	2.2624511	1.7815252
Geom. mean	----	2.456037	----	----	----	2.941267	----	----	----	----	----	----	----

# Anexo B

## Tablas de análisis de poblaciones

Elemento	Poblaciones	Umbral mínimo	Umbral Máximo	Media	% de Poblacion	Background	Valores Globales	Umbral Exploracion
Ag	3	0.1	0.1	0.10	56.4	0.168	0.11	0.4
		0.1	0.4	0.25	36.8			
		0.4	259	0.76	6.8			
Al	4	0.01	0.24	0.148	14.3	0.62	7.8-9.5	4.19
		0.24	0.55	0.392	24.9			
		0.55	1.08	0.793	37.6			
		1.08	4.19	1.485	23.2			
As	4	1	2	1.213	45.6	3.353	2	6
		2	6	3.802	27.6			
		6	25	9.333	22			
		25	990	60.771	4.8			
Au	3	0.002	0.006	0.003	27.9	0.012	0.004	0.027
		0.006	0.027	0.012	49.0			
		0.027	3.87	0.061	23.1			
Ba	3	5	10	7.665	26.9	29.441	330-350	1140
		10	40	27.579	38.9			
		40	1140	78.847	34.2			
Ca	3	0.01	0.43	0.121	4.8	2.126	5.36-7.6	5.36
		0.43	2.36	1.748	48.1			
		2.36	22.6	3.176	47.2			
Co	5	0.5	2	1.204	4.6	11.874	25-48	25
		2	8	5.770	25.5			
		8	16	11.603	35.2			
		16	34	21.887	29.5			
		34	416	51.122	5.2			
Cr	4	1	5	2.992	19.8	11.328	55-170	55.000
		5	12	7.237	26.6			
		12	24	16.975	33.6			
		24	743	31.445	20			
Cu	4	0.5	11	3.401	16.4	122.939	60-87	311
		11	80	36.822	14.2			
		80	311	173.863	32.9			
		311	10000	553.05	36.5			
Fe	4	0.43	2.8	2.22	12.4	4.175	5.83-8.65	5.83
		2.8	4.22	3.533	42.5			
		4.22	6.28	5.035	34.7			
		6.28	22.5	7.865	10.4			
K	4	0.005	0.02	0.011	16.4	0.093	0.83-1.25	0.83
		0.02	0.08	0.052	20.9			
		0.08	0.22	0.132	44.3			
		0.22	1	0.375	18.4			
La	3	5	10	9.517	67.7	12.567	15-19	20
		10	20	20	28.8			
		20	100	32.869	3.5			
Mg	3	0.005	0.13	0.036	3.7	0.729	2.11-4.6	2.11
		0.13	0.69	0.439	33.6			
		0.69	4.14	1.072	62.7			
Mn	4	20	111	64.619	6.4	309.121	1100-1500	1100
		111	269	191.759	34.9			
		269	557	376.377	43.4			
		557	12500	818.588	15.2			

Elemento	Poblaciones	Umbral mínimo	Umbral Máximo	Media	% de Poblacion	Background	Valores Globales	Umbral Exploracion
Mo	4	0.5	1	0.753	23.7	6.150	1.5	22.000
		1	6	3.033	21.9			
		6	22	11.043	35.1			
		22	598	42.404	19.3			
Na	3	0.005	0.08	0.067	56.9	0.088	1.8-2.6	1.8-2.6
		0.08	0.16	0.105	36.7			
		0.16	0.64	0.257	6.4			
Ni	3	0.5	1	0.652	12.3	6.786	30-130	30
		1	6	3.158	21.5			
		6	434	12.37	66.2			
P	3	10	210	88.04	0.8	901.403	1100	2780
		210	870	681.925	42.5			
		870	2780	1109.371	56.7			
Pb	3	1	2	1.335	40.1	2.916	6-10	6
		2	5	3.456	34			
		5	81	6.781	25.9			
S	4	0.005	0.19	0.042	3.4	3.252	0.03	10
		0.19	1.68	0.917	11.3			
		1.68	3.193	2.460	22.7			
		3.193	10	5.256	62.6			
Sc	4	0.5	3	1.758	4.5	6.584	30	30
		3	6	3.953	30.2			
		6	10	7.737	47.9			
		10	31	12.400	17.4			
Sr	4	0.5	17	12.425	15.8	35.588	400-465	400
		17	32	24.217	32.9			
		32	63	42.935	30.7			
		63	398	93.540	20.6			
Ti	5	0.005	0.01	0.007	43.5	0.0253	0.48-1.38	0.48
		0.01	0.03	0.02	11.2			
		0.03	0.07	0.041	17.8			
		0.07	0.14	0.094	17.6			
		0.1	0.34	0.182	9.9			
V	4	0.5	28	18.578	9.9	59.11	175-250	175
		28	54	41.571	33.1			
		54	94	70.785	39.4			
		94	248	125.083	17.6			
Zn	4	1	3	1.467	9.1	9.832	105	105
		3	10	5.964	41.4			
		10	24	15.582	36.9			
		24	218	35.822	12.6			

## Anexo C

### Tabla de analisis de componentes principales

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13
Ag_ppm	0.033	0.058	-0.087	-0.079	-0.006	-0.144	0.214	0.755	0.479	0.052	-0.193	-0.116	-0.075
Al_pct	0.418	-0.089	0.064	-0.074	0.113	-0.042	-0.031	-0.037	0.036	-0.024	0.039	0.003	0.066
As_ppm	0.027	0.309	0.080	-0.256	0.020	0.066	0.240	-0.254	0.111	0.066	0.060	-0.511	-0.108
Au_ppm	0.063	0.323	-0.319	-0.134	-0.068	0.087	0.110	0.028	-0.109	-0.085	0.194	0.128	-0.071
Ba_ppm	0.094	-0.131	-0.118	-0.235	0.296	-0.348	0.142	-0.147	0.014	-0.270	0.246	0.143	-0.426
Ca_pct	0.049	0.039	0.117	0.259	0.326	0.515	0.275	0.170	-0.204	0.031	0.077	-0.085	-0.014
Co_ppm	0.086	0.316	0.243	-0.044	0.317	-0.122	-0.294	0.057	-0.036	0.050	-0.078	0.170	0.153
Cr_ppm	0.122	0.315	-0.373	0.158	-0.175	-0.036	0.021	0.048	-0.156	-0.015	0.221	0.141	0.028
Cu_ppm	0.114	0.195	0.305	-0.180	-0.036	-0.165	0.175	-0.019	-0.064	-0.117	-0.039	-0.350	0.356
Fe_pct	0.048	0.292	0.384	-0.002	-0.172	-0.062	0.065	-0.176	0.268	0.052	0.043	0.265	-0.155
K_pct	0.330	-0.064	0.126	-0.043	-0.190	-0.228	-0.005	0.029	-0.077	-0.113	0.284	-0.183	0.056
La_ppm	-0.035	-0.035	-0.112	0.158	0.188	-0.353	0.579	-0.222	0.036	0.185	-0.208	0.287	0.413
Mg_pct	0.258	0.010	-0.027	0.427	0.025	0.137	0.009	-0.076	0.068	-0.175	-0.221	-0.101	0.011
Mn_ppm	0.073	0.172	0.142	0.003	0.609	-0.053	-0.259	0.045	-0.036	0.084	-0.022	0.016	-0.044
Mo_ppm	0.064	0.021	0.179	-0.054	-0.204	-0.270	0.053	0.256	-0.698	0.299	-0.259	0.012	-0.219
Na_pct	0.185	-0.126	-0.110	-0.227	-0.098	0.102	-0.230	-0.111	0.210	0.694	0.122	0.047	0.178
Ni_ppm	0.077	0.440	-0.209	-0.004	0.062	-0.086	-0.073	0.194	0.008	0.028	0.143	0.070	0.064
P_ppm	0.259	-0.146	0.122	-0.070	0.066	0.124	0.229	-0.016	0.090	0.221	-0.101	0.113	-0.480
Pb_ppm	0.101	0.252	-0.209	-0.242	-0.038	0.276	0.144	-0.210	-0.082	0.047	-0.362	-0.072	-0.091
S_pct	-0.039	0.235	0.407	0.095	-0.299	0.155	0.073	0.007	0.120	-0.095	0.033	0.399	-0.060
Sc_ppm	0.100	0.142	-0.052	0.521	-0.021	-0.157	-0.050	-0.090	0.059	0.317	0.184	-0.234	-0.200
Sr_ppm	0.253	-0.169	0.109	-0.145	0.056	0.265	0.260	0.201	-0.136	0.041	0.435	0.171	0.242
Ti_pct	0.352	-0.101	0.005	-0.021	-0.157	0.054	-0.208	0.046	0.021	-0.251	-0.172	-0.007	0.123
V_ppm	0.385	-0.055	-0.012	0.273	-0.063	-0.150	0.054	-0.061	0.070	-0.025	-0.026	-0.053	-0.042
Zn_ppm	0.346	0.042	-0.194	-0.138	0.018	0.084	-0.091	-0.057	-0.004	-0.094	-0.352	0.206	0.025
Valor propio	4.364	3.514	2.352	1.978	1.637	1.343	1.075	1.041	0.945	0.833	0.782	0.728	0.679
Variabilidad (%)	17.458	14.058	9.410	7.912	6.546	5.370	4.299	4.163	3.782	3.331	3.128	2.913	2.716
% acumulado	17.458	31.516	40.925	48.837	55.384	60.754	65.053	69.216	72.998	76.329	79.457	82.370	85.086

	F14	F15	F16	F17	F18	F19	F20	F21	F22	F23	F24	F25
Ag_ppm	-0.149	0.069	0.023	-0.004	-0.049	-0.043	0.060	-0.004	0.017	0.010	0.014	-0.141
Al_pct	0.015	0.182	0.047	-0.307	0.140	0.034	0.075	0.044	-0.383	0.574	0.383	-0.026
As_ppm	0.065	0.353	-0.252	0.212	0.171	0.268	-0.060	-0.107	0.074	0.108	-0.143	-0.145
Au_ppm	0.265	0.146	-0.221	-0.211	-0.493	-0.191	0.416	-0.145	-0.008	0.019	-0.048	0.091
Ba_ppm	-0.400	-0.195	-0.226	0.092	0.001	-0.192	-0.117	-0.031	0.060	0.061	-0.039	-0.029
Ca_pct	-0.207	-0.107	-0.086	0.135	-0.336	0.049	-0.286	-0.134	-0.282	-0.008	0.098	0.000
Co_ppm	0.043	0.001	-0.072	0.317	0.206	-0.240	0.226	-0.416	-0.161	-0.209	0.142	-0.204
Cr_ppm	0.069	-0.106	0.030	0.005	0.148	0.077	-0.253	0.236	-0.032	-0.072	0.114	-0.640
Cu_ppm	0.059	-0.619	-0.088	-0.248	-0.106	-0.103	0.019	0.098	0.080	-0.007	0.010	-0.045
Fe_pct	-0.192	0.123	-0.063	-0.072	-0.195	0.206	0.001	0.291	-0.040	-0.353	0.398	0.122
K_pct	-0.017	0.287	0.477	-0.064	-0.206	-0.142	-0.305	-0.318	-0.005	-0.252	-0.094	0.019
La_ppm	0.090	0.163	0.032	0.113	-0.098	-0.038	-0.105	-0.047	0.075	0.071	0.006	0.020
Mg_pct	-0.115	0.214	-0.364	-0.390	0.256	-0.334	-0.084	-0.037	0.228	-0.216	-0.042	0.022
Mn_ppm	0.085	0.172	0.199	-0.181	-0.215	0.064	-0.049	0.397	0.257	0.056	-0.300	-0.112
Mo_ppm	-0.126	0.143	-0.196	-0.030	0.017	0.029	-0.003	0.060	0.028	0.047	-0.014	0.038
Na_pct	-0.191	-0.074	-0.251	-0.063	-0.139	-0.192	-0.183	-0.013	-0.037	-0.018	-0.152	-0.052
Ni_ppm	0.102	-0.096	-0.031	0.047	0.284	0.039	-0.356	0.039	-0.057	0.058	-0.046	0.656
P_ppm	0.620	-0.225	0.083	-0.016	0.119	-0.102	-0.121	-0.065	0.068	-0.122	0.063	-0.019
Pb_ppm	-0.301	-0.016	0.470	0.110	0.091	-0.372	0.124	0.191	-0.034	-0.015	0.029	0.062
S_pct	-0.083	-0.035	0.055	-0.007	0.036	-0.138	-0.093	-0.135	0.073	0.452	-0.426	-0.112
Sc_ppm	-0.138	-0.200	0.179	0.119	-0.074	0.030	0.269	-0.163	0.342	0.243	0.189	0.072
Sr_ppm	-0.109	0.057	0.037	0.088	0.317	0.084	0.330	0.134	0.343	-0.122	-0.011	0.069
Ti_pct	0.145	0.057	-0.192	0.561	-0.282	-0.119	-0.140	0.223	0.283	0.185	0.172	0.047
V_ppm	0.003	-0.093	-0.045	0.214	0.003	0.130	0.300	0.241	-0.486	-0.161	-0.493	0.061
Zn_ppm	-0.167	-0.176	0.048	-0.137	-0.072	0.591	-0.002	-0.380	0.197	-0.053	-0.081	-0.014
Valor propio	0.605	0.571	0.477	0.446	0.370	0.289	0.264	0.215	0.190	0.119	0.114	0.069
Variabilidad (%)	2.420	2.284	1.909	1.783	1.480	1.155	1.054	0.860	0.760	0.478	0.456	0.276
% acumulado	87.505	89.789	91.698	93.481	94.961	96.116	97.170	98.030	98.790	99.268	99.724	100.000

# Anexo D

## Tablas de correlación de Pearson

Mineral Temprano							
Correlation	Ag_ppm	Au_ppm	Cu_ppm	Mo_ppm	Pb_ppm	S_pct	Zn_ppm
Ag_ppm	1	0.22	0.48	0.22	-0.11	0.42	0.21
Au_ppm	0.22	1	0.25	-0.0058	0.027	0.19	0.000016
Cu_ppm	0.48	0.25	1	0.5	-0.16	0.54	0.25
Mo_ppm	0.22	-0.0058	0.5	1	-0.075	0.44	-0.041
Pb_ppm	-0.11	0.027	-0.16	-0.075	1	0.071	-0.12
S_pct	0.42	0.19	0.54	0.44	0.071	1	0.066
Zn_ppm	0.21	0.000016	0.25	-0.041	-0.12	0.066	1

Inter Mineral							
Correlation	Ag_ppm	Au_ppm	Cu_ppm	Mo_ppm	Pb_ppm	S_pct	Zn_ppm
Ag_ppm	1	0.35	-0.15	-0.042	0.072	0.02	-0.12
Au_ppm	0.35	1	-0.19	0.12	0.24	0.16	-0.2
Cu_ppm	-0.15	-0.19	1	0.084	-0.11	0.15	0.044
Mo_ppm	-0.042	0.12	0.084	1	0.21	0.21	0.03
Pb_ppm	0.072	0.24	-0.11	0.21	1	-0.03	0.26
S_pct	0.02	0.16	0.15	0.21	-0.03	1	-0.28
Zn_ppm	-0.12	-0.2	0.044	0.03	0.26	-0.28	1

Mineral Tardío							
Correlation	Ag_ppm	Au_ppm	Cu_ppm	Mo_ppm	Pb_ppm	S_pct	Zn_ppm
Ag_ppm	1	0.54	0.076	-0.0063	0.19	0.27	-0.022
Au_ppm	0.54	1	0.19	-0.27	0.33	0.23	0.31
Cu_ppm	0.076	0.19	1	0.093	-0.043	-0.19	-0.032
Mo_ppm	-0.0063	-0.27	0.093	1	-0.21	0.5	-0.5
Pb_ppm	0.19	0.33	-0.043	-0.21	1	0.15	0.2
S_pct	0.27	0.23	-0.19	0.5	0.15	1	-0.32
Zn_ppm	-0.022	0.31	-0.032	-0.5	0.2	-0.32	1

Post Mineral							
Correlation	Ag_ppm	Au_ppm	Cu_ppm	Mo_ppm	Pb_ppm	S_pct	Zn_ppm
Ag_ppm	1	0.49	0.33	0.18	0.31	0.36	0.49
Au_ppm	0.49	1	0.59	0.17	0.16	0.4	0.54
Cu_ppm	0.33	0.59	1	0.52	0.048	-0.011	0.11
Mo_ppm	0.18	0.17	0.52	1	0.14	0.13	-0.32
Pb_ppm	0.31	0.16	0.048	0.14	1	0.18	0.55
S_pct	0.36	0.40	-0.011	0.13	0.18	1	0.33
Zn_ppm	0.49	0.54	0.11	-0.32	0.55	0.33	1

Todos menos Inter Mineral							
Correlation	Ag_ppm	Au_ppm	Cu_ppm	Mo_ppm	Pb_ppm	S_pct	Zn_ppm
Ag_ppm	1	0.22	0.35	0.2	-0.066	0.24	0.086
Au_ppm	0.22	1	0.11	-0.12	0.12	0.16	-0.0086
Cu_ppm	0.35	0.11	1	0.61	-0.16	0.48	0.12
Mo_ppm	0.2	-0.12	0.61	1	-0.16	0.59	-0.17
Pb_ppm	-0.066	0.12	-0.16	-0.16	1	0.039	-0.00026
S_pct	0.24	0.16	0.48	0.59	0.039	1	-0.15
Zn_ppm	0.086	-0.0086	0.12	-0.17	-0.00026	-0.15	1

Correlaciones considerando todas las muestras

Correlation	Ag_ppm	Al_pct	As_ppm	Au_ppm	Ba_ppm	Ca_pct	Co_ppm	Cr_ppm	Cu_ppm	Fe_pct	K_pct	La_ppm	Mg_pct	Mn_ppm	Mo_ppm	Na_pct
Ag_ppm	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Al_pct	0.039	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
As_ppm	0.22	-0.11	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Au_ppm	0.25	-0.21	0.37	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ba_ppm	-0.032	0.52	-0.1	-0.13	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ca_pct	-0.061	0.0026	0.059	0.063	-0.18	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Co_ppm	0.16	0.083	0.23	0.12	-0.054	0.27	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cr_ppm	-0.053	-0.19	-0.087	0.014	-0.38	-0.028	0.049	1	-	-	-	-	-	-	-	-
Cu_ppm	0.17	0.41	0.1	-0.16	0.24	-0.039	0.25	-0.19	1	-	-	-	-	-	-	-
Fe_pct	0.22	0.057	0.34	0.19	-0.15	0.054	0.49	0.15	0.26	1	-	-	-	-	-	-
K_pct	0.1	0.72	-0.043	-0.26	0.54	-0.17	0.036	-0.22	0.56	0.15	1	-	-	-	-	-
La_ppm	-0.023	0.05	0.03	0.025	0.098	0.025	-0.07	-0.0002	-0.11	-0.066	-0.098	1	-	-	-	-
Mg_pct	-0.13	0.25	-0.17	-0.063	-0.066	0.58	0.2	0.21	-0.042	0.082	0.0067	0.1	1	-	-	-
Mn_ppm	-0.0098	0.097	0.23	0.098	0.22	0.51	0.33	-0.23	0.19	0.17	0.095	0.064	0.31	1	-	-
Mo_ppm	0.17	0.27	0.011	-0.23	0.14	-0.054	0.23	-0.073	0.59	0.2	0.48	-0.15	-0.064	0.0012	1	-
Na_pct	0.011	0.33	-0.026	-0.003	0.19	-0.19	-0.14	-0.075	0.07	-0.083	0.17	-0.094	-0.096	-0.18	0.033	1
Ni_ppm	-0.015	-0.27	0.19	0.089	-0.37	0.036	0.32	0.65	-0.097	0.29	-0.26	-0.07	0.091	0.05	-0.13	-0.18
P_ppm	-0.023	0.45	0.0058	-0.061	0.31	0.29	0.031	-0.25	0.21	0.1	0.31	0.12	0.32	0.23	0.15	0.29
Pb_ppm	0.075	0.042	0.19	0.14	0.03	0.086	0.094	-0.047	0.053	0.079	0.038	-0.066	-0.039	0.083	0.053	0.033
S_pct	0.092	-0.11	0.18	0.063	-0.38	0.41	0.35	0.13	0.21	0.57	0.0074	-0.14	0.23	0.016	0.29	-0.11
Sc_ppm	-0.063	-0.086	0.052	0.065	-0.2	0.13	0.13	0.68	-0.14	0.23	-0.13	0.13	0.32	0.16	-0.092	-0.039
Sr_ppm	0.042	0.59	-0.11	-0.21	0.33	0.18	0.022	-0.24	0.33	-0.048	0.41	0.032	0.12	-0.046	0.23	0.38
Ti_pct	0.084	0.58	-0.25	-0.11	0.21	0.052	0.095	0.12	0.27	-0.075	0.4	-0.15	0.35	-0.11	0.25	0.32
V_ppm	-0.034	0.64	-0.18	-0.1	0.21	0.13	0.11	0.3	0.22	0.091	0.33	0.21	0.52	0.07	0.13	0.27
Zn_ppm	0.099	0.72	-0.18	-0.11	0.42	-0.018	0.066	-0.08	0.37	-0.038	0.48	0.02	0.24	0.13	0.17	0.29

Correlaciones considerando unidades estratificadas

Correlation	Ag_ppm	Al_pct	As_ppm	Au_ppm	Ba_ppm	Ca_pct	Co_ppm	Cr_ppm	Cu_ppm	Fe_pct	K_pct	La_ppm	Mg_pct	Mn_ppm	Mo_ppm	Na_pct
Ag_ppm	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Al_pct	-0.013	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
As_ppm	0.2	-0.16	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Au_ppm	2.50E-01	-0.22	0.42	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ba_ppm	-0.22	0.22	-0.21	-0.0067	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ca_pct	-0.017	0.11	0.061	-2.70E-02	-0.097	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Co_ppm	0.26	0.26	0.34	0.21	-0.12	0.11	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cr_ppm	-0.0073	0.25	-0.12	-0.091	-0.024	0.15	0.27	1	-	-	-	-	-	-	-	-
Cu_ppm	0.23	0.17	0.085	0.018	-0.17	0.016	0.33	0.15	1	-	-	-	-	-	-	-
Fe_pct	0.27	0.28	0.39	0.28	-0.21	0.046	0.67	0.22	0.41	1	-	-	-	-	-	-
K_pct	0.15	0.53	-0.014	-0.051	0.13	0.053	0.36	0.3	0.43	0.52	1	-	-	-	-	-
La_ppm	-0.087	-0.17	0.052	-0.062	0.22	-0.034	-0.2	-0.28	-0.11	-0.096	-0.11	1	-	-	-	-
Mg_pct	-0.15	0.61	-0.27	-0.19	0.12	0.37	0.2	0.38	0.14	0.22	0.32	-0.09	1	-	-	-
Mn_ppm	-0.056	0.14	0.35	0.18	0.24	0.41	0.36	0.11	-0.082	0.31	0.11	1.80E-01	0.21	1	-	-
Mo_ppm	0.17	0.046	-0.034	-0.046	-0.3	0.16	0.26	0.14	0.48	0.26	0.32	-0.25	0.11	-0.14	1	-
Na_pct	0.022	0.54	-0.19	-1.10E-01	0.1	-0.034	0.12	0.22	0.19	0.026	0.28	-0.32	0.23	-0.13	0.12	1
Ni_ppm	0.081	0.1	0.27	0.032	-0.083	0.05	0.48	0.48	0.17	0.28	0.094	-0.22	0.06	0.29	0.011	0.051
P_ppm	-0.056	0.31	0.06	0.012	0.16	0.27	0.017	-0.072	0.063	0.14	0.17	0.057	0.24	0.11	0.041	0.3
Pb_ppm	-0.026	0.06	0.2	0.16	-0.027	0.034	0.13	9.40E-04	-0.14	0.049	-0.052	-0.18	-0.021	0.047	-0.052	0.04
S_pct	0.19	-0.029	0.19	0.16	-0.49	0.31	0.24	0.022	0.4	0.46	0.3	-0.16	0.14	-0.16	0.49	-0.016
Sc_ppm	0.0057	0.36	0.06	0.019	0.14	0.31	0.35	0.56	0.11	0.34	0.35	-0.077	0.44	0.53	0.051	0.092
Sr_ppm	-0.004	0.56	-0.24	-0.29	0.026	0.2	-0.048	0.08	0.27	0.021	0.42	-0.11	0.3	-0.26	0.15	0.55
Ti_pct	0.12	0.49	-0.3	-0.077	0.064	-0.056	0.15	0.43	0.24	0.018	0.37	-0.39	0.41	-0.27	0.2	0.58
V_ppm	-0.054	0.75	-0.21	-0.13	0.3	0.21	0.23	0.4	0.2	0.19	0.43	-0.042	0.7	0.22	0.082	0.5
Zn_ppm	0.058	0.61	-0.25	-0.068	0.3	-0.086	0.17	0.36	0.12	0.083	0.27	-0.17	0.55	-0.0036	-0.058	0.48

Correlaciones considerando las unidades intrusivas

Correlation	Ag_ppm	Al_pct	As_ppm	Au_ppm	Ba_ppm	Ca_pct	Co_ppm	Cr_ppm	Cu_ppm	Fe_pct	K_pct	La_ppm	Mg_pct	Mn_ppm	Mo_ppm	Na_pct
Ag_ppm	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Al_pct	0.01	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
As_ppm	0.25	-0.09	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Au_ppm	2.50E-01	-0.2	0.33	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ba_ppm	0.016	0.39	-0.014	-0.14	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ca_pct	-0.12	-0.14	0.055	1.20E-01	-0.33	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Co_ppm	0.12	0.056	0.2	0.081	-0.052	0.33	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cr_ppm	-0.02	0.35	-0.22	-0.048	-0.067	0.064	-0.063	1	-	-	-	-	-	-	-	-
Cu_ppm	0.13	0.36	0.14	-0.21	0.2	-0.11	0.25	-0.067	1	-	-	-	-	-	-	-
Fe_pct	0.22	0.15	0.31	0.12	-0.029	0.093	0.44	-0.063	0.31	1	-	-	-	-	-	-
K_pct	0.066	0.68	-0.034	-0.33	0.51	-0.34	-0.027	0.055	0.52	0.17	1	-	-	-	-	-
La_ppm	0.029	0.16	0.023	0.083	0.057	0.064	-0.024	0.25	-0.12	-0.056	-0.11	1	-	-	-	-
Mg_pct	-0.16	0.13	-0.14	-0.0027	-0.2	0.63	0.22	0.39	-0.12	0.057	-0.11	0.2	1	-	-	-
Mn_ppm	-0.013	-0.11	0.21	0.1	0.034	0.56	0.33	-0.21	0.19	0.18	-0.052	7.50E-03	0.35	1	-	-
Mo_ppm	0.15	0.31	0.044	-0.33	0.26	-0.2	0.24	-0.018	0.63	0.2	0.52	-0.097	-0.17	3.30E-04	1	-
Na_pct	-0.032	0.088	0.11	9.90E-02	0.084	-0.37	-0.27	0.055	-0.065	-0.059	0.012	0.065	-0.34	-0.33	-0.063	1
Ni_ppm	-0.016	0.11	0.16	0.053	-0.14	0.36	0.42	0.27	0.1	0.28	-0.027	0.031	0.38	0.33	-0.054	-0.16
P_ppm	-0.071	0.3	-0.0049	-0.054	0.15	0.24	0.051	0.15	0.13	0.22	0.16	0.19	0.34	0.16	0.099	0.14
Pb_ppm	0.15	0.0088	0.2	0.12	0.046	0.094	0.086	-0.071	0.12	0.13	0.058	0.014	-0.071	0.09	0.11	-9.40E-05
S_pct	0.013	-0.048	0.15	-0.022	-0.27	0.46	0.47	0.034	0.24	0.67	-0.0095	-0.13	0.27	0.2	0.17	-0.16
Sc_ppm	-0.082	0.21	0.0073	0.028	0.026	0.24	0.038	0.5	-0.053	0.073	0.028	0.34	0.45	0.24	-0.056	0.13
Sr_ppm	0.015	0.44	-0.0083	-0.13	0.19	0.081	0.068	0.15	0.22	0.033	0.24	0.14	-0.021	-0.16	0.17	0.14
Ti_pct	0.005	0.55	-0.21	-0.098	8.60E-02	0.021	0.089	0.53	0.21	-0.049	0.34	0.018	0.31	-0.16	0.23	-0.04
V_ppm	-0.03	0.68	-0.15	-0.071	0.12	0.1	0.058	0.64	0.21	0.072	0.3	0.34	0.46	-0.041	0.15	0.12
Zn_ppm	0.084	0.66	-0.14	-0.1	0.25	-0.082	0.043	0.31	0.36	0.024	0.42	0.13	0.096	0.034	0.23	0.02





