

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA Y
PETRÓLEOS**

**ESTUDIO DE GEOLOGÍA, MINERALIZACIÓN Y
ALTERACIONES EN LA CONCESIÓN MINERA CASCABEL
PROVINCIA DE IMBABURA**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
GEÓLOGO**

FABIÁN PATRICIO ORDÓÑEZ MALLA

fabian_ordoez10@yahoo.es

DIRECTOR: ING. HALINA ZOFIA LACHOWICZ

halina.lachowicz@epn.edu.ec

Quito, Septiembre 2013

DECLARACIÓN

Yo, Fabián Patricio Ordóñez Malla, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

.....
Fabián Patricio Ordóñez Malla

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Fabián Patricio Ordóñez Malla, bajo mi supervisión.

.....

Ing. Halina Zofia Lachowicz

DIRECTORA DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

A mis Padres Hitler y Melva por su cariño, apoyo incondicional y sabios consejos a lo largo de toda mi vida.

A mis hermanos Richar, Freddy y Jairo con quienes he compartido vivencias y alegrías a lo largo de mi vida.

Al Ing. Yvan Crepeau, presidente de la empresa Exploraciones Novomining S.A. (ENSA), por el auspicio y ayuda en la realización de este proyecto de investigación.

A la Ing. Halina Lachowicz, directora de este proyecto por sus consejos y direcciones a lo largo de la realización de este proyecto.

Al Ing. Osman Poma, codirector de este proyecto de investigación por su amistad, tiempo y dedicación para que la cristalización de este trabajo se realice.

A la empresa Cornerstone Ecuador S.A y a cada uno de sus profesionales, en especial a los Ing. Luis Muñoz e Ing. José Silva por su ayuda y comentarios, esperando que este proyecto les sea de utilidad.

A Jhoanna Fernández por su paciencia, cariño y largas noches de compañía durante la realización de este proyecto para que el mismo llegue a un feliz término.

A mis profesores de la Facultad de Geología por su valioso aporte técnico y por impartirnos sus conocimientos a lo largo de toda nuestra vida estudiantil en la Escuela Politécnica Nacional.

A mis compañeros y amigos Andrea C., Gabriela G., al grupo de campo de siempre Carlos D. y Luis L. así también a Edgar C., Alberto M., Byron S., Ernesto Y. y todos quienes me brindaron su amistad a lo largo de este periodo de mi vida.

DEDICATORIA

A mis padres

Hitler Ordóñez y Melva Malla

CONTENIDO

RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT.....	xix
CAPÍTULO 1	
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 ANTECEDENTES Y JUSTIFICATIVOS.....	1
1.2 OBJETIVOS.....	2
1.2.1. OBJETIVO GENERAL.....	2
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
1.3 ALCANCE.....	3
1.4 METODOLOGÍA.....	3
1.5 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA ZONA.....	4
1.5.1 UBICACIÓN Y ACCESO.....	4
1.5.2 MORFOLOGÍA E HIDROLOGÍA.....	5
1.5.3 CLIMA.....	7
1.5.4 FLORA Y FAUNA.....	8
1.5.5 ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS.....	10
1.5.6 INFRAESTRUCTURA.....	10
1.6 TRABAJOS ANTERIORES.....	11
1.6.1 PROYECTO NOROCCIDENTE (1980–1984).....	11
1.6.2 PROYECTO DE COOPERACION BELGA (1984–1985).....	12
1.6.3 CORDILLERA OCCIDENTAL I (1986).....	12
1.6.4 ODIN MINING AND EXPLORATION LTD. (1988 – 1994).....	12
1.6.5 JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (1991 – 1997)....	13
1.6.6 CORDILLERA OCCIDENTAL II (1998 – 2000).....	13
1.6.7 SANTA BARBARA COPPER & GOLD S.A. (2004 – 2008).....	14
1.6.8 OTROS PROYECTOS A NIVEL REGIONAL.....	14
1.7 DESARROLLO DE ESTE TRABAJO.....	16

CAPÍTULO 2

MARCO GEOLÓGICO REGIONAL	18
2.1 INTRODUCCIÓN.....	18
2.2 LITOESTRATIGRAFÍA.....	20
2.2.1 UNIDAD PALLATANGA (K_{PA}).....	20
2.2.2 UNIDAD RIO CALA (K_{RC}).....	20
2.2.3 UNIDAD NATIVIDAD (K_N).....	21
2.2.4 UNIDAD MULAUTE (K_{ML}).....	21
2.2.5 UNIDAD PILATON (K_{PL}).....	21
2.2.6 UNIDAD YUNGUILLA (K_Y).....	22
2.2.7 UNIDAD NARANJAL (K_{NA}).....	22
2.2.8 UNIDAD COLORADO (K_{CO}).....	22
2.2.9 UNIDAD LA CUBERA (PC_C).....	23
2.2.10 UNIDAD TORTUGO (E_{TO}).....	23
2.2.11 UNIDAD EL LAUREL (E_L).....	23
2.2.12 UNIDAD RUMI CRUZ (E_{RC}).....	24
2.2.13 UNIDAD SILANTE (EO_{SL}).....	24
2.2.14 UNIDAD SAN JUAN DE LACHAS ($OM_{S JL}$).....	25
2.2.15 BATOLITO DE SANTIAGO.....	25
2.2.16 BATOLITO DE APUELA-NANEGAL.....	26
2.2.17 DEPÓSITOS VOLCÁNICOS HOLOCÉNICOS.....	26
2.2.18 DEPÓSITOS ALUVIALES.....	26
2.3 ESTRUCTURAS.....	26
2.4 YACIMIENTOS MINERALES EN PERSPECTIVA REGIONAL.....	30
2.5 HISTORIA GEOLÓGICA.....	35

CAPÍTULO 3

MARCO GEOLOGÍCO LOCAL	39
3.1 INTRODUCCIÓN.....	39
3.2 GEOMORFOLOGÍA DE LA ZONA.....	40
3.3 LITOESTRATIGRAFÍA DEL AREA DE ESTUDIO.....	42
3.3.1 UNIDAD PILATÓN (K_{PL}).....	44
3.3.2 UNIDAD EL LAUREL (E_L).....	45

4.2.3.2 Vetillas de Cuarzo-Pirita±Magnetita±Calcopirita (Tipo A)	96
4.2.3.3 Vetillas de Cuarzo-Pirita- Calcopirita±Bornita±Calcosina±Esfalerita (Tipo B)	96
4.2.3.4 Vetillas de Pirita-Cuarzo- Calcopirita±Bornita (Tipo D).....	97
4.2.3.5 Vetillas de Clorita-Epidota±Calcita±Cuarzo.....	98
4.2.3.6 Vetillas de Carbonatos (Calcita)	98
4.3 MINERALIZACIÓN.....	99

CAPÍTULO 5

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	107
--	------------

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	114
6.1 CONCLUSIONES.....	114
6.2 RECOMENDACIONES.....	117
BIBLIOGRAFIA.....	119

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1 Características principales del distrito minero Imbaoste (Modificado de PRODEMINCA., 2000a).....	31
Tabla 4.1 Resultados de análisis de 179 muestras de chips de rocas en la concesión Cascabel (Tomado de news release Cornerstone septiembre 13, 2011).....	102

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Mapa de ubicación y acceso a la concesión minera Cascabel. (Modificado de mapa vial del Ecuador del Ministerio de Transporte y Obras Públicas).....	5
Figura 1.2 Ríos principales, poblados, caminos y límites de las cuencas hidrográficas en la concesión Cascabel.....	6

Figura 1.3 Cuencas hidrográficas y morfología de la concesión minera Cascabel.....	7
Figura 1.4 Distribución de precipitaciones mensuales en la estación meteorológica de Lita (Tomado de Anuario meteorológico 2009 – INAMHI).....	8
Figura 1.5 Distritos mineros, cinturones metalogénicos y principales depósitos entre 5° N y 10° S (Modificado de Schutte et al, 2012).....	15
Figura 2.1 Geología regional de la Cordillera Occidental entre 0° -1° N mostrando el cinturón en el que se encuentra el prospecto Cascabel (Modificado de Boland et al., 2000).....	19
Figura 2.2 Estructuras regionales presentes en la Zona de 0° -1° N principalmente indicando la zona de cizalla Mulaute (Modificado de Boland et al., 2000).....	29
Figura 2.3 Ubicación de prospectos cercanos a la concesión minera Cascabel....	32
Figura 3.1 Foto aérea mostrando las zonas geomorfológicas, hidrografía y lineamientos observados.....	42
Figura 3.2 Mapa geológico de la zona de estudio mostrando las principales formaciones y estructuras de la zona.....	43
Figura 3.3 Diagrama de rosas, observándose las dos direcciones preferenciales presentes en la concesión Cascabel.....	63
Figura 3.4 Diagrama de frecuencia, observándose las distribución de las estructuras presentes en la concesión Cascabel.....	65
Figura 4.1 Asociaciones de minerales de alteración comunes en sistemas hidrotermales (tomado de Corbett y Leach, 1998).....	71
Figura 4.2 Patrones de zonación generalizada de alteración en depósitos tipo pórfido (tomado de Sillitoe, 2010).....	75
Figura 4.3 Espectro electromagnético mostrando la región que es de interés para la espectroscopía de reflectancia. Se indican los valores de longitudes de onda de los rasgos visible (VIS), el infrarrojo cercano (NIR), de onda corta (SWIR). La	

escala horizontal está en micrones y nanómetros; la escala vertical muestra el porcentaje de reflectancia, respecto a la referencia de reflectancia de halon (CBrClF₂).....**80**

Figura 4.4 Componentes de un espectro de reflectancia mostrando la envolvente, los medios máximos de la anchura completa (FWHM) de los rasgos de absorción y las profundidades de absorción de dichos rasgos (tomado de Spectral International Inc, 2004).....**83**

Figura 4.5 Serie de espectros que corresponden a diferentes minerales, se observa las diferentes formas de los rasgos de absorción y su posición respecto al eje X (Longitud de onda nm), además de la forma general del envolvente. (Ejemplos tomados de la base de datos de SpecMin, SII).....**84**

Figura 4.6 Minerales de alteración presentes en la concesión Cascabel determinados por la interpretación de espectros tomados de muestras con el equipo TerraSpec.....**86**

Figura 4.7 Espectros de sericita de varias muestras de la concesión Cascabel tomados con el equipo TerraSpec.....**89**

Figura 5.1 Corte de alteraciones presentando las dos zonas principales de alteración-mineralización junto con la interpretación de las diferentes alteraciones.....**112**

LISTA DE FOTOS

Foto 1.1 Flora y fauna características de la zona de estudio **(a)** Vegetación selvática propia de la zona de estudio **(b)** Lagartija **(c)** Culebra Matacaballo.....**9**

Foto 3.1 a) Afloramiento de lutitas estratificadas intercaladas con cherts en la parte alta del río Cristal; **b)** Muestra FO-055 chert finamente laminado.....**45**

Foto 3.2 a) Rodado de caliza bioclástica con calcita recristalizada encontrado en la parte baja del río Parambas **b)** Afloramiento de calizas al tope del río Parambas **c)** Muestra FO-073 mostrando calcita recristalizada.....**46**

- Foto 3.3** Afloramiento de brechas volcanoclásticas mostrando los diferentes tamaños de los clastos volcánicos (And=Lítico de composición andesítica).....**48**
- Foto 3.4 a)** Muestra FO-027 con aumento 5x14, nicoles paralelos, mostrando la relación entre los fragmentos líticos y la matriz, con fragmentos liberados de plagioclasa y piroxeno en la matriz. **b)** Muestra FO-027 con aumento 5x14, nicoles cruzados, observándose fragmentos de la matriz con epidota y clorita, con la fracción oscura intersticial que corresponde a magnetita.....**49**
- Foto 3.5 a)** Muestra FO-053 con aumento 5x14, nicoles paralelos, mostrando la matriz fragmental fina de la roca con relictos de minerales máficos (Maf.), plagioclasas (Plag.) y relictos de titanomagnetita (Tit.). La matriz es fina fluidal y contiene abundante clorita y arcillas. **b)** Muestra FO-048 con aumento 5x14, nicoles cruzados, observándose la matriz de la toba con opacos rodeados de clorita, epidota y una cantidad menor de cuarzo.....**51**
- Foto 3.6 a)** Muestra FO-052, lava andesítica con textura fluidal **b)** Muestra FO-037, lava de composición basáltica con vetillas de laumontita. **c)** Muestra FO-037 con aumento 5x14, nicoles paralelos, observándose el relicto de un cristal de olivino ovalado, reemplazado por una mezcla de esmectitas con clinocloro. Al costado, se observan cristales de piroxeno (Prx.) fracturado, pero sin alteración.....**52**
- Foto 3.7** Afloramiento de arcosas ricas en plagioclasa de la subunidad sedimentaria San Juan de Lachas.....**54**
- Foto 3.8 a)** Afloramiento río Parambas de diorita de grano medio a fino, presentándose una forma de stockwork con vetillas de cuarzo con pirita y calcopirita que cortan la roca. **b)** Muestra FO-054 observándose el tamaño de grano y los cristales prismáticos de hornblenda.....**56**
- Foto 3.9 a)** Muestra FO-012 con aumento 5x14, nicoles cruzados, observándose fenocristales mayores de plagioclasa (Plag.), con aspecto microfracturado. **b)** Muestra FO-041 con aumento 5x14, nicoles cruzados, mostrando venillas finas con cuarzo, feldespato potásico y unas rosetas de biotita. A la izquierda, se observan pequeños sulfuros rodeados de epidota, de color amarillo intenso.....**57**

Foto 3.10 Muestra FO-041 con aumento 10x14, nicoles cruzados, observándose en detalle venillas con cuarzo (Qz) sacaroidal, feldespato potásico (Feld.) y sulfuros (Sulf), rodeados de epidota (Epid.). En los intersticios centrales de la venilla se encuentra calcita.....**58**

Foto 3.11 Diorita Hornbléndica (derecha) intruyendo a pórfido andesítico (izquierda), con mayor cantidad de vetillas de cuarzo-magnetita-calcopirita en el pórfido andesítico.....**59**

Foto 3.12 a) Muestra FO-042, diorita con textura pseudoporfídica con cristales de hornblenda (Hb) y venillas de Qz. **b)** Muestra FO-042 con aumento 5x14, nicoles cruzados, observándose el aspecto de la textura pseudoporfídica, con cristales orientados de plagioclasa (Plag.), de aspecto relativamente fresco, junto a la forma de un cristal de hornblenda (Hb.) (sector derecho), con el margen de clorita (Clor.) y epidota (Epid.) y con sobreimposición de opacos en el núcleo.....**60**

Foto 3.13 a) Muestra FO-046 con aumento 5x14, nicoles cruzados, mostrando el aspecto de la textura pseudoporfídica, que muestra un “book” de biotita (Bio) (1mm), con láminas de calcita. En las fases intersticiales, se encuentran plagioclasas (Plag.) tabulares, sobre un “fondo” de cuarzo (Qz) microgranular con feldespato potásico y abundantes hojitas de clorita (sector centro izquierdo). **b)** Muestra FO-042 con aumento 5x14, nicoles cruzados, con cristales tabulares de plagioclasa (Plag.), microfracturados, con esmectitas. Se encuentran “ojos” de cuarzo (Qz) pequeños y redondeados, que son característicos de este pórfido.....**61**

Foto 4.1 Equipo TerraSpec ensamblado con todos los elementos que lo componen (modificado de <http://www.petrology.de/geraete>).....**79**

Foto 4.2 a) Muestra FO-042 observándose vetillas tipo A de cuarzo-magnetita-calcopirita. **b)** Muestra FO-041 con aumento 5x14, nicoles cruzados, con fenocristales de plagioclasa (Plag.) y relictos de hornblenda alterándose a clorita (clor) y epidota (epi). Adyacente y en contacto con la matriz cristales de plagioclasa, reemplazados por feldespato potásico (K Feld) y agregados finos de clorita (clor), con cuarzo (Qz) y algunos sulfuros intersticiales.....**87**

- Foto 4.3 a)** Muestra FO-012 con aumento 5x14, nicoles paralelos, con acumulación de minerales máficos alterados a clorita (centro de la foto), entre otros cristales de piroxeno que tienden a estar reemplazados por actinolita y con abundante magnetita. **b)** Muestra FO-012 con aumento 5x14, nicoles cruzados, presenta minerales máficos alterados parcialmente a actinolita con cristales pequeños de plagioclasa y otros relictos de piroxeno alterados a clorita con sobreimposición de calcita.....**88**
- Foto 4.4 a)** Muestra FO-030 con aumento 5x14, nicoles cruzados, con fragmentos líticos menores, presentando alteración a sericita sobre plagioclasas, con precipitación de sulfuros y la matriz silicificada. **b)** Espectro de moscovita (sericita) de Muestra FO-030.....**90**
- Foto 4.5** Muestra FO-005 observándose el característico color verde de la clorita con una veta de epidota-calcita cortando la muestra.....**91**
- Foto 4.6 a)** Muestra FO-023 con aumento 5x14, nicoles paralelos, con fragmentos líticos que están muy alterados a agregados uniformes de clorita con acumulaciones oscuras de epidota y sulfuros opacos. **b)** Espectro de epidota y clorita perteneciente a la Muestra FO-023.....**92**
- Foto 4.7** Muestra FO-068 observándose la alteración argílica intermedia en los bordes de la muestra, mientras que en el centro todavía se puede reconocer parte de la textura original de la roca correspondiente a una toba alterada a illita y caolín con bastante pirita diseminada.....**93**
- Foto 4.8 a)** Muestra FO-061 con aumento 5x14, nicoles cruzados, con siluetas orientadas de plagioclasa alterada a caolinita e illita, con sobreimposición de calcita. Las fases intersticiales presentan cuarzo y abundante sobreimposición de carbonatos oscuros con sulfuros. **b)** Espectro de caolinita e illita con goethita perteneciente a la Muestra FO-061.....**94**
- Foto 4.9** Vetillas de magnetita (tipo M) sobre el pórfido andesítico, nótese que se presentan sin halo de alteración.....**95**
- Foto 4.10** Vetillas de Cuarzo-Pirita (tipo A), nótese que se presentan de manera sinuosa y sin halo de alteración.....**96**

- Foto 4.11** Vetillas de Cuarzo-Calcopirita-Pirita (tipo B), nótese que se presentan de manera regular con sutura de sulfuros en el centro y un halo fino de alteración de feldespatos K.**97**
- Foto 4.12** Muestra FO-030 mostrando vetillas de calcopirita-pirita (tipo D) un poco oxidadas con un halo de clorita.....**98**
- Foto 4.13 a)** Muestra FO-062 con aumento 20x14, nicols paralelos, mostrando la ocurrencia de oro nativo, incrustado en un grano mayor de calcopirita, con láminas de bornita rosada. En los márgenes de la calcopirita, se observa calcosina gris. **b)** Muestra FO-062 con aumento 20x14, nicols paralelos y luz polarizada, mostrando las trazas de pulimiento característico y su alta reflectividad del grano de oro nativo.....**102**
- Foto 4.14 a)** Veta de calcopirita-cuarzo-malaquita y óxidos de hierro de aproximadamente 3cm de espesor. **b)** Muestra FO-053 con aumento 10x14, nicols paralelos y luz con condensador, detalle de la formación de malaquita verde con limonitas anaranjadas, en los espacios intersticiales de la venilla de cuarzo con epidota.....**103**
- Foto 4.15 a)** Muestra FO-015 de esfalerita-calcopirita tomada de una brecha hidrotermal en la quebrada Morán. **b)** Muestra FO-010 con aumento 50x14, nicols paralelos, observándose con alto aumento la presencia de un cristal de esfalerita asociado a la calcopirita gruesa de una venilla. **c)** Muestra FO-039 de un rodado encontrado en la quebrada Morán de una brecha hidrotermal con esfalerita.....**104**
- Foto 4.16 a)** Muestra FO-010 con aumento 5x14, nicols paralelos, mostrando detalle de una venilla hidrotermal de cuarzo con clorita y calcita, que presenta una banda gruesa de calcopirita con inclusiones de pirita de hábito cúbico. A la derecha, en la roca, un relicto de magnetita, con un reticulado de rutilo y sobreimposición de pirita fina. **b)** Muestra FO-062 con aumento 20x14, nicols paralelos, mostrando el detalle de la asociación de calcopirita con bornita.....**105**

Foto 5.1 Vetillas tipo B de cuarzo con suturas centrales de magnetita, calcopirita y algo de bornita tomadas durante muestreo de canal en la quebrada Alpala. (Tomado de news release Cornerstone Resources enero 24, 2013).....**108**

LISTA DE MAPAS

MAPA N° 1: Mapa geológico de la concesión Cascabel

MAPA N° 2: Mapa de alteraciones hidrotermales de la concesión Cascabel

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1: Coordenadas concesión Cascabel

ANEXO 2: Descripción petrográfica de muestras de mano de la concesión
Cascabel

ANEXO 3: Interpretación de espectros de alteración obtenidos con el equipo
TerraSpec de la concesión Cascabel

ANEXO 4: Fichas de descripción petrográfica de láminas delgadas de la concesión
Cascabel

ANEXO 5: Fichas de descripción calcográfica de secciones pulidas de la concesión
Cascabel

RESUMEN

El siguiente estudio presenta la identificación, análisis y clasificación de las unidades litológicas de la concesión Cascabel, estableciendo su disposición y sucesión; así también, se determinó los diferentes tipos de alteraciones hidrotermales y vetillas que han tenido lugar en el área de estudio. Incluyendo el reconocimiento de zonas mineralizadas junto a un modelo interpretativo genético para estas zonas.

La concesión minera Cascabel (50km²) se encuentra ubicada en la provincia de Imbabura, cantón Ibarra, parroquias Lita y La Carolina. Esta se encuentra emplazada sobre la Cordillera Occidental, aproximadamente a 120 Km al Norte de Quito, capital de Ecuador y 20 Km al Sur del límite territorial con Colombia.

La concesión minera Cascabel presenta una litoestratigrafía de sedimentos de edad turoniano a conaciano de la Unidad Pilatón que consiste en lutitas laminadas, limolitas arenosas e intercalaciones de cherts finamente laminados; calizas bioclásticas con calcita recristalizada eocénicas de la Unidad El Laurel y brechas volcanoclásticas, tobas finas y lavas basálticas a andesíticas de la Unidad San Juan de Lachas de edad Oligoceno. Todas estas unidades se encuentran intruídas por plutones miocénicos y parcialmente cubiertas por terrazas aluviales y coluviales cuaternarios en las partes bajas.

El depósito de la concesión Cascabel, es del tipo pórfido de Cu-Au, presentando cuatro alteraciones hidrotermales características de este tipo de depósitos:

Alteración Potásica.- se presenta en zonas cercanas al afloramiento de las rocas intrusivas, presentando una alteración híbrida potásica-calcica tomando lugar asociaciones comunes de magnetita-actinolita±biotita.

Alteración Fílica.- Caracterizada por la presencia de sericita-cuarzo-pirita, ocurre principalmente controlada estructuralmente en sentido NO-SE en la parte alta del área de estudio, en el sector de la quebrada Alpala.

Alteración Propilítica.- se caracteriza por la presencia de minerales de clorita, epidota, esmectita, sericita, cuarzo; se encuentra ampliamente distribuida en la zona de estudio, afectando tanto a las rocas intrusivas como a las rocas volcanoclásticas de la Unidad San Juan de Lachas.

Alteración Argílica Intermedia.- Se caracteriza por la formación de minerales arcillosos (Illita-Caolín), se presenta como una zona amplia en la parte alta, al Sur

de la zona de estudio, en las quebradas Alpala, El Carmen y la parte alta de la quebrada Morán y presenta una dirección estructural preferencial hacia el Noroeste, afectando a las rocas volcanoclásticas.

Se infiere también, la existencia de una litocapa erosionada de alteración argílica avanzada, debido a la presencia de rodados de esta capa al Suroeste de la concesión.

Seis tipos de vetillas han sido reconocidas a lo largo de la concesión Cascabel siendo las tempranas las Tipo M de Magnetita±Cuarzo±Actinolita, y las tipo A de Cuarzo-Pirita±Magnetita±Calcopirita, las transicionales las tipo B de Cuarzo-Pirita-Calcopirita±Bornita±Calcosina±Esfalerita; así también, tenemos las vetillas tardías que son las tipo D de Pirita-Cuarzo-Calcopirita±Bornita, las vetillas de Clorita-Epidota±Calcita±Cuarzo y por último las vetillas de Carbonatos (Calcita)

Finalmente, dos zonas de interés fueron identificadas: una en la quebrada Morán y otra en la quebrada Alpala donde la mineralización está generalmente asociada a zonas de stockwork, brechas hidrotermales, algunas fallas mineralizadas y zonas de alteración hidrotermal (potásica o fílica). La mineralización consiste principalmente en pirita y calcopirita acompañadas de bornita, calcosina, covellina, esfalerita, galena y oro nativo. El oro se presenta encapsulado en la calcopirita y bornita, estos minerales se encuentran rellenando vetillas y en zonas de alteración.

ABSTRACT

The present work presents an identification, analysis and classification of lithology units of Cascabel mining concession, establishing their distribution and succession. The different kinds of hydrothermal alteration and veinlets that affects the study area were determined. The study includes a recognition of mineralized zones and their genetic interpretative model for these zones.

The mining concession Cascabel (50 km²) is located in Ecuador, province of Imbabura, canton of Ibarra, between the Lita and La Carolina parish, over the Western Cordillera. It is approximately to 120 km to the North from Quito or 20 km to the South from the Colombia border.

The lithostratigraphy of the mining concession is compound by sediments from turonian to coniacian age in the Pilatón unit. The Pilatón unit consists in shales, siltstone and cherts. Bioclastic limestone with recrystallized calcite of eocene origin is present in the El Laurel unit, and volcanoclastic breccia, tuffs and basaltic to andesitic lavas from the oligocene age are present in the San Juan de Lachas unit. All these units are intruded by plutons miocenes and partially cover by alluvial and colluvial terraces in the down side.

The type of deposit in the mining concession Cascabel is consistent with porphyry of gold-copper with four characteristic alterations recognized.

- Potassic alteration
- Phyllic alteration
- Propylitic alteration
- Argillic intermediate alteration

The existence of an eroded lithocap of advanced argillic alteration is suggested based on the presence of floats of this layer to the southwest of the concession.

Six kinds of veinlets are recognized. The earliest correspond to the Magnetite±Quartz±Actinolite M type, Quartz-Pyrite±Magnetite±Chalcopyrite A type; the transitional Quartz-Pyrite-Chalcopyrite±Bornite±Chalcosite±Sphalerite B type. The latest correspond to the Pyrite-Quartz-Chalcopyrite±Bornite D type, Chlorite-Epidote±Calcite±Quartz and carbonates (calcite).

Finally, two interest areas were recognized in the Morán creek and Alpala creek where the mineralization is associated to stockwork zones, hydrothermal breccias, mineralized faults and hydrothermal alterations (potassic or phyllic). The

mineralization consists in pyrite and chalcopyrite with bornite, chalcosite, covellite, sphalerite and gold. The gold is capsuled into the chalcopyrite and bornite which fill the veins.

CAPÍTULO 1.

INTRODUCCIÓN.

1.1 ANTECEDENTES Y JUSTIFICATIVOS.

La creciente demanda de materias primas metálicas para abastecer a las industrias en desarrollo, pertenecientes a algunas de las economías con mayor crecimiento en la región, hace necesaria la prospección y exploración de nuevos yacimientos metálicos.

El Ecuador, como un país con alto potencial minero, apostaría en un futuro cercano y con un planteamiento de leyes que lo permitan, a la prospección y exploración de nuevas áreas con el apoyo de la inversión privada.

La Empresa Exploraciones Novomining S.A., subsidiaria de Cornerstone Resources Inc. de Canadá, concesionaria del área minera Cascabel, actualmente está iniciando labores tendientes a encontrar un yacimiento de minerales metálicos, por lo que un estudio geológico, mineralógico y de alteraciones de la concesión es de gran ayuda para el objetivo.

La minería informal anti técnica se realiza en muchas zonas de nuestro país, siendo el desarrollo de proyectos mineros una fuente importante de trabajo para una gran cantidad de personas, sin embargo los conocimientos y técnicas son mínimas, por lo que los impactos ambientales producidos son fuertes.

Trabajos de exploración realizados por empresas privadas, que cuentan con mayor tecnología e implementación de las normas ambientales requeridas, permiten que los proyectos se desarrollen de una manera más sustentable.

Es así que la empresa Exploraciones Novomining S.A. está iniciando una fase de exploración y a la vez genera fuentes de empleo directo a personas de sectores aledaños y que tienen una influencia directa del proyecto.

La problemática actual de la concesión Cascabel es la falta de información geológica, razón por la cual no se ha podido determinar el tipo de mineralización y las principales alteraciones presentes en la misma, siendo esto un impedimento para avanzar con siguientes fases de prospección y exploración.

Antes de iniciar el presente estudio la concesión Cascabel únicamente contó con geoquímica de sedimentos y geofísica regional, siendo necesario el reconocimiento de campo y un estudio geológico, mineralógico y de alteraciones, para poder valorar el verdadero potencial de mineralización metálica y con ello planificar futuros trabajos de exploración.

Los resultados obtenidos con este proyecto de titulación ayudarán a determinar el tipo de mineralización, así como las alteraciones hidrotermales existentes en la zona Cascabel, aportando de esta manera con esta información a la Empresa Exploraciones Novomining S.A.

1.2 OBJETIVOS.

1.2.1. OBJETIVO GENERAL

Estudiar la geología, mineralización y alteraciones hidrotermales en la concesión minera Cascabel.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaborar un mapa geológico, estableciendo la disposición y litoestratigrafía de las formaciones existentes en la zona, delimitando sus contactos y determinando su composición petrográfica.
- Elaborar un mapa de alteraciones hidrotermales, determinando los diferentes tipos de minerales de alteración por espectrometría de alta resolución; así también, la mineralización presente en la zona de estudio.
- Realizar un informe técnico detallado para la empresa Exploraciones Novomining S.A. y una tesis de pregrado para la Escuela Politécnica Nacional identificando las probables zonas de interés.

1.3 ALCANCE.

Se realizó fotointerpretación de fotos aéreas, junto con la recolección y análisis de la bibliografía, obteniendo una idea general de la zona y de la geología existente en la misma.

Se realizaron dos salidas al campo de 21 días cada una para la recolección de información geológica y muestreo sistemático de 71 rocas. De las muestras se efectuó un análisis petrográfico y mineralógico; además se realizó un análisis macroscópico y microscópico en 18 láminas delgadas y 10 secciones pulidas.

Uno de los alcances iniciales de la tesis, fue la elaboración de dos mapas, uno geológico y otro de alteraciones hidrotermales a escala 1:10000; sin embargo la Comisión Examinadora por unanimidad decidió, que en vista de no contar con los afloramientos suficientes en el campo y por tanto, sin la información suficiente, se elabore los mapas a la escala de 1:25000.

La caracterización de la alteración hidrotermal se la realizó con el equipo TerraSpec, tomando aproximadamente 215 espectros (Ver Anexo N°3), para visualizar espacialmente la distribución de los minerales de alteración, junto con las facies de alteración existentes en la zona, el equipo TerraSpec fue proporcionado por la empresa Exploraciones Novomining S.A. Este equipo de alta precisión ayuda a identificar los minerales de alteración hidrotermal mediante espectroscopía de reflectancia.

1.4 METODOLOGÍA.

La adquisición de la información se la realizó en un orden sistemático, el mismo que consta de la siguiente manera:

- 1 Recopilación de la información.-** Trabajo de oficina para analizar e interpretar todo tipo de información referente a la zona de estudio, es decir mapas geológicos regionales, informes técnicos anteriores realizados por la empresa, publicaciones científicas relacionadas con la geología de la zona, etc.; además de fotogeología, para obtener una idea general de la zona de estudio.

- 2 Mapeo geológico.-** Trabajo de campo en el que se realizó el levantamiento geológico, determinando la litoestratigrafía, estructuras y las características petrográficas de las unidades litológicas y su disposición, por medio de la observación de afloramientos, aprovechando cortes de carreteras, lechos de ríos, derrumbes existentes, canteras para materiales de construcción, etc.
- 3 Recolección de muestras.-** Reconocimiento de campo en el que se procedió a realizar una recolección sistematizada de muestras de rocas para análisis petrográficos, mineralógicos y químicos. Principalmente se trató de recolectar muestras en lugares con alteración hidrotermal y en zonas de fallas con mineralización.
- 4 Trabajo de laboratorio.-** De las muestras recolectadas en campo se procedió a preparar láminas delgadas, secciones pulidas y realizarles análisis de espectroscopía, en las cuales se observó tanto la mineralogía, alteraciones y la mineralización.
- 5 Interpretación de datos y redacción proyecto de titulación.-** Con los resultados y los datos de campo, se realizó la interpretación geológica. Estas interpretaciones son presentadas en un documento, identificando las áreas favorables, mineralizadas y alteradas hidrotermalmente, con conclusiones y recomendaciones para la etapa de exploración. Esta información también consta en dos mapas uno geológico y otro de alteraciones del área de estudio.

1.5 CARACTERISTICAS GENERALES DE LA ZONA.

1.5.1 UBICACIÓN Y ACCESO

El proyecto Cascabel, que actualmente pertenece a la Empresa Exploraciones Novomining S.A., está conformado por una sola concesión (Ver figura 1.1) cubriendo un área de 50 Km². Las coordenadas UTM de la zona de estudio se detallan en el Anexo N°1.

La concesión minera Cascabel se encuentra ubicada en la provincia de Imbabura, cantón Ibarra, parroquias Lita y La Carolina. Se encuentra en la Cordillera Occidental, aproximadamente a 120 Km al Norte de Quito y 20 Km al Sur del límite territorial con Colombia.

El acceso hasta la concesión se lo realiza a través de la vía asfaltada Ibarra-San Lorenzo, aproximadamente a 65 Km desde la ciudad de Ibarra. En el sector de la comunidad de Rocafuerte se toma un camino secundario de grava que conduce a la parte central de la concesión, en donde se localiza el poblado de Santa Cecilia; este último tramo consta de 6 Km aproximadamente (Ver figura 1.1).



Figura 1.1 Mapa de ubicación y acceso a la concesión minera Cascabel (Modificado de mapa vial del Ecuador del Ministerio de Transporte y Obras Públicas).

1.5.2 MORFOLOGÍA E HIDROLOGÍA

El relieve del área del proyecto es accidentado con un rango de altitudes que varía entre los 750 m y 2100 m sobre el nivel del mar, comprendiendo colinas empinadas principalmente en la zona sur, cambiando hacia colinas redondeadas y mesetas planas en la parte norte de la concesión. En la zona alta existen valles en V profundos, mientras que hacia el Norte a una altura menor los valles son más amplios. En las zonas con pendientes fuertes se observan remanentes de bosque, mientras que las zonas planas han sido aprovechadas para cultivos y pastizales.

El área del proyecto se encuentra en una zona rica en recursos hídricos. Los drenajes principales son los ríos Parambas, Cristal, Cachaco y Collapí (Ver figura 1.2). Todas las vertientes que se generan en estos drenajes desembocan hacia el Océano Pacífico por la subcuenca del río Mira.

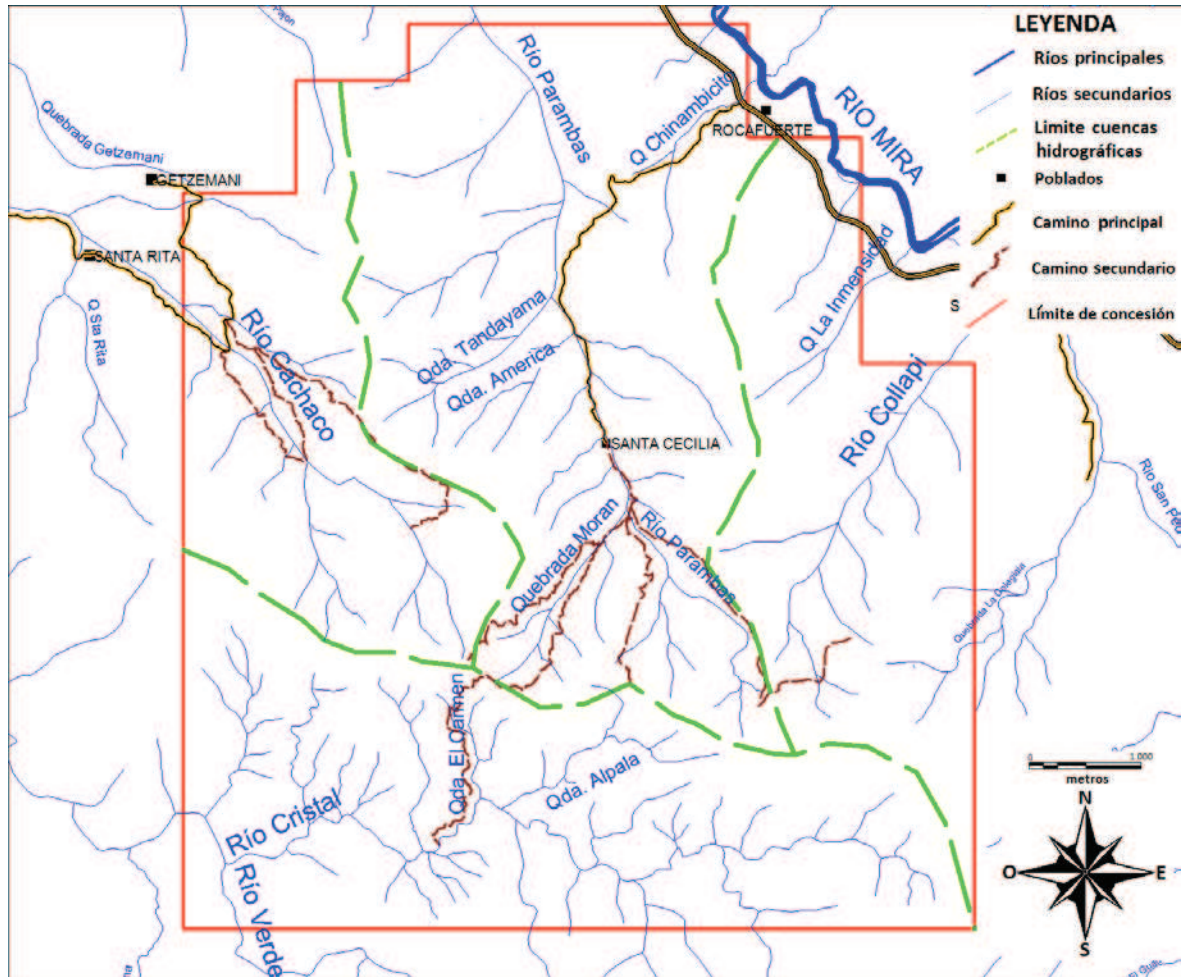


Figura 1.2 Ríos principales, poblados, caminos y límites de las cuencas hidrográficas en la concesión Cascabel.

El río Parambas que se encuentra en la parte norte y centro de la concesión, se forma de la unión de las quebradas Morán y Parambas, para luego correr hacia el Norte por la parte central, pasando por el pueblo de Santa Cecilia y para finalmente unirse al río Mira en la parte baja. Las alturas en esta cuenca se presentan desde los 1800 m en la parte más alta hasta los 800 m sobre el nivel del mar en la parte más baja.

El río Cristal se ubica al Sur de la concesión fluyendo hacia el Oeste y recolecta las aguas de las quebradas Alcala y El Carmen, para posteriormente unirse al río

Verde (Ver figura 1.3). Las alturas en esta subcuenca varían desde los 2040 m sobre el nivel del mar en la parte más alta, hasta los 1320 m en la parte más baja.

El río Cachaco está ubicado al Oeste, fluye hacia el Noroeste en forma aproximadamente rectilínea, para luego unirse aguas abajo con el río Mira fuera de la concesión (Ver figura 1.3). Los rangos de alturas de esta subcuenca dentro de la concesión varían desde los 1100 m hasta los 1820 m sobre el nivel del mar.

El río Collapí ubicado al Este de la concesión, cuyas aguas se dirigen hacia el Noreste para unirse al río Mira aguas abajo (Ver figura 1.3). Las alturas en esta subcuenca varían desde los 950 m hasta los 1800 m sobre el nivel del mar.

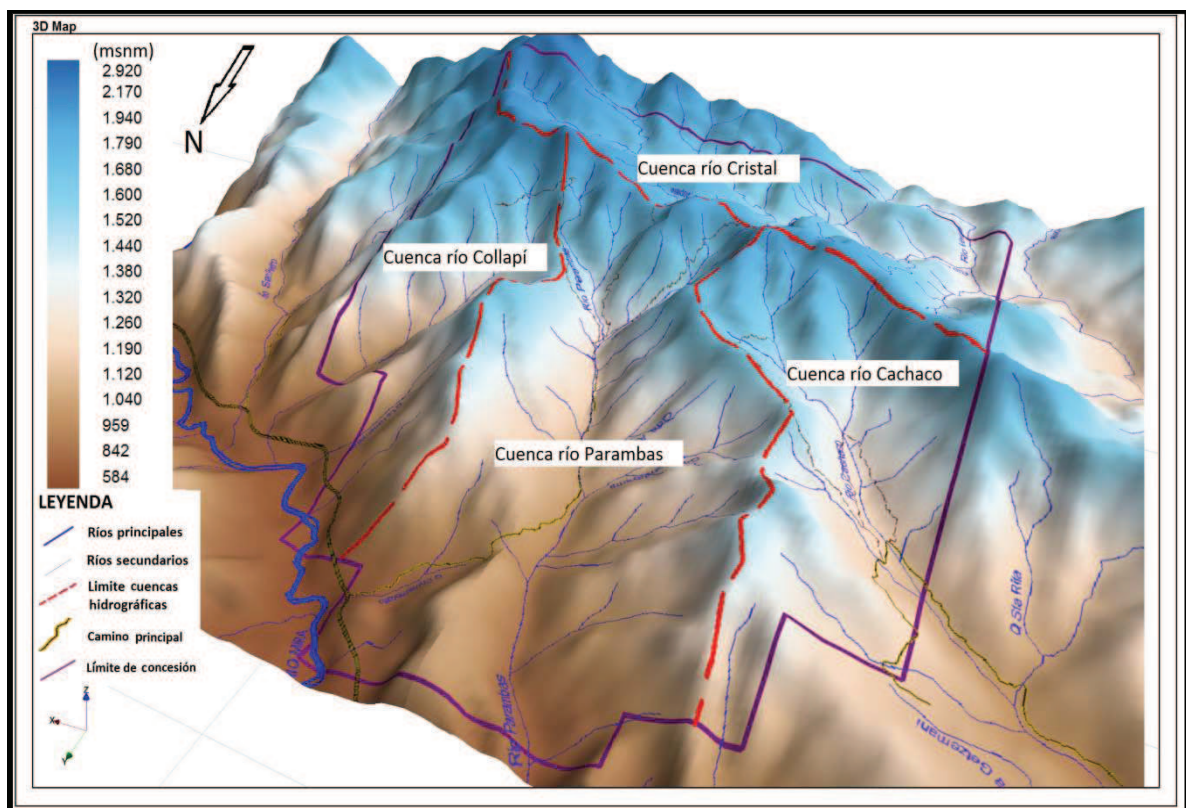


Figura 1.3 Cuencas hidrográficas y morfología de la concesión minera Cascabel.

1.5.3 CLIMA

En el área Cascabel se tiene un clima templado-cálido en las partes más altas, mientras que para las partes bajas (menores a 1800 m sobre el nivel del mar) presenta un clima cálido. Esta es una zona subtropical húmeda, cuya temperatura promedio anual es de 22,5° C y 23,5° C.

El poblado de Santa Cecilia, ubicado en la parte central del proyecto, presenta un clima con una temperatura media aproximada de 20°C y una pluviosidad anual de 2906,7 mm. Otro factor importante es el número de meses secos, ya que existe un mínimo de 4 meses secos; que van desde junio a octubre, mientras que de diciembre a marzo las épocas con mayor precipitación (Ver figura 1.4).

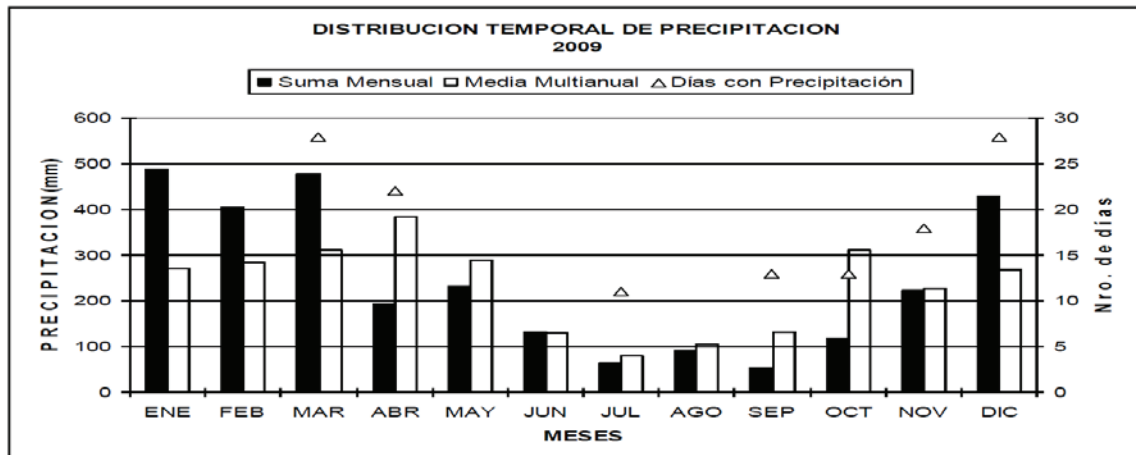


Figura 1.4 Distribución de precipitaciones mensuales en la estación meteorológica de Lita (Tomado de Anuario meteorológico 2009 – INAMHI)

El área donde se ubica la concesión minera Cascabel posee una pluviosidad que varía de 52,7 a 488,3 mm, presentando una precipitación anual promedio de 242,23 mm, con una humedad relativa media mensual que oscila entre 86% y 89%. (Para el análisis del clima se utilizaron los datos existentes en la Estación Meteorológica de Lita que se encuentra a 14km al NO del área de estudio, debido a que esta es la más cercana al área de influencia del proyecto).

1.5.4 FLORA Y FAUNA

La zona del proyecto Cascabel presenta una vegetación selvática a lo largo de las quebradas, siendo éstas poco accesibles; presenta árboles como caoba, guayacán, roble y balsa.

Son fáciles encontrar matapalos abrazando otros árboles, así como varias especies de las más espectaculares orquídeas, bromelias y helechos. Las especies más deforestadas, por la tala selectiva, han sido las maderas como: el “cedro” *cedrela montana*, “caoba” *platysmiscium pinnatum*, “laurel” *cordia alliodora*, “guayacán”

tabebuia chrysantha, “tagua” *phytelephas tenuicaulis*, debido a su gran valor económico.

Las diversas condiciones ambientales y climáticas presentes en la zona de estudio, son propicias para que se desarrolle una amplia variedad de especies de flora y fauna, las cuales se vuelven más abundantes hacia la parte selvática (Ver foto 1.1).



Foto 1.1. Flora y fauna características de la zona de estudio (a) Vegetación selvática propia de la zona de estudio (b) Lagartija (c) Culebra Matabalho.

La diversidad biológica vegetal que se encuentra en esta zona, es de las más altas del país ya que existen 6.300 especies de plantas vasculares, de las cuales el 20% son endémicas (Dávila y Lascano, 2009).

Así mismo se puede destacar la gran variedad de fauna presente en el área, ya que se han inventariado aproximadamente 450 especies de aves presentes en la zona, de la totalidad de 1.616 que hay en el Ecuador (Dávila y Lascano, 2009).

1.5.5 ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS

Lita a 18km del pueblo de Santa Cecilia, es el sitio más concurrido por los comuneros de esta zona, aquí se abastecen de víveres y productos en general. Además, cada domingo se realiza una feria bastante concurrida por visitantes de comunidades aledañas (Dávila y Lascano, 2009).

El suelo que se presenta en esta región es apto para el desarrollo de la agricultura, en especial para la siembra de productos como la cabuya, naranjilla, papaya, plátano, caña de azúcar, limón, naranja y fréjol, siendo la cabuya y naranjilla los productos con una mayor demanda; el desarrollo de la ganadería es otro aspecto que se ha convertido en un factor importante de la economía de la zona, siendo éstas las principales actividades productivas del sector.

Los propietarios de la tierra son en su mayoría mestizos. La mayoría de propietarios vive en el pueblo de Santa Cecilia y tienen pequeñas casas o ranchos en sus fincas, las cuales usan de manera temporal.

En la concesión no existen terrenos comunales, aunque los propietarios se han asociado como comunas jurídicas para obtener recursos del Estado. Hacia la parte baja, cerca de la vía asfaltada, los propietarios generalmente son gente de las ciudades cercanas que han adquirido terrenos recientemente en esta zona.

1.5.6 INFRAESTRUCTURA

El poblado de Santa Cecilia cuenta con alrededor de 40 familias y presenta una regular infraestructura en servicios básicos, tales como agua potable entubada, el servicio de electricidad se obtiene desde la red nacional de electricidad a través de la línea de poder de alto voltaje, algunas líneas telefónicas fijas y señal de celular en ciertos lugares.

El pueblo de Santa Cecilia presenta casas con estructuras principalmente de madera, de confección rústica; cuenta con una escuela primaria unidocente,

además de una cancha de ecuavoley y una iglesia. La salud en el sector es el principal problema, ya que no hay un centro de salud en la zona, por lo que cuentan únicamente con un botiquín comunitario para emergencias.

El pueblo más cercano que presenta una buena infraestructura es Lita, se encuentra a 30 minutos en auto de la concesión en la vía Ibarra – San Lorenzo. Allí se pueden encontrar todos los servicios básicos (agua, luz, teléfono, señal de celular), además de una unidad ambulatoria de salud y emergencia, así como, una unidad de policía comunitaria. Aquí también podemos encontrar una estación de servicio de gasolina de la empresa Petroecuador, además de un cuartel de las fuerzas armadas ecuatorianas.

Ibarra es la ciudad más cercana a la concesión (Ver figura 1.1) con una población aproximada de 140 000 habitantes. Es uno de los primordiales centros turísticos y comerciales, con una gran capacidad hotelera.

El puerto más cercano se encuentra en la ciudad de Esmeraldas, aproximadamente a 160 Km al Oeste de la concesión, a dos horas y media en auto. Este puerto serviría para el transporte del material a otros países, de proceder a una futura fase de explotación. Esmeraldas también cuenta con una buena infraestructura hotelera tanto como gastronómica, además de contar con un aeropuerto de mediano tamaño. También podemos encontrar facilidades para la contratación de servicios mineros y compra de suplementos para la misma.

1.6 TRABAJOS ANTERIORES.

1.6.1 PROYECTO NOROCCIDENTE (1980 – 1984)

Como una iniciativa de la Dirección General de Geología y Minas nació el Proyecto Noroccidente, tendiente a investigar los recursos minerales en las provincias del Carchi, parte de Esmeraldas e Imbabura. Se tomaron un total de 822 muestras de sedimentos de arroyo, las que fueron analizadas para 5 elementos (Au, Ag, Cu, Zn, Pb), utilizando el método de absorción atómica en los laboratorios de la DGGM. Luego del primer año de trabajo se descubrieron 10 anomalías, siendo una de ellas y la más importante en el río Junín. El Gobierno Nacional firmó un convenio de Asistencia Técnica con el Gobierno de Bélgica, para continuar la investigación en

cada una de las anomalías detectadas entre ellas la del río Parambas (parte de Cascabel) y ampliar la exploración regional (DGGM, 1980).

1.6.2 PROYECTO DE COOPERACION BELGA (1984 – 1985)

Desde 1984 hasta 1985 se realizaron investigaciones geológicas, geoquímicas y geofísicas en el marco de un proyecto cooperativo con Bélgica (Misión Belga-INEMIN). Como resultado de estos estudios, se encontraron vetas, vetillas, stockworks y diseminación de sulfuros y sulfosales en algunos sitios como en el río Morán, río Parambas, Cuellaje, Junín y Zarapullo entre otras. Sin embargo, solo Junín, Parambas y Zarapullo podrían tener algún potencial económico. Zarapullo y Parambas (este último sector donde se encuentra la concesión) tienen una relación probable con centros de emisión de los depósitos volcánicos continentales de las unidades Tandapi y San Juan de Lachas (Oligoceno) (Kehrer y Van Der Kaaden, 1979).

1.6.3 CORDILLERA OCCIDENTAL I (1986)

En el marco de un convenio firmado entre el Instituto Ecuatoriano de Minería INEMIN, (ex-DGGM) y la compañía RTZ, se procedió a una selección y reanálisis de las muestras tomadas en las campañas de exploración de los proyectos de Naciones Unidas, misiones de asistencia técnica del Reino Unido y cooperación con Bélgica. Se utilizó el método de espectro plasma (ICP) para 29 elementos; acentuando los muestreos en los alrededores de ciertas anomalías determinadas anteriormente (ríos Parambas y Morán) y sus proyecciones. Se inició la exploración de la zona al occidente de Junín. La base de datos cuenta con 9120 muestras, en las que se incluyen algunas muestras tomadas por la empresa RTZ (INEMIN, 1990).

1.6.4 ODIN MINING AND EXPLORATION LTD. (1988 – 1994)

Fue la primera compañía privada que realizó trabajos en el área de la concesión Cascabel, sin embargo estos trabajos solo consistieron en la recolección de una cantidad mínima de muestras y análisis de las mismas, sin profundizar en el reconocimiento del área, ni en un levantamiento geológico general. Se determina

que la zona donde se encuentra la concesión Cascabel presenta un gran potencial para un depósito volcanogénico de sulfuros masivos, presentándose valores altos para Cu, Pb, Zn, y Ag, en una zona controlada por alteración principalmente propilítica. A pesar de esto, los estudios se discontinuaron, por lo que la concesión volvió a manos del Estado Ecuatoriano (Silva y Rosero, 2011).

1.6.5 JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (1991 – 1997)

La JICA (Japan Internacional Cooperation Agency) /MMAJ (Metal Mining Agency of Japan) realizan estudios más detallados en Junín y descubren que muestra facies de pórfidos que intruyen al batolito de Apuela, concluyendo que la mineralización está asociada a zonas con alteración sericítica y a facies de pórfidos granodioríticos. Se realizaron cálculos preliminares de reservas con la siguiente ley de cobre: 318 millones de toneladas con ley promedio de 0.71 % de cobre y 0.026% de molibdeno por ley de corte de 0.4% de cobre inferidos únicamente a partir de datos geológicos y distribución de ley de cobre. Esto es un buen indicio para la concesión Cascabel debido a que Junín se encuentra regionalmente en el mismo cinturón de mineralización (JICA, 1998).

1.6.6 CORDILLERA OCCIDENTAL II (1998 – 2000)

El último trabajo de exploración llevado a cabo por el Gobierno del Ecuador está enmarcado dentro del Proyecto de Desarrollo Minero y Control Ambiental (PRODEMINCA), a lo largo de la Cordillera Occidental. Se recolectaron 15,175 muestras de sedimentos de arroyo utilizando tamices malla 60 y se analizaron para 38 elementos por el método de ICP. La localización de los sitios de muestreo se realizó en forma directa mediante lecturas de un GPS Garmin. El tratamiento estadístico de esta base de datos permitió definir sectores de la cordillera afines con uno u otro elemento y correlacionando estos resultados con el ambiente geológico de la zona, se llega a definir las Provincias Geoquímicas de la Cordillera Occidental. El sector de Parambas, donde se encuentra ubicada la concesión Cascabel, en el marco de este proyecto es considerado como un depósito epitermal de Cu-Pb-Zn-Ag-Au, el mismo que consiste en vetas esporádicas en una zona de alteración propilítica y localmente silíceas. La mineralización es

posiblemente relacionada con la actividad volcánica de la Unidad San Juan de Lachas (Boland et al., 2000).

1.6.7 SANTA BARBARA COPPER & GOLD S.A. (2004 – 2008)

La empresa privada Santa Bárbara solicita la concesión Cascabel al Estado Ecuatoriano, junto con otras concesiones. Basados en los estudios previos realiza un estudio somero de la zona, llegando a presentar un estudio de impacto ambiental al Ministerio del Ambiente en el año 2008. Se determina el potencial de Cu, Pb, Zn, Ag y Au en la concesión sin llegar a profundizar en estudios o realizar un muestreo más detallado del área, por lo que la concesión es revertida al Estado Ecuatoriano, justo a un mes de que en el Ecuador entre en vigencia el mandato minero en 2008, el mismo que solicitaba la devolución de concesiones mineras al Estado y revisión de contratos de todas las empresas mineras presentes en el país (Silva y Rosero, 2011).

1.6.8 OTROS PROYECTOS A NIVEL REGIONAL

Ecuador presenta un gran número de granitoides y rocas volcánicas relacionadas con el arco magmático terciario, cuya geocronología ha sido mayormente basada en edades K/Ar y en trazas de fisión en zircón.

Un trabajo reciente (Schutte, 2010) presenta set de datos U/Pb en zircón realizados a escala regional, obtenidos en múltiples plutones e intrusiones porfídicas en la Cordillera Occidental del Ecuador y en la Sierra Austral, lo que ha permitido una calibración robusta de la historia intrusiva durante el Terciario en Ecuador. En rocas plutónicas donde se han obtenido edades K/Ar y U/Pb, se puede observar que los resultados difieren entre 1-4 Ma. entre los métodos, lo que sugiere que las edades K/Ar pueden ser usadas como un proxy semiexacto para las rocas del arco magmático en Ecuador a escala regional, debido a que estas no han sufrido reseteo ni han sido deformadas.

Pórfidos y yacimientos relacionados (epitermales y mesotermiales) con depósitos minerales en el Oeste de Sudamérica típicamente ocurren en cinturones metalogénicos elongados de algunos cientos de kilómetros de longitud, los cuales regionalmente presentan depósitos minerales de similar edad (Sillitoe, 1988).

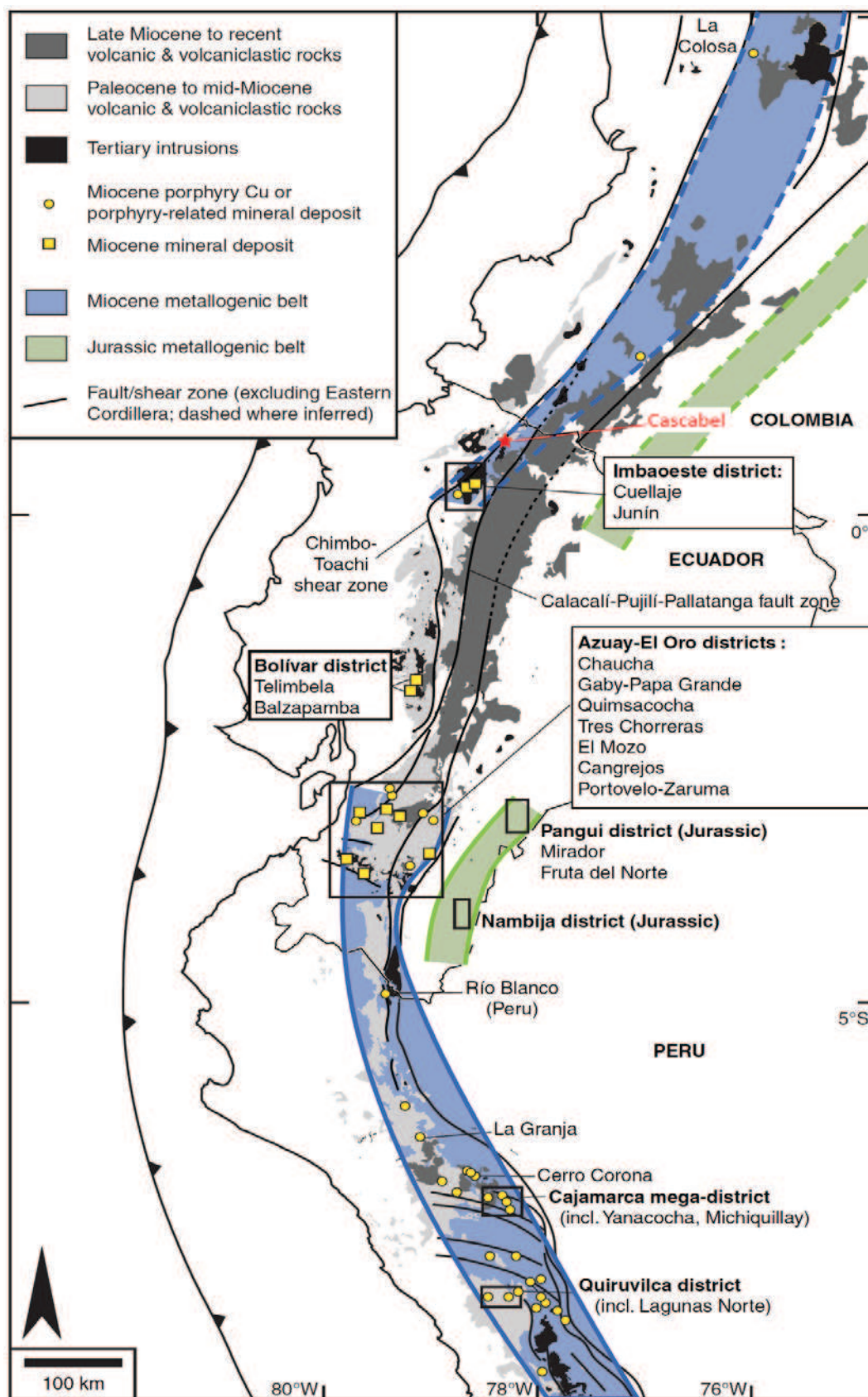


Figura 1.5. Distritos mineros, cinturones metalogénicos y principales depósitos entre 5° N y 10° S (Modificado de Schutte et al, 2012).

La concesión Cascabel se ubica en el cinturón de pórfidos de Cu-Au, distrito minero Imbaoeste, que involucra al batolito de Apuela-Nanegal, cuya mineralización se estima de edad Mioceno Medio a Superior (PRODEMINCA, 2000), y es parte del cinturón El Corazón-Junín-Cascabel-Chical, en la estribación occidental de la Cordillera Occidental del Andes Ecuador. Esta franja se extiende por alrededor de 100 km en sentido NE-SO.

La mineralización del Mioceno sigue un patrón de distribución muy parecido a la distribución de las rocas del arco magmático miocénico en Ecuador. La distribución espacio-temporal de los pórfidos de Cu y mineralizaciones epitermales asociadas dentro de los cinturones metalogénicos del Ecuador y Perú e incluso posiblemente hasta Colombia es muy similar. En nuestro país podríamos considerar que se encuentran dos cinturones metalogénicos (Ver Figura 1.5) (Schutte, 2010).

El primer cinturón sería el que contiene depósitos de edad jurásica, los encontramos en el distrito minero de Zamora al Sur de la Zona Subandina, emplazados principalmente en terreno continental y asociados principalmente con la intrusión del Batolito de Zamora. El segundo cinturón metalogénico es del Terciario Tardío (Mioceno) donde se encuentran emplazados los principales pórfidos (Junín, Balsapamba-Telimbela, Chaucha), asociados a pulsos finales de sistemas intrusivos terciarios y a este cinturón se encuentran relacionados los distritos mineros de Azuay, El Oro, además del distrito Imbaoeste el mismo que se ubica al Norte de la Cordillera Occidental (Chiaradia et al, 2005; Schutte, 2010).

1.7 DESARROLLO DE ESTE TRABAJO.

El presente trabajo consta de siete capítulos, los mismos que a continuación se detallan:

Capítulo 2. En este capítulo se presenta el marco geológico regional, detallando las principales unidades litológicas que se encuentran aflorando al Norte en la Cordillera Occidental entre los 0° y 1° N, también describiendo las estructuras tectónicas más representativas y la evolución geológica comprendidas en las mismas latitudes.

Capítulo 3. Se presenta en detalle la geomorfología de la concesión Cascabel, las unidades litológicas que se han encontrado, describiendo ocurrencia y petrografía, observados tanto en afloramientos, muestras de mano y láminas delgadas, así también se describen las principales estructuras y se plantea una evolución del área de estudio. Tanto la litoestratigrafía como las estructuras son presentadas en el mapa geológico que se encuentra anexo a este documento.

Capítulo 4. Este capítulo presenta los principales conceptos de alteración hidrotermal, así también los diferentes minerales de alteración y las facies de alteración hidrotermal presentes en el área de estudio, identificadas por medio de observaciones de campo, láminas delgadas y espectroscopía de alta resolución gracias al uso del equipo TerraSpec. Se presenta un mapa de alteraciones de la concesión Cascabel que se encuentra como anexo al proyecto de titulación.

La mineralización presente en la concesión Cascabel es descrita en este capítulo, gracias al estudio de secciones calcográficas, describiendo su ocurrencia y forma de aparición en las rocas de la zona de estudio.

Capítulo 5. Se propone la interpretación de la evolución de la mineralización-alteración presente en el área de estudio basada en los resultados obtenidos en los capítulos 4 y 5.

Capítulo 6. Se redactan las conclusiones y recomendaciones que se han generado a lo largo de la realización de este trabajo.

Bibliografía. Se incrementan la lista de referencias utilizadas durante el desarrollo de este proyecto de titulación.

CAPÍTULO 2

MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

2.1 INTRODUCCIÓN.

A continuación se enmarca a la concesión minera Cascabel dentro de un aspecto geológico regional, describiendo la litoestratigrafía, estructuras geológicas, mineralización y la historia geológica de las formaciones que se encuentran dentro de la zona norte de la Cordillera Occidental entre 0 - 1°N y que circundan a la concesión Cascabel.

El Ecuador se encuentra conformado principalmente por terrenos alóctonos acrecionados al margen continental (Aspden & Litherland, 1992), este es el caso de las Cordilleras Real y Occidental.

Regionalmente la concesión minera Cascabel se encuentra ubicada en la parte norte de la Cordillera Occidental, la misma presenta una geomorfología característica de zonas andinas, con geomorfas irregulares y escarpadas, siendo esto producto de procesos tectónicos tanto compresivos como extensivos.

Las rocas más antiguas de la Cordillera Occidental afloran cerca a la falla Pallatanga y corresponden a la Formación Pallatanga (Ver Figura 2.1). Al Oeste de la falla Pallatanga afloran rocas sedimentarias que corresponden a la Unidad Pilatón de edad Cretácico Superior junto con secuencias de arco de islas intraoceanico que sobreyacen a rocas del plateau. Arcos de islas continentales (Silante y San Juan de Lachas) relativamente más jóvenes (Oligoceno-Mioceno) junto con sedimentos marinos se encuentran sobreyaciendo a las formaciones antiguas del Cretácico en la parte norte de la Cordillera Occidental (Vallejo, 2007).

La falla Toachi de carácter dextral presenta una dirección preferencial NE y cruza el batolito de Apuela-Nanegal. A través de esta falla se puede observar una cierta lineación de intrusiones terciarias en la parte Norte entre 0 y 1° N (Vallejo, 2007), siendo la concesión Cascabel, también atravesada por esta falla.

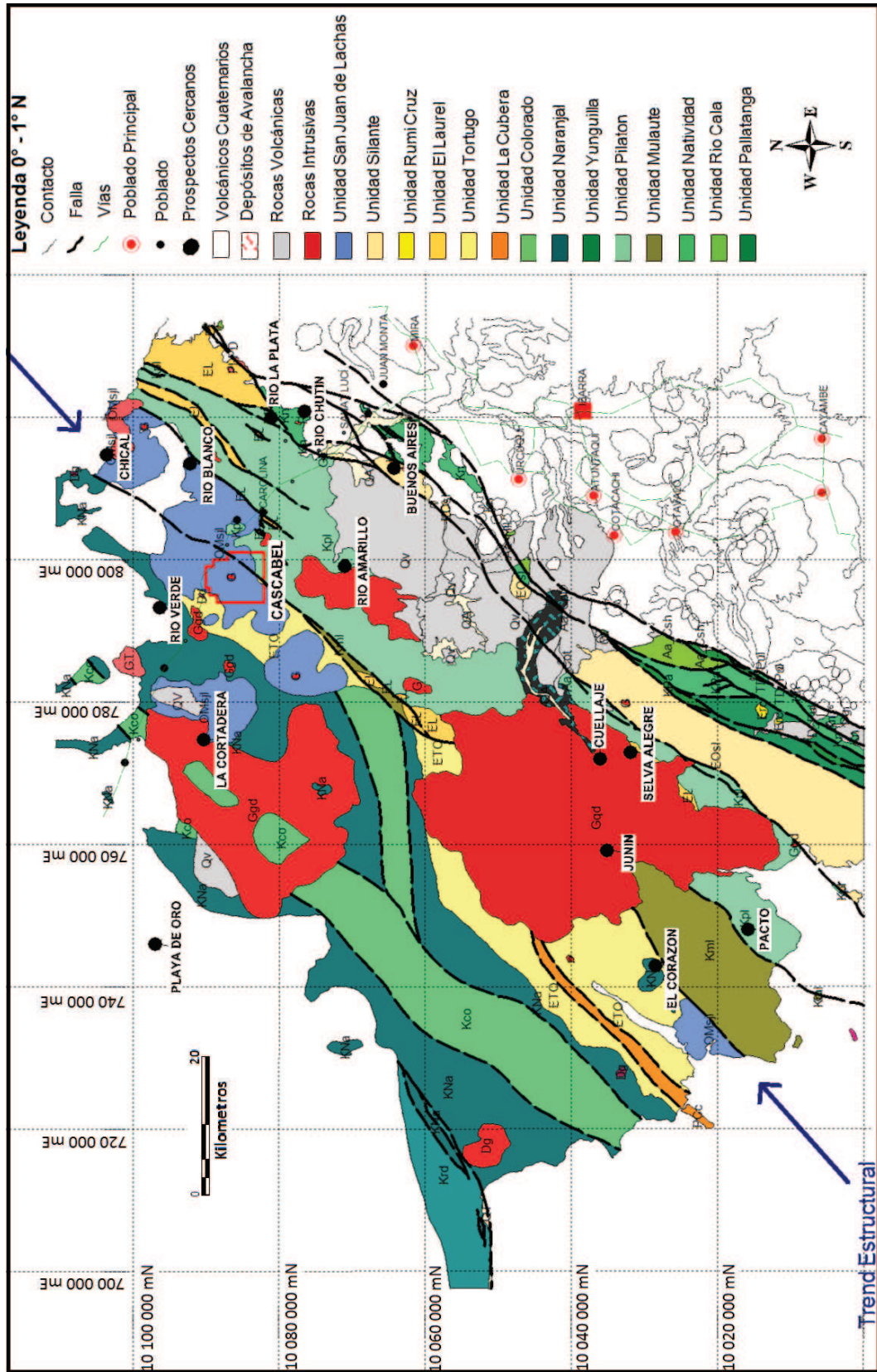


Figura 2.1. Geología regional de la Cordillera Occidental entre 0° -1° N mostrando el cinturón en el que se encuentra el prospecto Cascabel (Modificado de Boland et al., 2000).

2.2 LITOESTRATIGRAFIA.

La Cordillera Occidental del Norte de los Andes de Ecuador se encuentra constituida por terrenos alóctonos, incluyendo fragmentos ofiolíticos (Feininger y Bristow, 1980; McCourt et al., 1984; Megard y Lebrat, 1987), los cuales fueron acrecionados al margen de Sudamérica desde el Cretácico Medio a Tardío (Egüez, 1986, Van Thournout, 1991, Spikings et al., 2005).

A continuación se describen las principales unidades y formaciones litológicas que se encuentran entre 0°-1° N (Ver Figura 2.1), las mismas que se ubican alrededor de la zona de estudio.

2.2.1 UNIDAD PALLATANGA (K_{PA})

Definida por McCourt et al. (1997); consiste en pillow basaltos, doleritas y hialoclastitas con afinidades de N-MORB y P-MORB, lo que indica corteza oceánica y plateau (Kerr et al., 2002).

Hasta ahora Pallatanga no ha sido datada radiométricamente debido al alto grado de alteración de las rocas (Vallejo, 2007), sin embargo dataciones en gabros y peridotitas de San Juan (estas se encuentran localizadas al Oeste de Quito y son interpretadas por Lebrat et al. (1987), como un fragmento desmembrado de la Unidad Pallatanga) por el método de Sm/Nd en anfíboles dan una edad $\sim 123 \pm 13$ Ma. (Reynaud et al., 1999).

2.2.2 UNIDAD RIO CALA (K_{RC})

Esta unidad fue definida por Boland et al. (2000) y su aparición se encuentra limitada a la zona norte de la Cordillera Occidental entre 0°–1°N. Consiste principalmente de lavas masivas basálticas a andesíticas, brechas volcánicas y en menor proporción areniscas volcanoclásticas (Boland et al., 2000; Vallejo, 2007).

Dataciones radiométricas no han sido realizadas, sin embargo una edad inexacta por el método de $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ en un piroxeno da una edad $\sim 66.7 \pm 7.16$ Ma., la cual es interpretada como la edad de cristalización (Vallejo, 2007).

2.2.3 UNIDAD NATIVIDAD (K_N)

Definida por Boland et al. (2000) y corresponde a una secuencia sedimentaria que consta de areniscas turbidíticas, lodolitas, cherts con intercalaciones de lavas y tobas de composición basáltica. Basados en fauna foraminífera (*Hedbergella monmouthensis*, *Osangularia navarroana*, *Osangularia cordieriana*), la Unidad Natividad fue depositada durante el Campaniano- Maastrichtiano (Wilkinson, 1998).

2.2.4 UNIDAD MULAUTE (K_{ML})

Hughes y Bermúdez (1997) definieron la Unidad Mulaute como una secuencia mezclada de volcanosedimentos que presentan turbiditas estratificadas de espesor medio, pasando a rocas volcánicas primarias, incluyendo andesitas basálticas, tobas y brechas volcánicas que dominan la secuencia. La presencia de abundante epidota, pumpellyita y clorita en las rocas volcánicas sugiere que estas rocas han experimentado un metamorfismo de bajo grado.

Edades de acuerdo a fauna no han sido determinadas, sin embargo, dataciones K/Ar en hornblendas de dioritas que intruyen a la unidad presentan una edad aproximada de 48.28 ± 0.55 Ma. (Hughes y Bermúdez, 1997).

2.2.5 UNIDAD PILATON (K_{PL})

Unidad definida por Egüez (1986) se encuentra compuesta por areniscas turbidíticas, ricas en fragmentos volcánicos y microbrechas con líticos volcánicos, lo que hace suponer que estos sedimentos fueron depositados cerca de un centro volcánico de composición básica a intermedia, y posteriormente re TRABAJADOS por flujos turbidíticos de alta densidad (Vallejo, 2007).

Fósiles encontrados en esta unidad presentan una edad de Turoniano a Conaciano, tal el caso de *Inoceramus peruanus* (Faucher y Savoyat, 1973; Reynaud et al., 1999).

2.2.6 UNIDAD YUNGUILLA (K_Y)

La Unidad Yunguilla fue definida por Thalmann (1946), sin embargo es pobremente definida y presenta una controversia debido a la ausencia de contactos estratigráficos con otras formaciones sedimentarias o volcánicas en la Cordillera Occidental. Sin embargo se encuentra en contacto tectónico con las Unidades Pallatanga y Natividad al Este y con la Unidad Silante al Oeste. La litología de la Unidad Yunguilla es altamente variable, sin embargo se ha podido definir como capas oscuras de limolitas masivas, cherts pelágicos, areniscas con buen sorteo de grano fino y calciturbiditas (Boland et al., 2000; Vallejo, 2007).

Varios autores han dado edades en base a fauna fósil encontrada en la formación y todos presentan una edad entre Campaniano Tardío a Maastrichtiano (Vallejo, 2007).

2.2.7 UNIDAD NARANJAL (K_{NA})

Boland et al. (2000) definió a la Unidad Naranjal como una secuencia volcánica de pillow basaltos, lavas basálticas a andesíticas, con pequeñas intercalaciones de sedimentos entre las lavas, además con rocas toleíticas de afinidad de plateau oceánico. Esta Unidad aflora al Noroeste de la Cordillera Occidental entre 0°-1° N y es separada del bloque Pallatanga por la zona de cizalla Mulaute.

Kerr et al. (2002) propone a la Unidad Naranjal como un bloque alóctono diferente al bloque Pallatanga, el cual fue acrecionado en el Eoceno.

La edad de la Unidad Naranjal fue dada por Boland et al. (2000) en base a fauna radiolaria en lodolitas intercaladas entre las pillow lavas (*Amhipyndax pseudoconulus*, *Amhipyndax tylotus*, *Archaeodictyomitra lamellicostata*, *Dictyomitra formosa*, *Dictyomitra kozlovae* and *Xitus grandis*), obteniéndose una edad de Campaniano Tardío.

2.2.8 UNIDAD COLORADO (K_{CO})

Definida por Boland et al. (2000) corresponde a una secuencia compuesta principalmente por limolitas en estratos finos a medios, color gris a verde y

areniscas de grano fino, con una mayor ocurrencia de unidades conglomeráticas de grano grueso al Norte. Los conglomerados contienen lavas basalto-andesíticas vesiculares y clastos de lutitas verdes de grano fino. La Unidad Colorado sobreyace a la Unidad Naranjal y se encuentra preservada como grandes techos colgantes dentro del batolito de Santiago (44-35 Ma.) (Boland et al., 2000).

Una edad de Campaniano fue determinada en base a fauna de radiolaria (*Amhipyndax pseudoconulus- tylotus*) (Boland et al., 2000).

2.2.9 UNIDAD LA CUBERA (P_C)

Esta Unidad fue definida por Boland et al. (2000) y consiste en una secuencia marina de cherts de color rosado, finamente estratificados que pasan hacia arriba a areniscas masivas. La secuencia está en contacto tectónico al Este y al Oeste con la Unidad Tortugo. Una edad de depositación fue determinada en base a fauna de radiolaria, colocando la Unidad en el Paleoceno Tardío (Boland et al., 2000).

2.2.10 UNIDAD TORTUGO (E_{T0})

Unidad definida por Boland et al. (2000) se encuentra compuesta por capas de areniscas masivas de grano grueso, con intercalaciones de lutitas grises y lodolitas de 1m de espesor; los sedimentos de color gris a verde se encuentran silicificados. El límite Este de la Unidad Tortugo se encuentra en contacto fallado a lo largo de la falla Toachi con la Unidad Mulaute en el Sur y con la Unidad Pilatón más al Norte. Las rocas de la Unidad Tortugo sobreyacen a la Unidad Naranjal y se encuentra en un aparente contacto sedimentario.

Una edad de Eoceno Medio a Tardío (50-35 Ma.) para la Unidad Tortugo es indicada por fauna planctónica foraminífera (Boland et al., 2000).

2.2.11 UNIDAD EL LAUREL (E_L)

Descrita por Van Thournout (1991) como una serie de depósitos de grano fino, dominadas por calizas negras con ocasionales lutitas e intercalaciones de areniscas de grano fino.

La edad de la Unidad El Laurel es obtenida a base de fauna foraminifera (*Asterosomalina*, *Ramena*, *Asilina Subpamiri*, *Lepidocyclina Undosa*, *Lithotamnium s.l.*) encontrada en lutitas que se encuentran en la parte superior de la unidad, sugiriendo una edad que va desde el Eoceno Medio a Oligoceno Inferior, lo que sugiere que la Unidad El Laurel puede ser equivalente con la Unidad Rumi Cruz (Van Thournout, 1991).

2.2.12 UNIDAD RUMI CRUZ (E_{RC})

Hughes y Bermúdez (1997) definieron esta Unidad como una serie de conglomerados que yacen disconformes sobre la Unidad Yunguilla, además de lodolitas rojas, areniscas y brechas. Los conglomerados presentan clastos de origen volcánico grises a verdes. La edad de la unidad está dada por la presencia de fauna foraminifera (*Epistomina eocénica*), sugiriendo una edad de Eoceno Tardío a Oligoceno (Boland et al., 2000).

2.2.13 UNIDAD SILANTE (EO_{SL})

La Unidad Silante fue definida como una serie de red beds continentales por Tschopp (1948) y Kehrer and Van der Kaaden (1979), sin embargo Baldock (1982) es el primero en utilizar el término Silante para definir estas secuencias. Hughes y Bermúdez (1997) y Boland et al. (2000) la redefinieron incluyendo andesitas, dacitas e intercalaciones de brechas volcánicas dentro de una secuencia de conglomerados, brechas, areniscas y lutitas de color rojo a púrpura que se derivó de una fuente rica en material volcánico (Red Beds).

Dos muestras de lodolitas recolectadas en el trabajo de Boland et al. (2000) reportan fauna foraminifera (*Bulimina secaensis*, *Globigerina angiporoides*, *Globorotalia munda* y un solo espécimen de *Neouvigerina chirana*), obteniéndose una edad de Eoceno Tardío, sin embargo estas muestras fueron recolectadas a lo largo del contacto fallado entre la Unidad Silante y rocas sedimentarias probablemente del Grupo Angamarca, lo que hace pensar que su edad podría ser del Grupo Angamarca (Vallejo, 2007).

Dataciones por el método de $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ en plagioclasas de las lavas que se encuentran en la Unidad Silante presentan edades que varían desde los $65.68 \pm$

4.36 Ma. a 58.1 ± 3.9 Ma., sugiriendo que las rocas volcánicas de la Unidad Silante fueron depositadas desde el Maastrichtiano Tardío a Paleoceno Temprano (Vallejo, 2007).

2.2.14 UNIDAD SAN JUAN DE LACHAS (OM_{SJL})

Van Thournout (1991) definió a esta unidad como una serie de lavas andesíticas ricas en plagioclasa y hornblenda, junto con brechas y sedimentos. Esta unidad se encuentra caracterizada por brechas masivas soportadas en matriz con ocasionales intercalaciones de lavas y areniscas. Las brechas contienen clastos subangulares de plagioclasa-pirita, lavas rojas-púrpuras en una matriz verdosa rica en feldespato. Los clastos, cuya medida es mayor a 5cm., son generalmente de composición andesítica con fenocristales de feldespato y anfíbol. Sedimentos silíceos, intercalados entre la secuencia, son generalmente masivos y presentan una composición idéntica a la matriz de las brechas; estos sedimentos consisten en granos finos de cuarzo y clorita y son frecuentemente ricos en calcita. La presencia de clastos de feldespato y anfíbol redondeados sugiere que estos han sido retrabajados (Boland et al., 2000).

Edades K/Ar de 32.6 Ma. (Van Thournout, 1991), 36.3 ± 2 Ma. y 19.8 ± 3.1 Ma. (Boland et al., 2000), junto con edades de $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 32.9 ± 1.2 Ma. (Vallejo, 2007), sugieren que la Unidad San Juan de Lachas fue depositada durante el Oligoceno, extendiéndose posiblemente hasta el Mioceno Temprano.

2.2.15 BATOLITO DE SANTIAGO.

La forma principal del batolito de Santiago es de un cuerpo irregular redondeado que se extiende aproximadamente 30 Km Norte-Sur y 10 Km Este-Oeste, con numerosas intrusiones pequeñas relacionadas con el batolito. La intrusión es de grano medio, de composición granodiorítica a tonalítica, presenta una composición mineralógica de cuarzo, feldespato de K, plagioclasas, hornblenda y biotita (Boland et al., 2000).

Edades de entre 42.3 ± 1.7 Ma. a 44.6 ± 1.7 Ma. han sido obtenidas por dataciones radiométricas por el método de K/Ar (Van Thournout, 1991; Boland et al., 2000).

2.2.16 BATOLITO DE APUELA-NANEGAL.

El batolito de Apuela es una intrusión alargada Norte-Sur, cortando la falla Toachi, presentando una longitud de aproximadamente 50 Km y un ancho de 10 a 20 Km. El batolito presenta una composición de cuarzodiorita a tonalita, presentando un tamaño de grano de medio a grueso con hornblenda-biotita (Boland et al., 2000).

El cuerpo principal del batolito presenta una variación de edades K/Ar de 18.5 ± 0.9 Ma. y 16.5 ± 1.1 Ma. (Van Thournout, 1991; Boland et al., 2000). Otras edades han sido determinadas para los intrusivos más recientes relacionados con el batolito de Apuela, intrusivos que se encuentran asociados a fases tardías del batolito, estas fases tardías son las posibles generadoras de la mineralización en el prospecto Junín, presentando edades que varían de 9 Ma. a 6 Ma. (Schutte, 2010).

2.2.17 DEPÓSITOS VOLCÁNICOS HOLOCÉNICOS

Estos depósitos incluyen cenizas y flujos de lava, cuyos centros de emisión se encuentran constituidos por estratovolcanes y domos, siendo sus principales centros volcánicos: Cayambe, Imbabura, Cuicocha, Pululahua, Chachimbiro y Cotacachi. Estos depósitos se encuentran principalmente aflorando al Este del batolito de Apuela-Nanegal.

2.2.18 DEPÓSITOS ALUVIALES

Estos se encuentran principalmente a lo largo del margen de los ríos, producto de la depositación de sistemas de ríos modernos. Son mezcla de depositación de sedimentos de diferente origen, tanto por lahares, así como por los ríos presentes en la zona. Los sedimentos transportados por muchos de estos ríos provienen de centros volcánicos cuaternarios, ubicados al margen este de la Cordillera Occidental (Boland et al., 2000).

2.3 ESTRUCTURAS.

Varios sistemas de fallas regionales ocurren dentro del área entre 0° - 1° N, los mismos que marcan límites tectónicos importantes dentro de la cordillera. El sistema de Falla Pallatanga (McCourt et al., 1997), define el límite estructural

oriental de la Cordillera Occidental y está expuesto como una serie de fallas con orientación NE-SO, al Oeste de Calacalí. El límite entre la Unidad Mulaute y las secuencias más occidentales está definida por la Falla Toachi, que también marca el límite occidental de la Zona de Cizalla de Mulaute (Boland et al. 2000).

Los límites entre las unidades principales se presentan fallados, con solo pocas unidades jóvenes de edad Eoceno a Mioceno, como San Juan de Lachas que presentan contactos sedimentarios originales con las unidades que sobreyace. El patrón de afloramientos de las unidades principales es controlado por una serie de fallas mayores con dirección NE-SO. La naturaleza fallada de estos contactos es frecuentemente un indicativo de zonas de extensa deformación frágil donde se presenta intensa fracturación, en lugares asociados con vetas de calcita. Un ejemplo ocurre entre la Unidad Silante, arriba de 200 m desde el contacto con la Unidad Pallatanga. Deformación cataclástica resulta en el desarrollo de “gouges” de falla y brechas de falla a lo largo de estos contactos. Se presenta un sistema de fallas conjugadas de tendencia E-O, las mismas que exhiben marcadas zonas altamente tectonizadas, transversales a la tendencia de alineamiento regional (Boland et al., 2000).

El sistema de fallas Pallatanga puede ser considerado como la representación de la extensión hacia el Sur del sistema de fallas de Cali-Cauca-Patía de Colombia, presentándose como una serie de fallas con tendencia NE-SO, las que son expuestas en los caminos de Nanegalito y Yunguilla, al Oeste de Calacali. La falla Pallatanga marca el límite estructural de la Cordillera Occidental al Este (McCourt et al., 1984, 1997).

Dos principales zonas de deformación dúctiles han sido identificadas en la zona de 0° - 1° N, las mismas que son: la zona de cizalla Mulaute y la zona de cizalla Naranjal.

La zona de cizalla Mulaute (Ver figura 2.2) identificada por Hughes & Bermúdez (1997) se extiende hacia el Norte y presenta una dirección preferencial NE-SO, mostrando un continuo clivaje pizarroso penetrativo mayor a 8 Km de ancho, desarrollado en general en lodolitas de grano fino y limolitas de la Unidad

Mulaute. Lineaciones de extensión son subhorizontales e indicadores cinemáticos muestran un sentido de desplazamiento dextral (Boland et al., 2000).

La zona de cizalla Mulaute está mejor expuesta entre Santo Domingo y San Miguel de los Bancos, en el área de los ríos Macas y Mulaute. Aquí presenta un ancho de al menos 12 Km de ancho y consiste en una zona de alto esfuerzo tectónico con desarrollo de clivajes penetrativos, entre las cuales hay al menos cinco y posiblemente más, zonas reducidas de deformación dúctil. Estas zonas presentan una dirección N-S y se encuentran moderadamente inclinadas hacia el Este y Oeste.

Lineaciones de extensión se encuentran suavemente inclinadas, indicativo de un componente de movimiento transcurrente, con planos visibles S_1 en rocas del sector. Zonas de deformación dúctil son visibles en el río Mulaute, donde el sentido del movimiento es indeterminado y en el río Macas, donde fábricas de milonitas S-C indican un movimiento dextral (Hughes y Pilatasig, 2002).

Adicionalmente al Este, en sedimentos de granos cuarzosos, en la mitad de las unidades Mulaute y Pilatón, la deformación dúctil tiende a concentrarse en zonas discretas, las cuales son separadas por bloques de rocas no deformadas. Sin embargo lugares con milonita y clivaje penetrativo, se presentan a través de la Unidad Pilatón y hacia el contacto con la Unidad Silante en el extremo este, en una zona de 1 Km de ancho que es expuesta al Norte del río Guayllabamba. Se asume que esta zona de cizalla está relacionada con el mismo episodio de deformación, el cual produce la zona de cizalla Mulaute y luego desarrolla clivaje penetrativo transversalmente sobre un ancho de 25 Km. (Boland et al., 2000).

Más al occidente se encuentra la Zona de Cizalla Naranjal. Esta estructura, anteriormente desconocida, está dentro de la Unidad Naranjal, tiene un ancho de 2 Km. y un rumbo variable y está asociada con la ocurrencia de litologías ricas en anfíbol. El desarrollo de clivaje no es omnipresente, pero ocurre en discretas zonas dextrales de hasta 10m de ancho. Un clivaje penetrativo fuerte, definido por cristales alargados de anfíboles, en un techo colgante grande del batolito de Santiago, puede definir la continuación de la Zona de Cizalla de Naranjal al Norte (Boland et al., 2000).

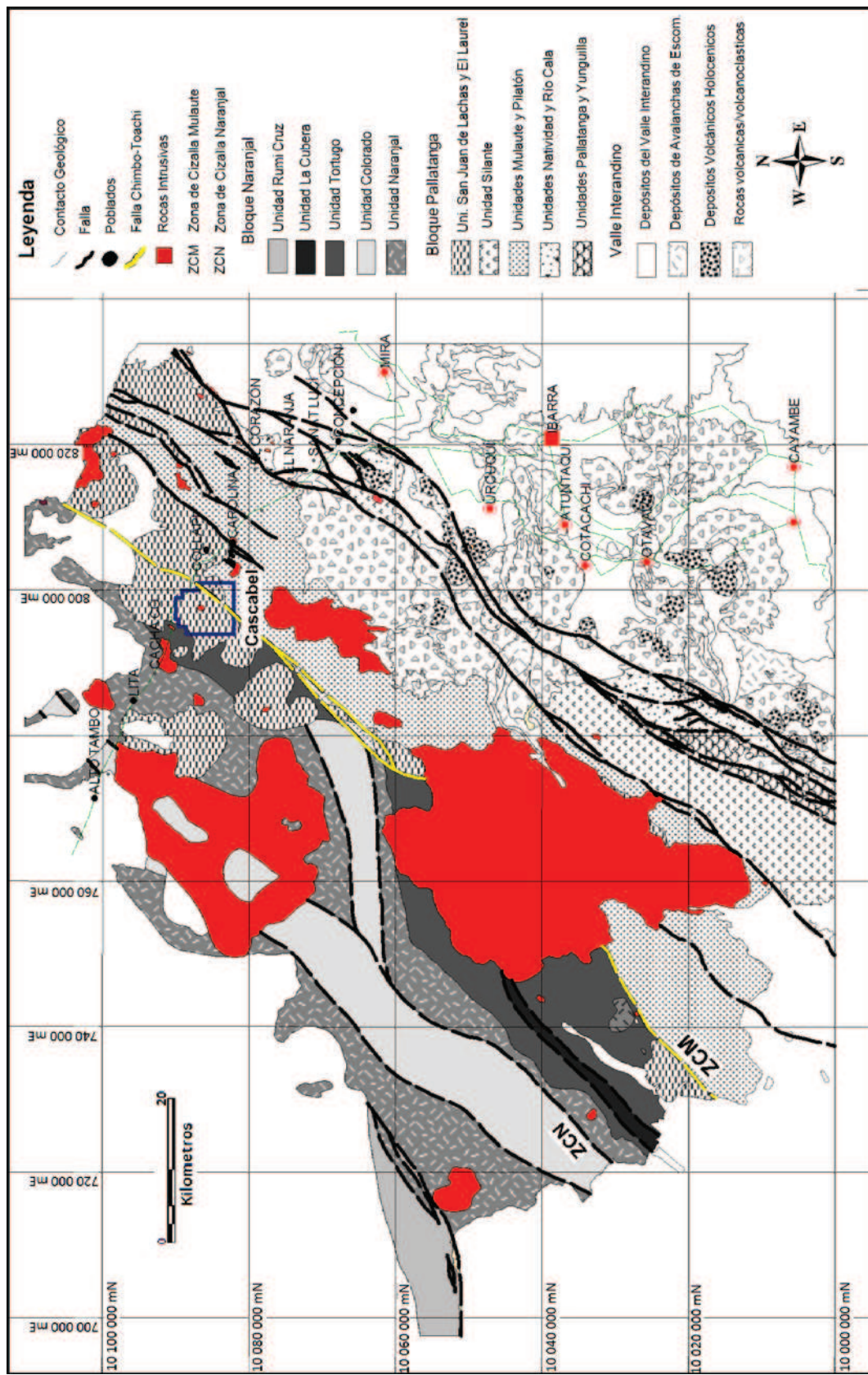


Figura 2.2 Estructuras regionales presentes en la Zona de 0° - 1° N principalmente indicando la zona de cizalla Mulaute (Modificado de Boland et al., 2000).

Se desconoce la edad de la deformación, sin embargo, en este sector de la cordillera debe ser anterior al emplazamiento del batolito de Santiago que no está deformado y tiene una edad de 44-35 Ma. y por lo tanto probablemente se relacione con la Zona de Cizalla de Mulaute (Boland et al. 2000). La ausencia al Norte del batolito de Apuela de ambas, la Unidad Mulaute y la zona ancha de deformación asociada con este contacto es problemática, ya que el batolito de Apuela intruye a la Unidad Mulaute, lo que sugiere que esta zona de cizalla fue anterior al emplazamiento del batolito de Apuela, debido a que el batolito de Apuela no se encuentra deformado.

2.4 YACIMIENTOS MINERALES EN PERSPECTIVA REGIONAL.

Mineralización tipo pórfido y depósitos epi-mesotermiales relacionados con intrusiones de varios tipos, son conocidas dentro de todos los terrenos litotectónicos de la cordillera andina de Ecuador. Patrones de migración basados en las edades de sub-cinturones muestran una progresión hacia el Oeste en la juventud de los pórfidos, desde la sierras sub-andinas cratónicas (Jurásico Tardío a Cretácico Medio) hacia la trinchera de subducción (Oligoceno Temprano a Mioceno Temprano), seguida por una inversión parcial con los pórfidos del Mioceno Tardío, localizados sobre el lado oriental de la Cordillera Occidental (PRODEMINCA., 2000a).

Tres sistemas porfídicos se encuentran en la Cordillera Occidental: Chaucha, Junín y Gaby-Papa Grande que fueron emplazados en el terreno Pallatanga. Chaucha y Junín. Son sistemas porfídicos Cu-Mo de Mioceno Tardío, de tipo plutónico, emplazados dentro de los batolitos calco-alcalinos de Chaucha y Apuela respectivamente. Ambos sistemas están asociados con fallas de segundo orden, de rumbo NE, las que están biseladas o se enlazan a fallas de primer orden, que constituyen los límites de los terrenos (PRODEMINCA., 2000a). Las diferencias entre Chaucha y Junín están mayormente relacionadas con las profundidades de emplazamiento, geometría de los depósitos y la cronología de los eventos (PRODEMINCA., 2000a).

La zona en estudio forma parte del distrito minero Imbaoeste (Ver tabla 2.1). Este distrito está emplazado sobre el terreno litotectónico oceánico Pallatanga al Norte

de 0° 15' S y se encuentra limitado entre las fallas regionales Toachi (Oeste) y Pujilí (Este). La tabla 2.1 describe las principales características del distrito minero Imbaoeste:

DISTRITO IMBAOESTE			
Definición	Área de la parte septentrional de la Cordillera Occidental englobando las minas y prospectos conocidos, relacionados con el batolito Apuela-Nanegal	Rocas intrusivas	El batolito Apuela-Nanegal es emplazado dentro de la Unidad Mulaute y varía en composición entre diorita y cuarzomonzonita, pero está compuesto principalmente de granodiorita-cuarzodiorita y tiene una edad Mioceno Medio-Superior. El batolito aloja pequeños cuerpos y diques de microgranitoides y pórfidos. La Unidad Mulaute también está intruida por dioritas de edades Eoceno Medio a Oligoceno Inferior.
Ubicación	Flanco oeste de la Cordillera Occidental entre los paralelos 0°00' y 0°30' N y las fallas regionales Toachi-Guayrapungu (Oeste) y Pujilí (Este) con límites 78°30'-78°47'E		
Contexto Geotectónico	El distrito está situado dentro del Terreno Pallatanga (corteza oceánica) entre las fallas regionales de Toachi-Guayrapungu y Pujilí. El sistema de fallas Pujilí, el cual correlaciona con la falla Cauca-Patia en Colombia marca el límite oriental de las secuencias, cretácico-terciarias y el margen occidental del Graben Interandino. El sistema de fallas Toachi-Toacazo y Guayrapungu separa el Terreno Pallatanga por el lado NE del Terreno Macuchi situado más al Oeste	Estructura	El distrito está bordeado por fallas regionales de dirección andina. El sistema de fallas Toachi-Toacazo y Guayrapungu enlaza con la falla Pilaló-Sigchos, constituye la sutura entre los terrenos Pallatanga y Macuchi. El sistema de fallas Pujilí delimita el contacto de las secuencias cretácicas-terciarias con los depósitos cuaternarios del Graben Interandino. Un ramal del sistema de fallas Pujilí conecta con la Falla Guayrapungu. Los criterios cinemáticos indican un componente de movimiento dextral. Las direcciones estructurales secundarias determinados por sensores remotos dentro el batolito son juegos de fracturas conjugados en NW-SE y NE-SW. También son importantes las direcciones N-S y EW.
Litoestratigrafía	En el distrito Imbaoeste el Terreno oceánico Pallatanga, caracterizado en el Sur por una asociación ofiolítica de edad pre-senoniense comprende dos unidades (Pilalón y Mulaute) predominantemente sedimentarias. Ambas unidades constituyen una secuencia turbidítica de abanico submarino, pero la Unidad Mulaute contiene más material volcánico y una variedad de facies. Las dos unidades son del Cretácico Medio-Superior (Senoniense). La Unidad Silante es una secuencia autóctona pos-Maestrichtiense de depósitos terrestres ("red beds") muy espesos, de tipo fluvio-lacustre, la cual fue depositada sobre las unidades cretácicas. Las facies y patrones de deposición son típicos de una cuenca ante-país o intramontaña. La depositación fue contemporánea con el Grupo Saraguro más el Sur.	Mineralización	Depósitos porfídicos ej. Junín, Cuellaje, Pacto; skarns cupríferos ej. Selva Alegre; depósitos veteados epi-mesotermales ej. El Corazón.
		Referencias	Mapa geológico de la Cordillera Occidental del Ecuador entre 0°-1° N. Escala 1:200 000, DINAGE (CODIGEM)-BGS(2000); depósitos porfídicos y epi-mesotermales relacionados con intrusiones (ver Volumen 4; JICA-MMAJ, 1996, 1998).

Tabla 2.1 Características principales del distrito minero Imbaoeste (Modificado de PRODEMINCA., 2000a).

En la Cordillera Occidental del Ecuador las mineralizaciones asociadas a pórfidos han sido preservadas localmente; sin embargo, en algunas zonas se puede

observar el núcleo del sistema de pórfido, debido a que las partes superiores del sistema han sido removidas por erosión. Los sistemas de pórfidos están a menudo asociados con intrusivos dispersos que se formaron en las etapas finales de la formación de grandes batolitos (PRODEMINCA., 2000a).

Se han reconocido tres ocurrencias de pórfido de cobre asociadas con el batolito de Apuela-Nanegal. De Noreste a Suroeste son: Cuellaje, Junín y Pacto. También hay skarns cupríferos en Selva Alegre (NE) y mineralización vetiforme aurífera, tipo epi-mesotermal, en el prospecto El Corazón (SO). Los tres depósitos porfídicos siguen una franja de dirección NE-SO y parece que su localización está controlada estructuralmente por una falla. Esta falla secundaria de enlace entre las fallas regionales andinas de movimiento dextral podría tener un carácter extensional (PRODEMINCA., 2000a).

Regionalmente, el proyecto Cascabel (Au, Ag, Cu, Pb, Zn) es parte del cinturón El Corazón-Junín-Cascabel-Chical (Ver Figura 2.3), ubicado en la estribación occidental de la Cordillera Occidental de los Andes Ecuatorianos; esta franja se extiende por alrededor de 100 km en sentido NE-SO y corre paralela unos 25 km al Oeste de la falla Pallatanga (Silva y Rosero, 2011).

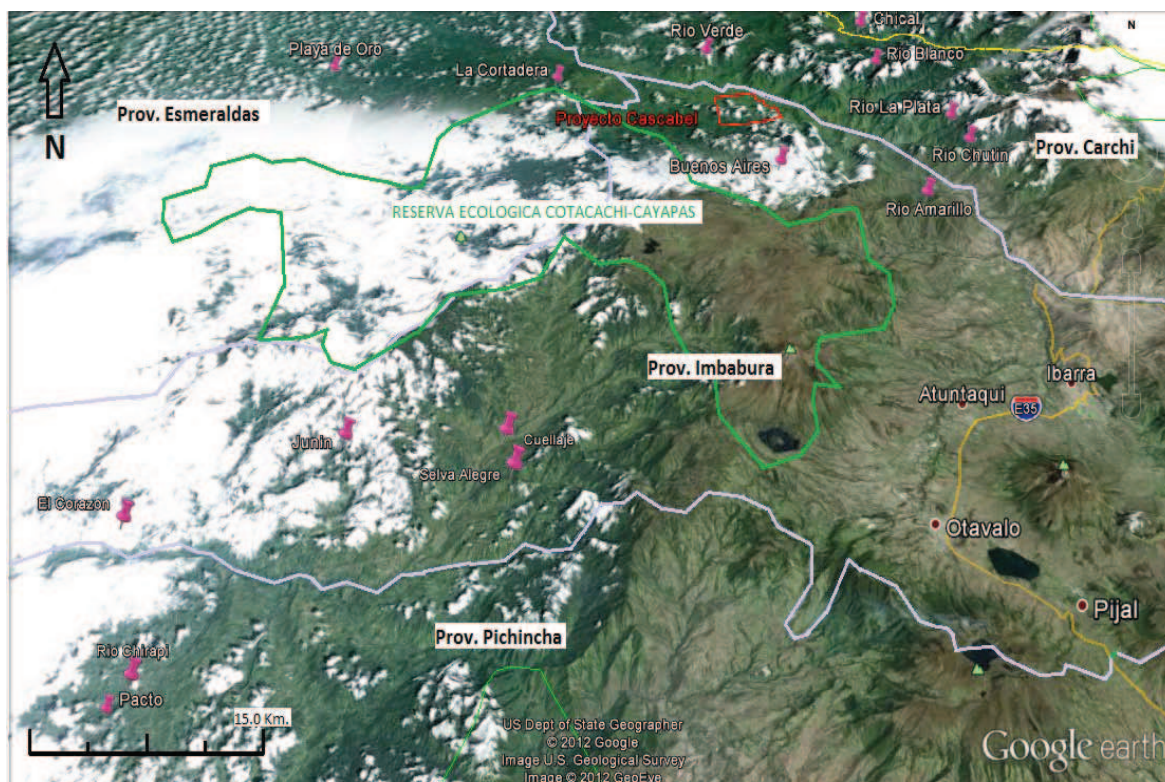


Figura 2.3. Ubicación de prospectos cercanos a la concesión minera Cascabel.

Varios prospectos minerales se encuentran en el mismo cinturón geológico. Los principales son descritos a continuación:

- El prospecto de Junín es un sistema pórfido Cu-Mo (761000mE, 36000mN), que comprende una bien desarrollada zona de alteración fílica-potásica la que se extiende en profundidad hasta 600m, centrada en múltiples diques de pórfido de granodiorita hornbléndica de espesor variable, mostrando una dirección NNE a ENE y una inclinación 45-70° hacia el SE., se encuentra hospedado en el batolito Apuela del Mioceno Medio-Superior, con mineralización principal de bornita, calcopirita y molibdenita. El recurso mineral inferido es de 982 millones de toneladas @ 0.89% Cu y 0.04% Mo (Ascendant Copper Co; octubre, 2005).
- El prospecto de oro en vetas de cuarzo de Pacto (747100mE, 13100mN), presenta vetas y vetillas de cuarzo epitermal, principalmente de dirección N-S a NNO-SSE. Las vetas cortan las rocas sedimentarias silíceas de color oscuro de la Formación Pilatón y se reportan valores significantes de oro de 67-108 g/t Au, (Quri Resources; julio, 2009).
- La mina El Corazón (741000mE, 28500mN) es un sistema de vetas epitermales de Au, Ag, Cu, de alta sulfuración asociado a un pórfido granodiorítico de edad Mioceno. El oro se encuentra hospedado en brechas hidrotermales silíceas de chimenea, presentando vetas de cuarzo, cuya dirección predominante es NO/SE, está caracterizado por anomalías de cobre, plata, arsénico, mercurio y hierro. La alteración principalmente silícea se puede notar en superficie, mientras que en profundidad debido al estudio de núcleos de perforación se pudo identificar alteración sericítica, (Skeena Resources Ltd, 2006). La mina El Corazón actualmente se encuentra en explotación por la empresa Agroindustrial El Corazón a 120 T/D @ 5 g/t Au, teniendo un recurso probado de 350.000 oz de Au (Falconi F, 2012).
- El prospecto Chical (815500mE, 103300mN) es un sistema de vetas epitermales relacionados a un intrusivo rico en biotita de edad Mioceno Tardío. En 1999 aproximadamente una tonelada de material de una veta de cuarzo fue tomada y transferida a Portovelo, donde Saxon implementó una molienda y la recuperación de oro por gravedad. La recuperación por

gravedad promedio 32 g/t de oro. Las arenas restantes promediaron 56 g/t para una calificación total promedio de 88 g/t de oro (Saxon Gold Corp; octubre, 1999).

- El prospecto Cuellaje (774500mE, 38300mE) es una ocurrencia anómala de Pb, Zn, Ag, en el borde sur del batolito de Apuela (Silva y Rosero, 2011).
- El prospecto Río Amarillo (795000mE, 69600mE) es una ocurrencia anómala de Au, Ag, Cu, relacionada a vetas de cuarzo epitermal de baja sulfuración, pórfidos y skarns de Cu; fue explorado por Cominac S.A. (Silva y Rosero, 2011).
- Es conocida la presencia de oro y platino aluvial en los ríos de la planicie costanera de la margen oeste de la cordillera de Toisan. Actualmente se está explotando artesanalmente el aluvial en el río Santiago en la zona denominada Playa de Oro. Mosquera (1949) reporta oro de 0.8 - 3.31 g/m³ y platino de 0.06 g/m³.
- Otro depósito aluvial conocido es el del río Chirapi cerca de Pacto (748000mE, 15800mN), la fuente originaria de este oro se encuentra hospedada en vetas de cuarzo que cortan las areniscas de la formación Pilatón (Silva y Rosero, 2011).

Estructuras locales en el proyecto de Junín muestran una dirección mayor aproximada NE y una de estructuras secundarias NNO, las cuales fueron repetidamente activas pre-, syn-, y post-mineralización y se infiere que tienen un control en el emplazamiento de diques porfídicos por la facilidad de la dilatación local (Micon, 2005a).

Edades de mineralización obtenidas en el pórfido de Junín varían según el método; por el método de U/Pb en zircón arroja edades de aproximadamente 9.01 ± 0.06 Ma, mientras que por el método de Re-Os en molibdenitas las edades varían de 6.13 ± 0.02 Ma a 6.63 ± 0.03 Ma (Schutte et al, 2012). Para el prospecto de Cuellaje han sido determinadas edades de 11.1 a 8.8 Ma en biotitas por el método de K-Ar (Schutte et al, 2010).

Un promedio de estas edades podrían inferirse como posibles para todo el cinturón El Corazón-Junín-Cascabel-Chical, debido a que todos estos prospectos siguen un mismo trend estructural.

2.5 HISTORIA GEOLÓGICA.

Estudios geoquímicos y radiométricos muestran que las rocas más antiguas son probablemente los basaltos de la Unidad Pallatanga, de edad Santoniano, los mismos que muestran firmas isotópicas de N-MORB. Esto es interpretado como que ésta unidad representa un fragmento de piso oceánico o de un plateau oceánico, ya que puede ser correlacionada con secuencias similares que ocurren en Colombia (Kerr et al., 1997, Kerr et al., 2002, Vallejo 2007).

La acreción de la Unidad Pallatanga al margen continental de Sudamérica ocurrió probablemente en el Campaniano, siendo evidencia de esta acreción el reseteo de edades tanto en la Cordillera Occidental así como en la Real, aproximadamente entre los 85-65 Ma. (Spikings et al, 2001, 2005); eventos similares fueron reportados en la Cordillera Central de Colombia por McCourt et al (1984).

La discordancia en el Oriente Ecuatoriano entre las formaciones Napo de edad Albiano-Santoniano y la Tena de edad Maastrichtiano es otra evidencia, probablemente producida por un periodo de levantamiento en el Campaniano (83-74 Ma.), causado por la acreción del terreno de la Cordillera Occidental a la Cordillera Real a lo largo de la sutura, ahora representada por el sistema de fallas regionales Cali-Patia-Calacali-Pallatanga (Aspden et al., 1992)

Otra evidencia sería que durante el Campaniano-Maastrichtiano Tardío, la Formación Tena y la Unidad Yunguilla (formación y unidad coetáneas), fueron depositadas en ambientes continentales y marinos contrastantes respectivamente, a los dos lados de la emergente Cordillera Real. La Unidad Yunguilla, de ambiente marino, fue depositada sobre el recién acrecionado terreno oceánico Pallatanga, mientras que la Formación Tena presenta detritos que fueron erosionados de rocas provenientes de la Cordillera Real (Boland et al., 2000).

Anterior a la acreción del terreno Pallatanga, se da la depositación de la secuencia de arco de islas Río Cala, la misma que es expuesta al Norte de la Cordillera Occidental y que es acrecionada junto con Pallatanga, la misma es definida como una serie de turbiditas volcanoclásticas (formaciones Natividad, Pilatón y Mulaute) que se encuentran intercaladas por secuencias de lavas basálticas. Firmas isotópicas de elementos traza y elementos mayores de facies sedimentarias y volcánicas son típicas de rocas formadas en arcos de islas. Las rocas de arco de islas de la Cordillera Occidental podrían ser temporalmente y geoquímicamente correlacionadas con rocas de arcos de islas del área de la costa, la cuales incluyen a las formaciones Las Orquídeas, San Lorenzo y Cayo, lo que hace pensar que todas estas pudieron ser parte del mismo sistema de arco de islas. (Vallejo, 2007).

Contemporáneamente con la acreción de la Unidad Pallatanga, el arco intraoceánico Naranjal se desarrolla al Oeste y se encuentra relacionado con secuencias sedimentarias marinas de la unidades Colorado y Río Desgracia (Boland et al., 2000).

La acreción del arco Naranjal al Norte de los 0°N se da junto con el terreno Macuchi al Sur. El límite superior de edad para la acreción del terreno Naranjal está dado por la presencia de una serie de granitoides no deformados del tipo I, que intruyen a la Unidad Naranjal y por la presencia de material deformado de esta última en el batolito de Santiago. Las edades isotópicas K-Ar de estos granitoides varían entre 44-35Ma y por lo tanto indican una edad mínima de principios del Eoceno Medio para la acreción del terreno Naranjal. Sin embargo, el límite inferior de este evento, no está bien definido, pero el cambio en la naturaleza de la sedimentación de los cherts del Paleoceno Tardío (pre-acrección?) de la Unidad La Cubera, a los sedimentos ricos en materiales volcánicos del Eoceno Medio a Tardío (post-acrección) de la Unidad Tortugo, podrían explicarse por la llegada del terreno del arco Naranjal, ya que durante la acreción del arco Naranjal, el mismo que fue un arco de corta vida probablemente se formó una cuenca de tras arco, donde se produjo la sedimentación (Boland et al., 2000; Kerr et al., 2002).

Las rocas sedimentarias turbidíticas de la Unidad El Laurel fueron depositadas en la parte norte de la Cordillera Occidental. Las facies de abanicos deltáicos de la Unidad Rumi Cruz son consideradas como una cuña de sedimentación continental durante el Eoceno, documentando la etapa final del cierre de una cuenca y la Unidad Silante podría ser considerada como su probable equivalente lateral. La ocurrencia de lavas calco-alcálicas hacia el tope de la Unidad Silante y la presencia de alta entrada de material volcánico entre la sucesión sedimentaria, sugiere que la depositación entre la cuenca Silante fue contemporánea con el volcanismo en el margen continental (Boland et al., 2000).

La Unidad San Juan de Lachas, del Oligoceno-Mioceno Temprano, también puede representar un componente de este arco, que en términos regionales corresponde por lo menos en parte al volcanismo Saraguro del Eoceno Tardío - Mioceno Temprano, que se encuentra en otras partes de la Cordillera Occidental al Sur de 2°S (Dunkley y Gaibor, 1997; Steinman, 1997). Sin embargo, la posición casi horizontal de la Unidad San Juan de Lachas, comparada con los buzamientos moderados a fuertes registrados en la Unidades Silante y El Laurel, sugiere que la depositación de estas unidades fue separada por un período de compresión regional.

Un gran evento tectónico afectó grandes áreas de Ecuador durante el Eoceno Tardío a Oligoceno. Durante este período de levantamiento de la superficie de la Cordillera Occidental, se generaron grandes levantamientos de tierra, esto es documentado en la parte norte de la Cordillera Occidental, ya que la Unidad San Juan de Lachas del Oligoceno es depositada discordantemente sobre el tope de la Unidad Laurel del Eoceno y sobre la Unidad Pilatón del Cretácico Tardío.

Esta relación presumiblemente concuerda con un gran evento tectónico en el Oligoceno en la Cordillera Occidental, el mismo que produce ejes de foliación N-S en las secuencias pre-Oligoceno de la Cordillera Occidental, y que también podría estar representado en la región costa por un hiato extendido (Luzieux, 2007).

En la cuenca Oriente, sedimentos oligocénicos de la Formación Orteguzza descansan sobre capas truncadas de la Formación Tiyuyacu (Balkwill et al, 1995),

está inconformidad puede ser relacionada con un evento tectónico regional en las adyacentes Cordilleras Occidental y Oriental y regiones de antearco.

Las intrusiones tanto del batolito de Santiago, así como del batolito de Apuela-Nanegal probablemente se dan en edades distintas durante el Terciario y se presentan sin deformación (Van Thournout, 1991; Boland et al., 2000).

El batolito de Apuela-Nanegal cubre un área de 750 km² formando uno de los complejos intrusivos más grandes en Ecuador con una composición cuarzodiorítica, presentando edades K/Ar de 18.5 ± 0.9 Ma. y 16.5 ± 1.1 Ma. (Boland et al., 2000), mientras que el batolito de Santiago es un cuerpo que se extiende aproximadamente 30 Km Norte-Sur y 10 Km Este-Oeste, con numerosas intrusiones pequeñas relacionadas a el batolito. La intrusión es de composición granodiorítica, presentando una composición mineralógica de cuarzo, feldespatos de K, plagioclasas, hornblenda y biotita de edad de entre 42.3 ± 1.7 Ma a 44.6 ± 1.7 Ma. (Boland et al., 2000).

La mineralización a nivel regional probablemente se encuentre asociada a pulsos finales de magmatismo en la formación de los intrusivos que se encuentran en la zona de 0° - 1° N. Se observa además que estos intrusivos presentan una dirección preferencial NE similar a la de la Falla Chimbo-Toachi, por lo que posiblemente estén relacionados con esta falla.

CAPÍTULO 3

MARCO GEOLÓGICO LOCAL

3.1 INTRODUCCIÓN.

En este capítulo se resume los trabajos de levantamiento geológico a escala 1:25000, realizado conjuntamente con el muestreo de rocas y posterior análisis petrográfico de láminas delgadas en la concesión minera Cascabel. Lo cual sirve para un mejor entendimiento, clasificación geológica y disposición espacial de las rocas de la zona de estudio.

Realizado un estudio de fotointerpretación y reconocimiento de campo; se observa que la geomorfología de la concesión Cascabel, es accidentada con una topografía muy irregular y escarpada, debido en primer orden al tectonismo y segundo a la meteorización que ha afectado a la zona.

La concesión Cascabel, se presenta en un marco geológico dominado principalmente por rocas sedimentarias de las unidades Pilatón de edad cretácica y El Laurel de edad eoceno, rocas volcanoclásticas de la Unidad San Juan de Lachas de edad oligoceno, intrusivos miocénicos y depósitos aluviales relativamente jóvenes. Mostrando un claro control tectónico y estructural con dirección preferencial NNO.

Las estructuras que se aprecian en la concesión Cascabel, corresponden a trazos y lineamientos que se desarrollan a partir de las fallas de orden regional NE-SO de carácter dextral, produciendo esfuerzos secundarios en dirección NO-SE y también N-S. En la zona de estudio se observan que estos lineamientos y fallas de encuentran en cruce de estructuras

La evolución geológica del área de estudio se da por eventos de acreción, tectonismo, magmatismo y mineralización; los mismos que han sido los que han dado la configuración actual al área de estudio

3.2 GEOMORFOLOGÍA DE LA ZONA.

La morfología que se observa en el área de la concesión Cascabel es accidentada. Se la puede atribuir principalmente al tectonismo y la meteorización existente en la zona, la misma que se da por factores como: las fuertes precipitaciones que se presentan en la temporada de lluvias y los diferentes tipos de rocas presentes en la zona, principalmente rocas volcanoclásticas, sedimentos y dioritas.

Las formas estructurales debido a la influencia tectónica, pudieron haber sido en primera instancia y hasta la fecha la causa de formación del relieve, sin embargo las geoformas que actualmente se observan en la concesión, probablemente se deban también a la acción de la meteorización de las rocas del sector. Factores antrópicos, como el uso del suelo para el cultivo de productos y la cría de ganado también generan un cambio en la morfología actual de la zona.

El proyecto Cascabel se ubica en el flanco oeste de la Cordillera Occidental y se caracteriza por una topografía muy irregular y escarpada, con un rango de altitudes que varían entre los 750 m y 2100 m sobre el nivel del mar. Se pueden observar de acuerdo a las alturas y rasgos geomorfológicos tres zonas principales: la zona baja al Norte, la zona intermedia central y la zona alta al Sur (Ver figura 3.1).

En la zona baja, al Norte de la concesión, se pueden observar principalmente mesetas y planicies con depósitos aluviales, probablemente asociados a terrazas antiguas del río Mira, que ahora se levantan aproximadamente unos 200m sobre el lecho actual del río. Se observan pocas quebradas y cauces de ríos, posiblemente por la presencia de rocas conglomeráticas poco consolidadas que propician la infiltración de agua, impidiendo la formación de nuevos cauces en la zona.

Esta zona debido a su morfología plana se ve afectada mayormente por factores antrópicos, como el cultivo de productos agrícolas y pastizales para la crianza de ganado.

La zona intermedia, presenta un relieve más pronunciado y ondulado de colinas medias, ligeramente disectadas con cimas redondeadas y laderas de pendiente moderada que aproximadamente varían entre 15 a 30°, con valles poco profundos y amplios. Se presenta un patrón de drenaje dendrítico, el mismo que se dirige hacia la parte baja y se une al río Parambas (Ver figura 3.1).

Se observa un cierto alineamiento de los cauces de las quebradas al Oeste del río Parambas, desde la quebrada Morán hacia la zona baja, presentando cauces paralelos y con una dirección Noreste. Esto podría deberse principalmente al control estratigráfico presente de tobas y brechas volcánicas. Los lineamientos como el del río Cachaco y la parte alta del río Parambas presentan dirección Noroeste, debido a un control estructural que puede ser observado en las estructuras presentes en las rocas intrusivas.

En los sectores donde se encuentran presentes cuerpos intrusivos se observa un relieve redondeado, debido a que presentan un mayor impedimento a la erosión. Por esta razón, procesos gravitacionales como movimientos de terreno se presentan en este sector, pero en una mínima proporción. Esta zona también favorece la agricultura y pastizales para la crianza de ganado de la población local.

En la zona alta, al Sur de la concesión, el relieve se encuentra compuesto por colinas empinadas, con laderas de pendientes fuertes, mayores a 30°, con valles en V profundos, erosionados por ríos dendríticos que confluyen hacia el río Cristal, el cual se dirige hacia el Oeste. En la parte alta del río Cristal, el cauce principal del río presenta forma un poco rectilínea, debido a las lutitas y limolitas arenosas comunes en este sector.

Hacia la parte baja el río Cristal presenta formas de escalón (Ver figura 3.1), probablemente por el cambio de litología y control tanto estratigráfico como estructural. Además se observa remanentes de bosque primario en los valles profundos. Procesos antrópicos como agricultura y ganadería son limitados.

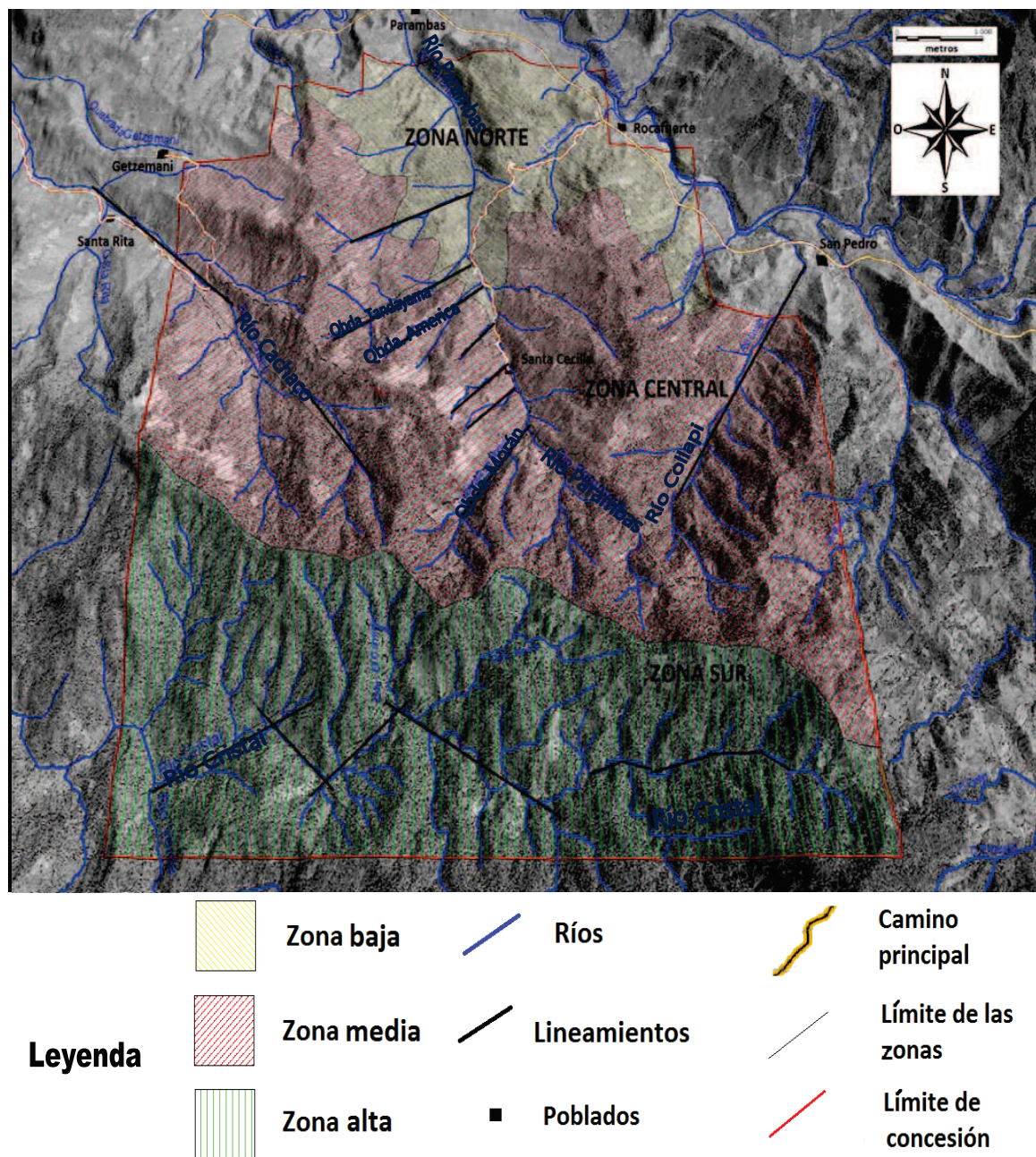


Figura 3.1. Foto aérea mostrando las zonas geomorfológicas, hidrografía y lineamientos observados.

3.3 LITOESTRATIGRAFÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO.

En el marco geológico local se describe a continuación (Ver figura 3.2) las principales unidades litológicas presentes en el área de estudio, identificadas a través de observaciones en campo (Ver Anexo N°2) y fotointerpretación, las mismas que son presentadas en el mapa geológico (Mapa N°1), junto con los sitios de la toma de muestras.

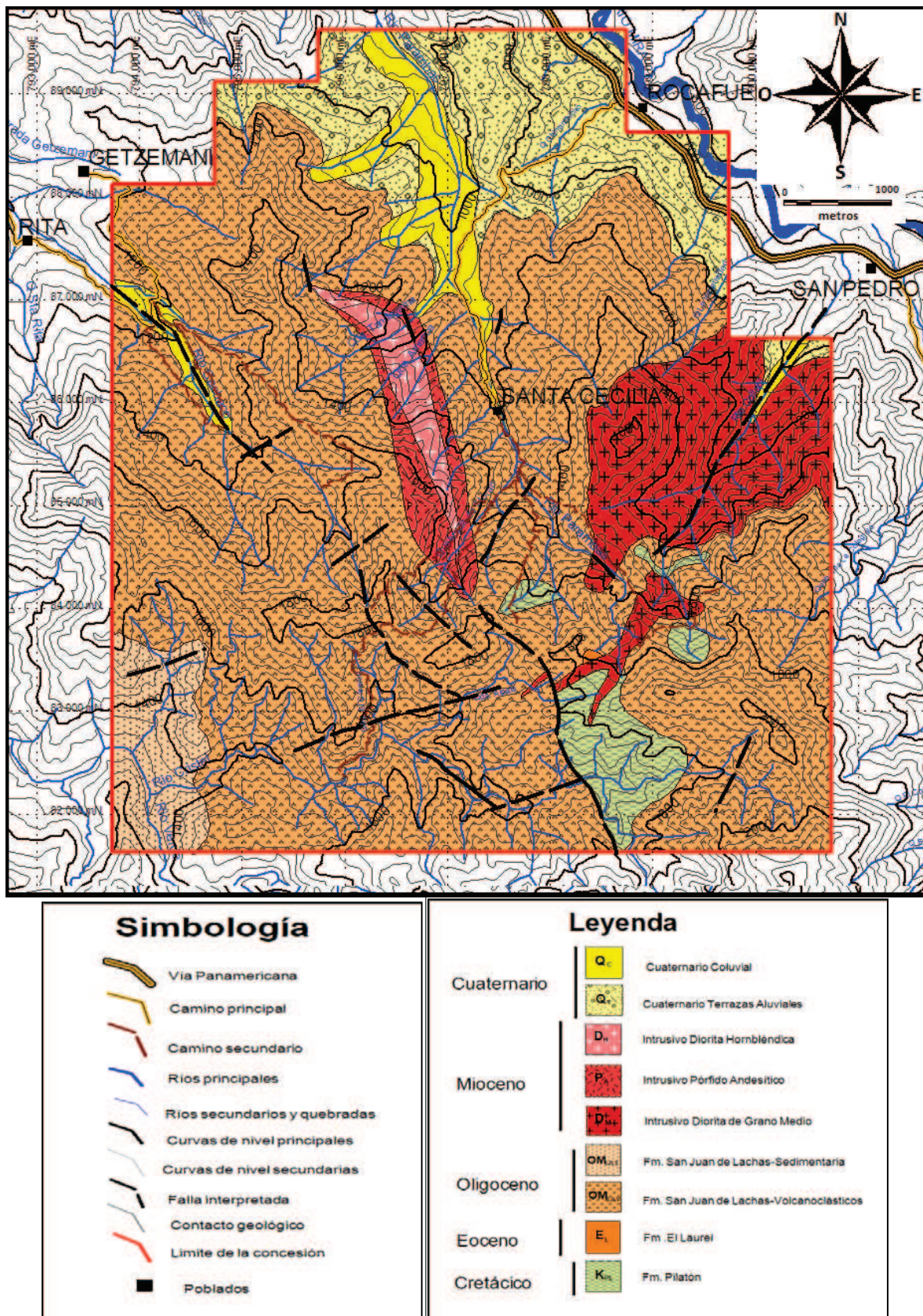


Figura 3.2. Mapa geológico de la zona de estudio mostrando las principales formaciones y estructuras de la zona.

3.3.1 UNIDAD PILATÓN (K_{PL}).

La Unidad Pilatón se observa en la parte alta del río Cristal, al Sureste de la concesión. Consiste en estratos de espesor variable, desde centímetros hasta metros (Ver foto 3.1.a), de lutitas laminadas con vetillas locales de cuarzo, lutitas con stockwork de vetillas de hematita, limolitas arenosas moderadamente oxidadas e intercalaciones de cherts finamente laminados (Ver foto 3.1.b). Estos estratos se presentan fuertemente consolidados y silicificados, sin presencia de materia orgánica, son poco fisibles y son medianamente alterados hidrotermalmente.

Los sedimentos de la Unidad Pilatón de edad turoniano a conaciano, presentan una textura clástica de grano fino. También se observan granos redondeados a subredondeados de lavas andesíticas, debido a que probablemente provienen de tobas primarias retrabajadas, presenta además cierta deformación dúctil y varias estructuras s-c. Las lutitas y limolitas de esta unidad generalmente se presentan silicificadas e intercaladas con cherts.

Las lutitas presentan en general un color verdoso y una composición principalmente de arcillas con granos silíceos, junto con plagioclasa, cuarzo, piroxeno y epidota, además se puede encontrar un poco de clorita, junto con líticos volcánicos de composición andesítica y minerales máficos (Poma, 2012a).

Los cherts presentan un color crema a rojizo con laminaciones finas de sílice gris. La composición total de los sedimentos indica una proveniencia de una fuente volcánica, durante la depositación en una zona de un abanico submarino; muestran un rumbo preferencial NNO y buzamientos suaves al Este.

Los contactos de esta unidad son principalmente tectónicos. Sin embargo, la Unidad El Laurel yace discordantemente sobre esta unidad probablemente con un hiato de sedimentación.²

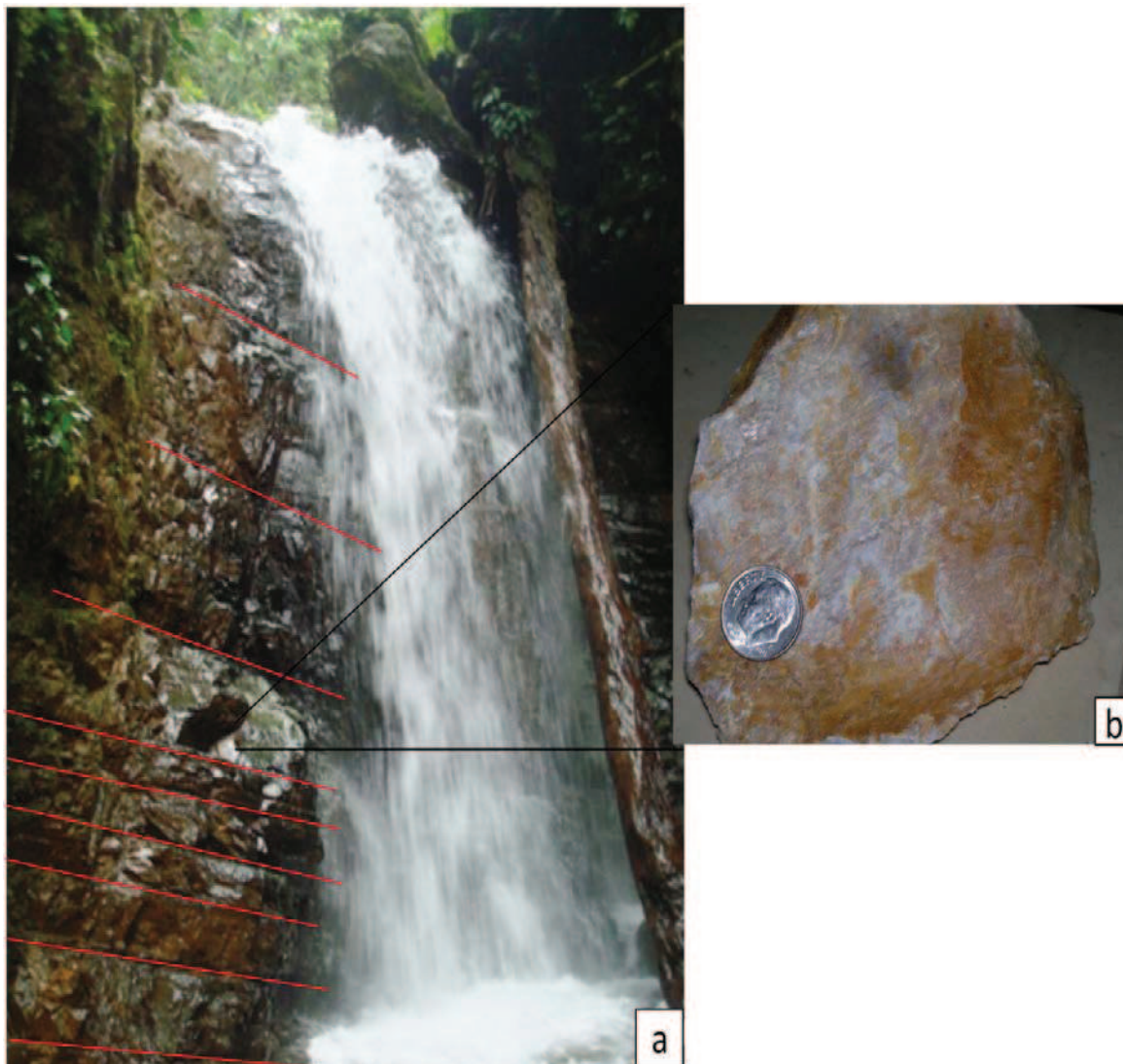


Foto 3.1. a) Afloramiento de lutitas estratificadas intercaladas con cherts en la parte alta del río Cristal; **b)** Muestra FO-055 chert finamente laminado.

3.3.2 UNIDAD EL LAUREL (E_L).

Esta unidad de edad Eoceno Medio corresponde a sedimentos como limolitas y areniscas junto con calizas bioclásticas (Boland et al., 2000), sin embargo dentro de la concesión Cascabel han sido identificadas únicamente calizas bioclásticas.

En la concesión Cascabel se han podido observar cantos rodados de calizas bioclásticas negras, grises y cafés con calcita recristalizada (Poma, 2012a). En la parte alta del río Parambas, (Ver foto 3.2) se observa un afloramiento pequeño, río arriba, donde se forma el río Parambas, así también rodados de calizas son frecuentes en el río Cristal, lo que indica que la Unidad El Laurel se presenta en

pequeños remanentes no erosionados, sobreyaciendo discordantemente a la Unidad Pilatón hacia las partes altas, con un espesor desconocido y sin alteración hidrotermal.

La ausencia de material grueso sugiere que fue depositado en una posición más distal de un abanico submarino profundo. Los contactos no fueron claramente identificados en el campo, sin embargo se observa que se encuentra sobreyaciendo a la Unidad Pilatón y que las unidades más jóvenes cubren discordantemente a esta unidad.



Foto 3.2. a) Rodado de caliza bioclástica con calcita recristalizada encontrado en la parte baja del río Parambas b) Afloramiento de calizas al tope del río Parambas c) Muestra FO-073 mostrando calcita recristalizada.

3.3.3 UNIDAD SAN JUAN DE LACHAS ($OM_{S JL}$).

Definida por Van Thournout (1991) como sedimentos y brechas volcanoclásticas con lavas andesíticas intercaladas, de edad Oligoceno Tardío. Se la puede

observar en afloramientos a lo largo de los cauces de las quebradas y ríos, ocupando aproximadamente el 65% de la concesión Cascabel.

En el pueblo de La Carolina, a 10 Km al Oeste de la concesión, la Unidad San Juan de Lachas se encuentra estratificada sobreyaciendo discordantemente a las unidades Pilatón y El Laurel. Este es un contacto particular debido a que la mayoría de contactos de las unidades presentes en la parte Norte de la Cordillera Occidental, se presentan como contactos tectónicos.

La Unidad San Juan de Lachas, al Sur de la concesión Cascabel, se encuentra en contacto tectónico con las rocas pertenecientes a la Unidad Pilatón. Este contacto es una zona de cizalla de dirección N120 buzando 70° al SO (Falla Central), la cual limita las rocas de la Unidad Pilatón hacia el Este y las rocas de la Unidad San Juan de Lachas al Oeste.

Hacia el centro de la concesión la Unidad San Juan de Lachas se encuentra intruida por un cuerpo porfídico y al Norte se encuentra sobreyacida discordantemente por terrazas antiguas de conglomerados.

En la concesión Cascabel, la Unidad San Juan de Lachas puede ser subdividida en dos subunidades principales: rocas volcanoclásticas y sedimentos.

3.3.3.1 Subunidad Volcanoclástica (OM_{SJLV}).

Esta subunidad consta de: brechas, tobas y lavas. Estas litologías han sido observadas en la parte central y sur de la concesión, sin embargo debido al fuerte tectonismo, alteración y escala del mapeo geológico, no se ha podido definir su distribución espacial.

A continuación se describen los 3 tipos de litologías presentes en esta subunidad.

3.3.3.1.1 Brechas volcanoclásticas.

Son rocas con textura brechosa, en general de color gris a verdoso. Se encuentran compuestas principalmente, por fragmentos líticos angulosos a subangulosos de rocas volcánicas de diferente composición (principalmente andesítica) y diferente textura. Los clastos presentan diámetros de diversos tamaños que van desde milímetros hasta centímetros; la matriz se presenta como

una mezcla de vidrio volcánico con fragmentos liberados de cristales de plagioclasa y piroxeno, con pirita diseminada junto con fragmentos menores, probablemente lavas o trozos escoriáceos.

Esta litología ha sido observada principalmente en las quebradas de Parambas, Morán y Alpala, presentándose combinada junto a tobas y con intercalaciones de lavas.

Los fragmentos volcánicos presentan diversos tamaños (Ver foto 3.3). En lámina delgada se puede observar que los líticos de mayor tamaño corresponden generalmente a andesitas con textura fluidal con bastante piroxeno.



Foto 3.3. Afloramiento de brecha volcanoclástica mostrando los diferentes tamaños de los clastos volcánicos (And=Lítico de composición andesítica).

Fragmentos menores también forman parte de la matriz del depósito, algunos son microvesiculares y corresponden a trozos escoriáceos, con piroxenos, epidota, clorita y algo de cuarzo (Ver foto 3.4).

Tanto en muestra de mano, como en lámina delgada se ha observado que la matriz más fina corresponde a fragmentos de vidrio volcánico, junto con cristales de plagioclasa y piroxenos; además en lámina delgada se observan relictos de cristales de titanomagnetita alterándose a rutilo y goethita.

Muestras de la quebrada Morán (FO-027 y FO-043), en lámina delgada presentan fragmentos detríticos (principalmente de plagioclasa) con cuarzo, albita y en otros casos epidota con clorita. También se observan trozos de piroxeno, asociados a abundantes microcristales opacos probablemente sulfuros (0.1 a 0.3mm).

En lámina delgada se observa que a través de la matriz de las muestras de la quebrada Morán se propagan unas vetillas de origen hidrotermal (0.2 a 1mm de espesor), que se presentan como fracturas difusas, conteniendo cuarzo con sulfuros. El material fino intersticial de la matriz de la venilla es opaco y corresponde a una fina disgregación de magnetita (Ver foto 3.4). La muestra es magnética en estos sectores de la matriz.

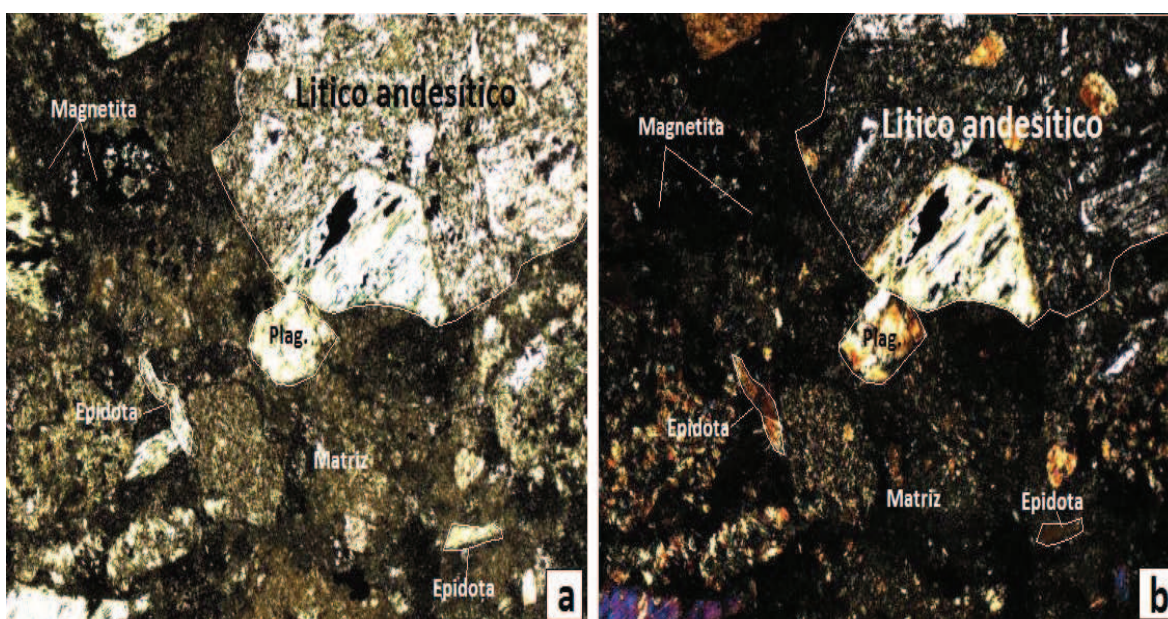


Foto 3.4. a) Muestra FO-027 con aumento 5x14, nicols paralelos, mostrando la relación entre los fragmentos líticos y la matriz, con fragmentos liberados de plagioclasa y piroxeno en la matriz **b)** Muestra FO-027 con aumento 5x14, nicols cruzados, observándose fragmentos de la matriz con epidota y clorita, con la fracción oscura intersticial que corresponde a magnetita.

3.3.3.1.2 *Tobas andesíticas a dacíticas.*

Rocas volcanoclásticas de grano fino de colores cremas, grises y verdosos. Generalmente están bien compactadas y silicificadas, presentando máficos y ojos de cuarzo redondeados a subredondeados con matriz de vidrio volcánico y cristales de plagioclasa y piroxeno, presentan bastante pirita, calcosina y calcopirita diseminada y en vetillas que cortan la roca.

Ciertas muestras presentan texturas fluidales o aspectos de tobas soldadas. Estas se encuentran compuestas principalmente por vidrio volcánico y cristales diseminados de plagioclasa y piroxeno en menor cantidad. También se puede observar la presencia de líticos andesíticos entre la matriz vítrea. La cual presenta cierta desvitrificación.

En lámina delgada, algunas rocas del sector de las quebradas Tandayama y Morán, presentan bastante clorita y epidota. Los líticos tienen formas redondeadas, subredondeadas y algunos subangulosas; se reconocen líticos muy pequeños de rocas andesíticas. Algunas muestras presentan relictos de fenocristales de hornblenda verde y piroxeno, con clorita y minerales opacos, además de cierta presencia de epidota. Se observan algunos fragmentos andesíticos amigdaloidales, con las porosidades ocupadas por clorita y calcita.

En láminas delgadas, la matriz es oscura y presenta ciertos rasgos de flujo (Ver foto 3.5). El material de la matriz es fino y está con clorita y bandas de cuarzo. Contiene fragmentos líticos menores y fragmentos liberados de cristales de plagioclasa y máficos (Ver foto 3.5.a). A través de la matriz, también se observa una diseminación selectiva de minerales opacos (Ver foto 3.5.b), abundantes cristales de titanomagnetita, formando aglomeraciones de 1 hasta 5mm, con una cantidad menor de cuarzo. También están presentes unas estructuras alargadas, que son fragmentos vítreos, siguiendo en cierta forma los rasgos de flujo de la matriz. Además, la presencia de calcita es bastante persistente, ubicándose a lo largo de las bandas de flujo de la matriz.

Vetillas de cuarzo son comunes en las rocas, las mismas que se presenta en forma de cepillos adheridos a la pared y que contiene en sus raíces pequeños cristales finos aciculares de epidota.

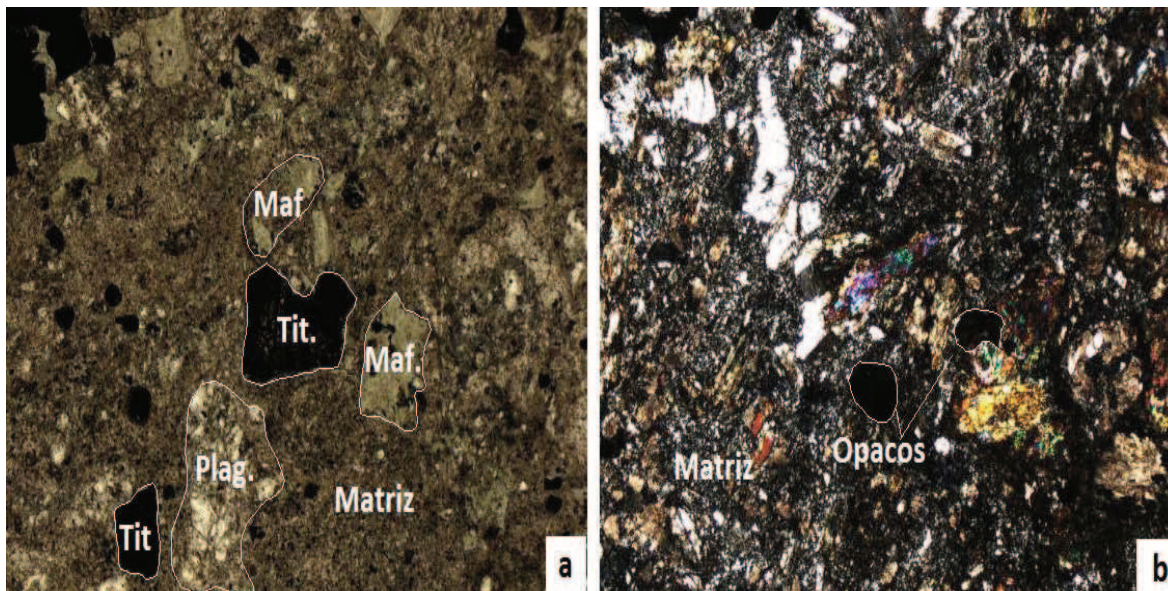


Foto 3.5. a) Muestra FO-053 con aumento 5x14, nicoles paralelos, mostrando la matriz fragmental fina de la roca con relictos de minerales máficos (Maf.), plagioclasas (Plag.) y relictos de titanomagnetita (Tit.). La matriz es fina fluidal y contiene abundante clorita y arcillas. **b)** Muestra FO-048 con aumento 5x14, nicoles cruzados, observándose la matriz de la toba con opacos rodeados de clorita, epidota y una cantidad menor de cuarzo.

En lámina delgada se observa que hacia el centro de las venillas, hay una zona maciza de sulfuros, la cual se encuentra oxidada y que en su mayoría corresponde a calcopirita en contacto con cuarzo y con los pequeños cristales de epidota.

3.3.3.1.3 Lavas basálticas a andesíticas.

La litología corresponde a flujos de lavas de composición máfica a intermedia que se intercalan entre las brechas y tobas. Presentan texturas afaníticas y porfídicas microvesiculares con fenocristales de piroxeno preservados de aspecto fracturado. Se presentan con formas de flujos derramados sobre y entre las tobas y brechas volcánicas. Estas rocas presentan colores generalmente verdosos a grises claros y oscuros, se encuentran con poca alteración propilítica o sin alteración y con rasgos fluidales.

En muestras de la quebrada Tandayama (FO-037), se encuentran relictos ovalados de olivino (0.5-1mm en lámina delgada) reemplazados por esmectitas con clinocloro o clorita magnésica (Ver foto 3.6.c). En menor proporción se encuentran algunos relictos de cristales de plagioclasa cálcica (1-3mm).

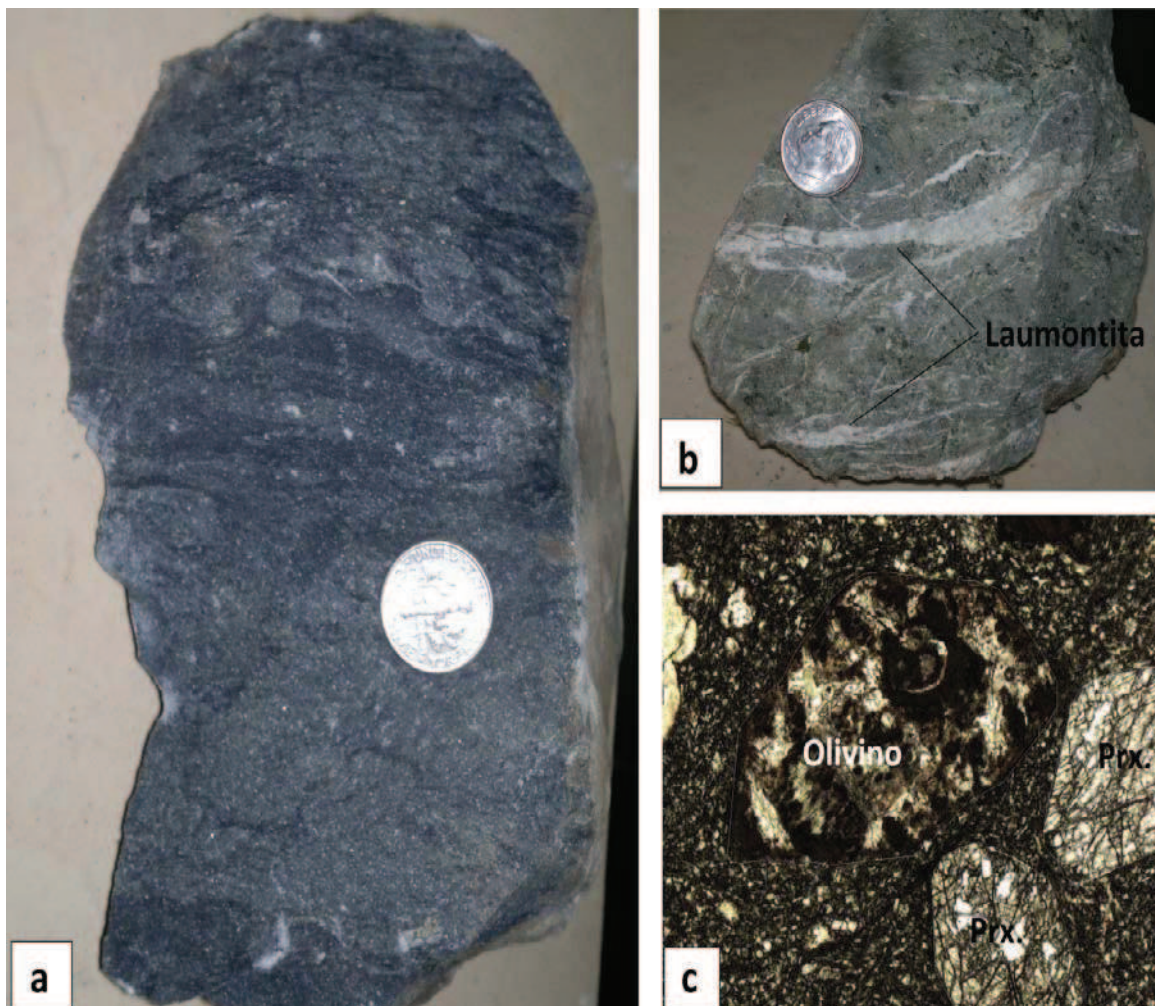


Foto 3.6. a) Muestra FO-052, lava andesítica con textura fluidal b) Muestra FO-037, lava de composición basáltica con vetillas de laumontita. c) Muestra FO-037 con aumento 5x14, nicoles paralelos, observándose el relictos de un cristal de olivino ovalado, reemplazado por una mezcla de esmectitas con clinocloro. Al costado, se observan cristales de piroxeno (Prx.) fracturado, pero sin alteración.

De acuerdo a láminas delgadas se observa que la matriz de las rocas presentan una textura fluidal (Ver foto 3.6.a), presentando vesículas alargadas y ovaladas, con microcristales de plagioclasa, junto a una gran cantidad de cristales de clinopiroxeno sobre un “fondo” de vidrio volcánico, con un poco de clorita y esmectita.

Algunas rocas presentan venillas con bordes finos de albita con cuarzo y parte de la fractura rellena por calcita. Otras fracturas presentan vesículas grandes que están “interconectadas” a unas zonas oquerosas más amplias, observándose un relleno de clorita con epidota gruesa en los márgenes y el centro ocupado por calcita gruesa.

Las rocas basálticas de la quebrada Tandayama presentan en general una red de vetillas subparalelas (Ver foto 3.6.b) (0.5-3cm de espesor), de color blanco. Estas fracturas contienen un margen fino de clorita con calcita y epidota fina, observándose en lámina delgada en el centro agregados gruesos de cristales de laumontita prismática con clivajes octogonales característicos. La laumontita es una zeolita cálcica, que es bastante común en estos ambientes de rocas máficas alteradas.

3.3.3.2 Subunidad Sedimentaria (OM_{SJLS}).

Se observa que aflora en la cuenca baja del río Cristal, al Suroeste de la concesión, y consiste principalmente de arcosas ricas en plagioclasas (Ver foto 3.7) de color crema anaranjado a verdoso en ciertas zonas, estratificadas en ciertos sectores (N340/15°SO), localmente con líticos andesíticos.

Estas arcosas están intercaladas por aparentes estratos de tobas volcánicas de color verdoso.

Alteración propilítica se encuentra presente, sin embargo esta disminuye progresivamente hacia la zona de confluencia con el río Verde, en donde las rocas se presentan casi sin alteración (Poma, 2012b).

Los sedimentos son masivos, de composición similar a la matriz de las brechas volcánicas, presentando granos finos de cuarzo y clorita, con bastante plagioclasa y frecuentemente ricos en calcita. La presencia de cristales gruesos redondeados de feldespatos y otros minerales podría sugerir que fueron retrabajados, sugiriendo una fase más distal.

Estos sedimentos se encuentran sobreyaciendo con buzamientos moderados (15° a 20°) hacia el suroeste a la subunidad volcanoclástica por lo que esta subunidad se la considera más joven.



Foto 3.7. Afloramiento de arcosas ricas en plagioclasa de la subunidad sedimentaria San Juan de Lachas.

3.3.4 INTRUSIVOS.

Estas rocas se encuentran intruyendo a las rocas volcanoclásticas de la Unidad San Juan de Lachas al centro y Este de la concesión y consisten en varios tipos de rocas intrusivas, lo que hace pensar que presumiblemente esta unidad incluye varios pulsos magmáticos, lo que da lugar a la presencia de cuerpos de diferentes composiciones de las rocas observadas en el campo.

Esta unidad presenta hacia el centro un cuerpo alargado con dos diferentes composiciones con una dirección preferencial hacia el Noroeste, mientras que

presenta otro hacia el Este de distinta composición, presentando un cuerpo redondeado. Todas estas intrusiones responden a un mismo control estructural.

Se ha diferenciado algunos intrusivos en función a las diferentes composiciones de las rocas que forman parte de esta unidad. Las mismas que son descritas a continuación.

3.3.4.1 Diorita de Grano Medio (D_M).

Se presenta en la parte este de la concesión, aflorando en gran parte del río Collapi y hacia la parte alta de la quebrada de Parambas. Este intrusivo se presenta como una roca gris oscura de textura fanerítica de grano medio a fino, fuertemente magnética, donde se puede observar bastantes cristales de plagioclasa, piroxeno y hornblenda orientados junto a epidota y clorita.

Diques de similar composición se presentan en forma restringida hacia la cuenca del río Cristal. Es común observar pirita diseminada, además de vetillas con formas de stockwork que contienen cuarzo, pirita y calcopirita.

En lámina delgada los minerales máficos son relativamente abundantes y corresponden principalmente a relictos de cristales prismáticos de hornblenda (Ver Foto 3.8.b), con clorita, esmectitas y calcita. Además láminas de albita, cuarzo y algo de sericita.

Dispersos en la masa fundamental se reconocen algunos cristales de cuarzo y feldespato. Contiene además pequeños cristales tabulares de plagioclasa y relictos de piroxenos con clorita, esmectita y sericita. También se observan cristales opacos diseminados por la roca, que podrían corresponder a magnetita y se encuentran asociados a clorita y epidota entre laminillas de plagioclasa, clorita y calcita.

Esta diorita presenta vetillas con formas de stockwork de cuarzo con pirita y calcopirita (Ver Foto 3.8.a) hacia las afueras del cuerpo y que se extienden también hacia los volcanoclásticos de la roca caja.

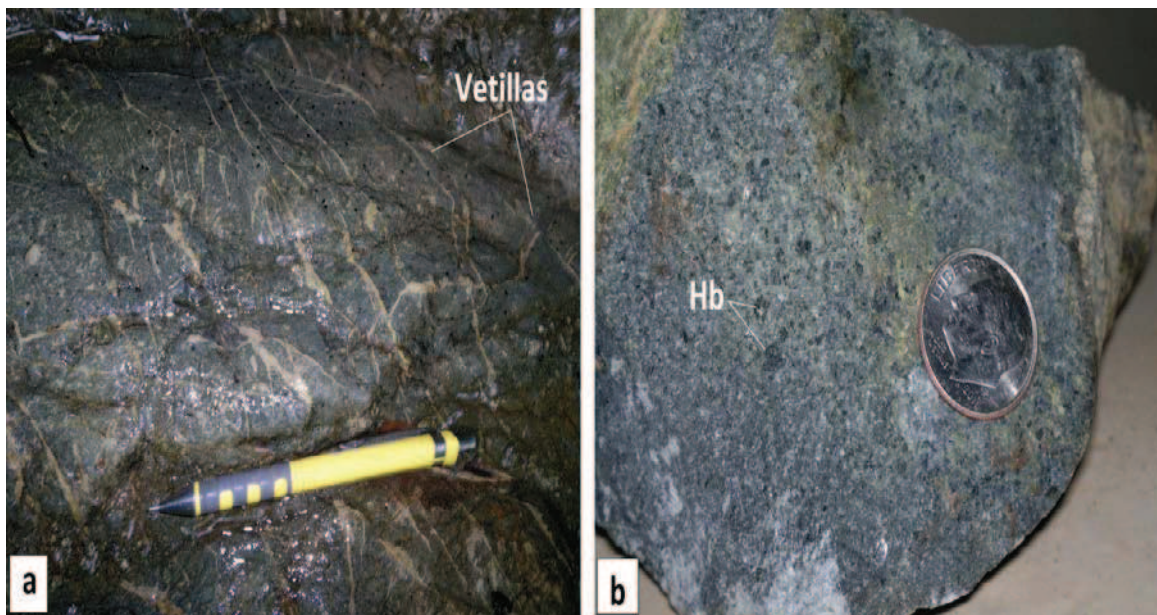


Foto 3.8. a) Afloramiento río Parambas de diorita de grano medio a fino, presentándose una forma de stockwork con vetillas de cuarzo con pirita y calcopirita que cortan la roca. **b)** Muestra FO-054, observándose el tamaño de grano y los cristales prismáticos de hornblenda.

En lámina delgada se observan venillas irregulares ramificadas que cortan la matriz, rellenas principalmente por cuarzo sacaroidal fino junto con cristalitas intersticiales pequeños de feldespato potásico. Además, se encuentran sulfuros rodeados de un margen de epidota amarilla con clorita.

3.3.4.2 Pórfido Andesítico (P_A).

Se ha observado esta subunidad a lo largo de la quebradas Morán y Tandayama (Ver figura 3.1), presentándose como cuerpos de color gris oscuro, intruyendo a los volcanoclásticos de la Unidad San Juan de Lachas. Este pórfido presenta una textura porfídica con fenocristales de piroxeno y hornblenda de aspecto fracturado, exhibiendo en la matriz cristales de hornblenda, piroxeno y plagioclasa, con una red fina de esmectita y trazas de calcita, además de magnetita, por lo que se presenta fuertemente magnética. Presenta stockworks bastante densos e irregulares de vetillas de cuarzo y feldespato potásico con pirita y calcopirita.

En lámina delgada de muestras del sector de la quebrada Morán (FO-012) se puede observar que los minerales máficos son muy abundantes (15%) y

corresponden a cúmulos de cristales de piroxeno con plagioclasas o cristales puros, del orden de 2 a 6mm en lámina delgada. El piroxeno original correspondía probablemente a clinopiroxeno, presentando un grado variable de alteración, debido a su color verde pálido que puede ser por la presencia de clorita y epidota.

También se observa abundante magnetita (0.1-0.5mm en lámina delgada), asociada a los piroxenos. En algunos sectores, se observan también relictos de fenocristales de hornblenda e incluso, algunas hojas de biotita.

La matriz es microgranular con cuarzo y feldespatos, contiene cristales tabulares de plagioclasa pequeños (0.5mm) y relictos de piroxenos con clorita, presenta abundantes opacos diseminados, que corresponden a magnetita, asociados con clorita y epidota. Además, se observan unos agregados de cristales finos tabulares, que correspondían originalmente a biotita de color café anaranjado (ver foto 3.9.b), la cual está siendo parcialmente alterada.

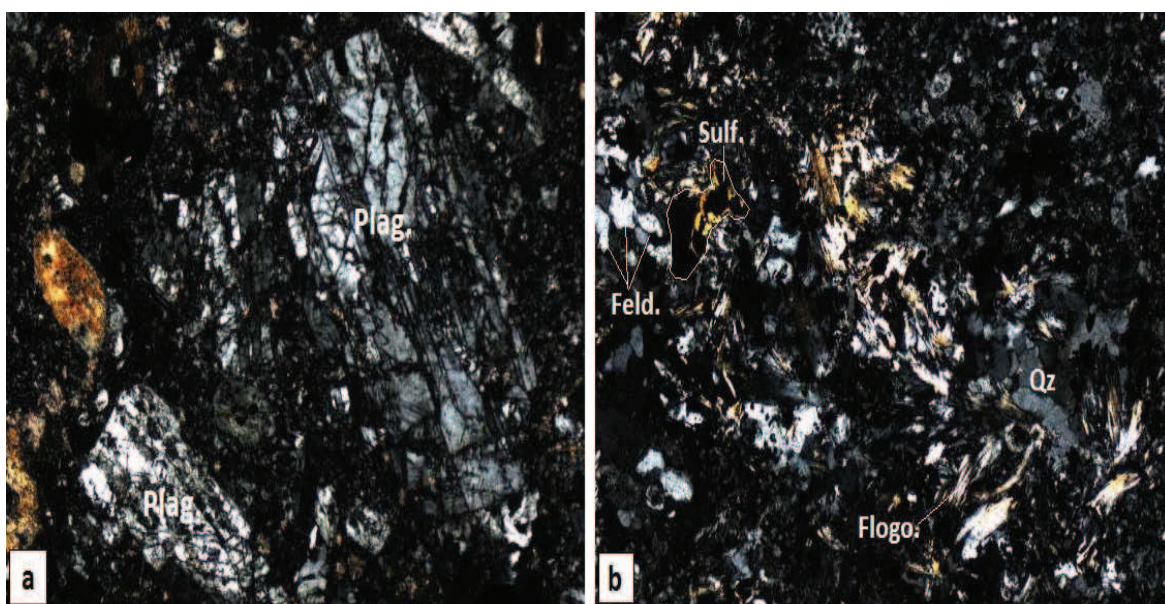


Foto 3.9. a) Muestra FO-012 con aumento 5x14, nicoles cruzados, observándose fenocristales mayores de plagioclasa (Plag.) con aspecto microfracturado. b) Muestra FO-041 con aumento 5x14, nicoles cruzados, mostrando venillas finas con cuarzo, feldespato potásico y unas rosetas de biotita. A la izquierda, se observan pequeños sulfuros rodeados de epidota, de color amarillo intenso.

Las rocas son fuertemente magnéticas, debido a la presencia de magnetita gruesa, asociada a los máficos y la magnetita fina en la masa fundamental.

En láminas delgadas se observa en ciertas muestras del sector de la quebrada Morán (FO-041) venillas irregulares ramificadas que se propagan a través de la matriz y de los fragmentos líticos, del orden de 0.5 a 2mm, rellenas principalmente por cuarzo sacaroidal fino, con cristalitos intersticiales pequeños de feldespato potásico. Además, se encuentran sulfuros (0.2-0.5mm) rodeados de un margen de epidota amarilla con clorita, y algunas láminas remanentes de biotita de tono “anaranjado”. Finalmente en los intersticios se encuentra calcita fina y clorita (Ver foto 3.10).

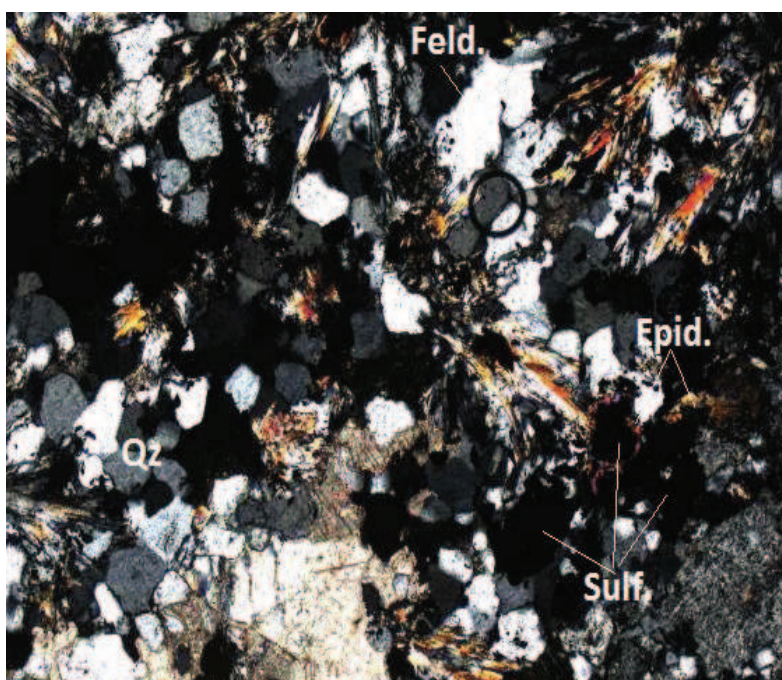


Foto 3.10. Muestra FO-041 con aumento 10x14, nicoles cruzados, observándose en detalle venillas con cuarzo (Qz) sacaroidal, feldespato potásico (Feld.) y sulfuros (Sulf), rodeados de epidota (Epid.). En los intersticios centrales de la venilla se encuentra calcita.

3.3.4.3 Diorita Hornbléndica (D_H).

Se encuentra principalmente al centro de la concesión en las quebradas Morán y Tandayama e intruye al pórfido andesítico (Ver foto 3.11), se presenta de color blanco, de textura pseudoporfídica con fenocristales alargados de hornblenda, en una matriz de cristales pequeños de plagioclasa y piroxenos. Estas rocas se presentan altamente magnéticas debido a la presencia de magnetita gruesa. Este cuerpo intrusivo presenta una cantidad mínima de vetillas de cuarzo.

Su composición varía un poco respecto a las otras intrusivas debido a que contiene “ojitos” de cuarzo y se observan algunos relictos de “books” de biotita (Ver foto 4.13) vistos en lámina delgada, ya que en muestras de mano no se distingue el cuarzo ni la biotita.



Foto 3.11. Diorita hornbléndica (derecha) intruyendo al pórfido andesítico (izquierda), con mayor cantidad de vetillas de cuarzo-magnetita-calcopirita en el pórfido andesítico.

Roca intrusiva epizonal que presenta una textura pseudoporfídica, con ciertos rasgos de flujo. Está formada por cristales de gran tamaño de hornblenda y plagioclasa orientados y algunos de ellos, están en contacto entre sí (20%) (1-2.5 mm en lámina delgada), con maclas, zonación y con una red fina de clorita con esmectitas y calcita.

De acuerdo al estudio de lámina delgada de muestras del sector de la quebrada Morán (FO-042 y FO-046), se observa que los minerales máficos son

relativamente abundantes y corresponden principalmente a relictos de cristales prismáticos de hornblenda (8%) (1-3mm), también se observan agregados de clorita con láminas de plagioclasa, cuarzo y cierta sericita con calcita. También se observan cristales gruesos de apatito que se conservan en algunos núcleos. La hornblenda presenta un color pardo-verdoso correspondiente a su aspecto original (Ver foto 3.12.b). Se observan minerales opacos y trazas de epidota. Además, algunos “books” de biotita (Ver foto 3.13.a) (2-3%), con clorita, agujitas de rutilo y láminas de calcita.

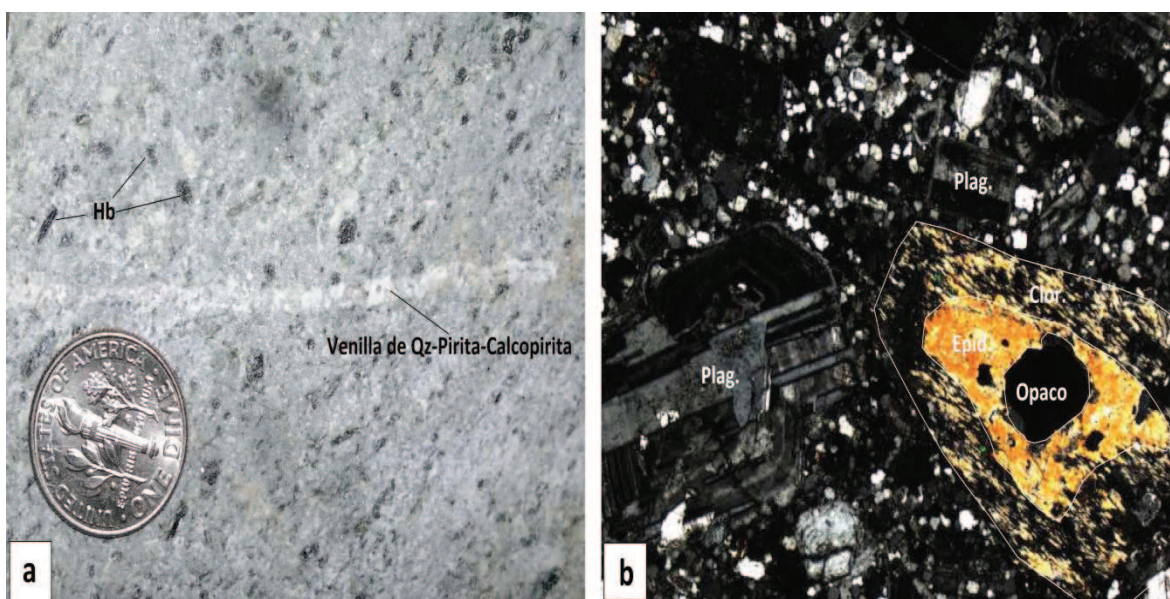


Foto 3.12. a) Muestra FO-042, diorita con textura pseudoporfídica con cristales de hornblenda (Hb) y venillas de Qz. b) Muestra FO-042 con aumento 5x14, nicoles cruzados, observándose el aspecto de la textura pseudoporfídica, con cristales orientados de plagioclasa (Plag.), de aspecto relativamente fresco, junto a la forma de un cristal de hornblenda (sector derecho), con el margen de clorita (Clor.) y epidota (Epid.) con sobreimposición de opacos en el núcleo.

Dispersos en la masa fundamental, se reconocen “ojos” de cuarzo (3-4%) (0.5-2mm) (Ver foto 3.13.b). Las fases intersticiales contienen plagioclasas tabulares orientadas (0.2-0.5mm en lámina delgada), máficos finos con clorita y sericita, sobre un agregado fino de cuarzo y algunos pequeños “ojitos” de cuarzo corroídos con feldespatos potásicos (Ver foto 3.13.b).

En la muestra FO-046 se observa en lámina delgada que alrededor de los máficos hay relictos de titanomagnetita (0.2-0.5mm), alterados a óxidos de titanio y hierro, en torno a los cuales han precipitado magnetita y otros opacos. Se observa

apatito y “laminillas” de biotita y venillas delgadas de clorita con sulfuros y trazas de calcita. Además pequeños relictos de cristales de anfíbol y biotita con clorita y epidota, sobre un “fondo” microgranular de cuarzo con feldespato potásico (Ver foto 3.13.a), reconociéndose clorita, epidota y opacos, ubicados alrededor de los máficos.

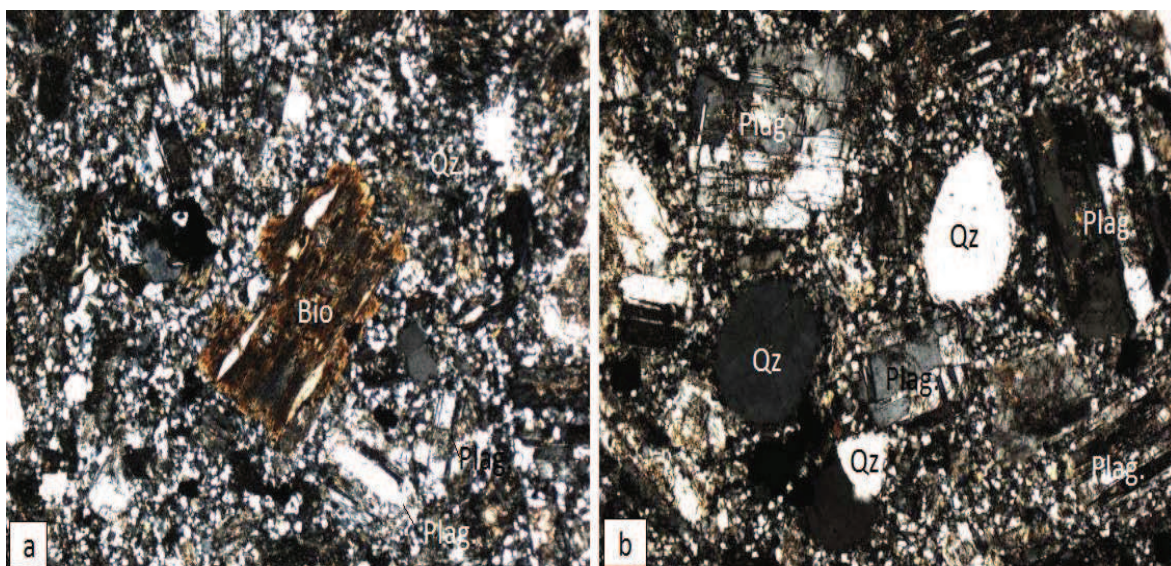


Foto 3.13. a) Muestra FO-046 con aumento 5x14, nicoles cruzados, mostrando el aspecto de la textura pseudoporfídica, que muestra un “book” de biotita (Bio) (1mm), con láminas de calcita. En las fases intersticiales se encuentran plagioclasas (Plag.) tabulares, sobre un “fondo” de cuarzo (Qz) microgranular con feldespato potásico y abundantes hojitas de clorita (sector centro izquierdo). **b)** Muestra FO-042 con aumento 5x14, nicoles cruzados, con cristales tabulares de plagioclase (Plag.), microfracturados, con esmectita. Se encuentran “ojos” de cuarzo (Qz) pequeños y redondeados, que son característicos de este pórfido.

Las muestras FO.042 y FO.046 presentan venillas de 2 a 3 mm de espesor, de trazado rectilíneo (Ver foto 3.12.a), con un relleno simétrico por un agregado sacaroidal de cuarzo (0.1-0.5mm), adherido a la pared de la roca, entrecrecido con clorita, que contiene una fase intersticial muy fina de feldespato potásico.

En la parte central de las venillas se observa en lámina delgada que el cuarzo se hace más grueso y tiende a presentar una textura crustificada, encontrándose junto con feldespato potásico. Epidota granular de color amarillo muy intenso, es formada en torno a algunos sulfuros, reconociéndose “rosetitas” de cristales de clorita. En los márgenes de las venillas se observa epidota sobre los máficos adyacentes y también clorita en torno a los opacos. Además, en contacto directo

con los sulfuros, especialmente en una venilla, se encuentran unos cristales tabulares de zeolita de aspecto tabular fino, maclada fina de muy bajo relieve.

3.3.5 DEPOSITOS CUATERNARIOS.

Aflora en toda la parte norte de la concesión y consisten en depósitos recientes de rocas erosionadas en las partes altas y depositadas hacia parte plana de la concesión. Se subdividió esta unidad en dos de acuerdo a su litología.

3.3.5.1 Terrazas Aluviales Antiguas (Q_T).

Afloran en la parte norte de la concesión y consiste en depósitos aluviales antiguos del río Mira, los cuales están conformados por conglomerados semi-consolidados, con matriz soportada de arcillas de color café y cantos redondeados de lavas andesíticas de diversos tamaños, los cuales se presentan en mayor porcentaje (Poma, 2012c).

Estos aluviales presumiblemente fueron parte de terrazas antiguas que se formaron en los bordes del río Mira; en la concesión, estos depósitos alcanzan la cota 1100 msnm aproximadamente y se encuentran depositados discordantemente sobre los volcanoclásticos de la Unidad San Juan de Lachas.

3.3.5.2 Coluviales (Q_C).

Depósitos coluviales recientes se puede observar en los cauces de los ríos y quebradas principales y se extienden hacia la parte baja, al norte de la concesión y consiste de bloques subredondeados a subangulosos de rocas volcanoclásticas y dioritas, probablemente producidos por la erosión proveniente de las zonas altas.

3.4 ESTRUCTURAS DEL ÁREA DE ESTUDIO.

A lo largo de la concesión se han podido observar distintos tipos de estructuras, tales como: fallas, diaclasas y vetas, las mismas que cortan los afloramientos a lo largo de las quebradas y los cauces de los ríos presentes en el sector. En lugares donde afloran rocas sedimentarias se puede distinguir cierta estratificación

presente en las mismas; estructuras como pliegues son poco comunes y no han podido ser observados en el campo.

Realizando un estudio de 144 medidas de fallas, diaclasas y fracturas, tomadas a lo largo de la concesión se puede distinguir que en el sector se encuentran dos direcciones principales de estructuras, NE y NO (Ver figura 3.3).

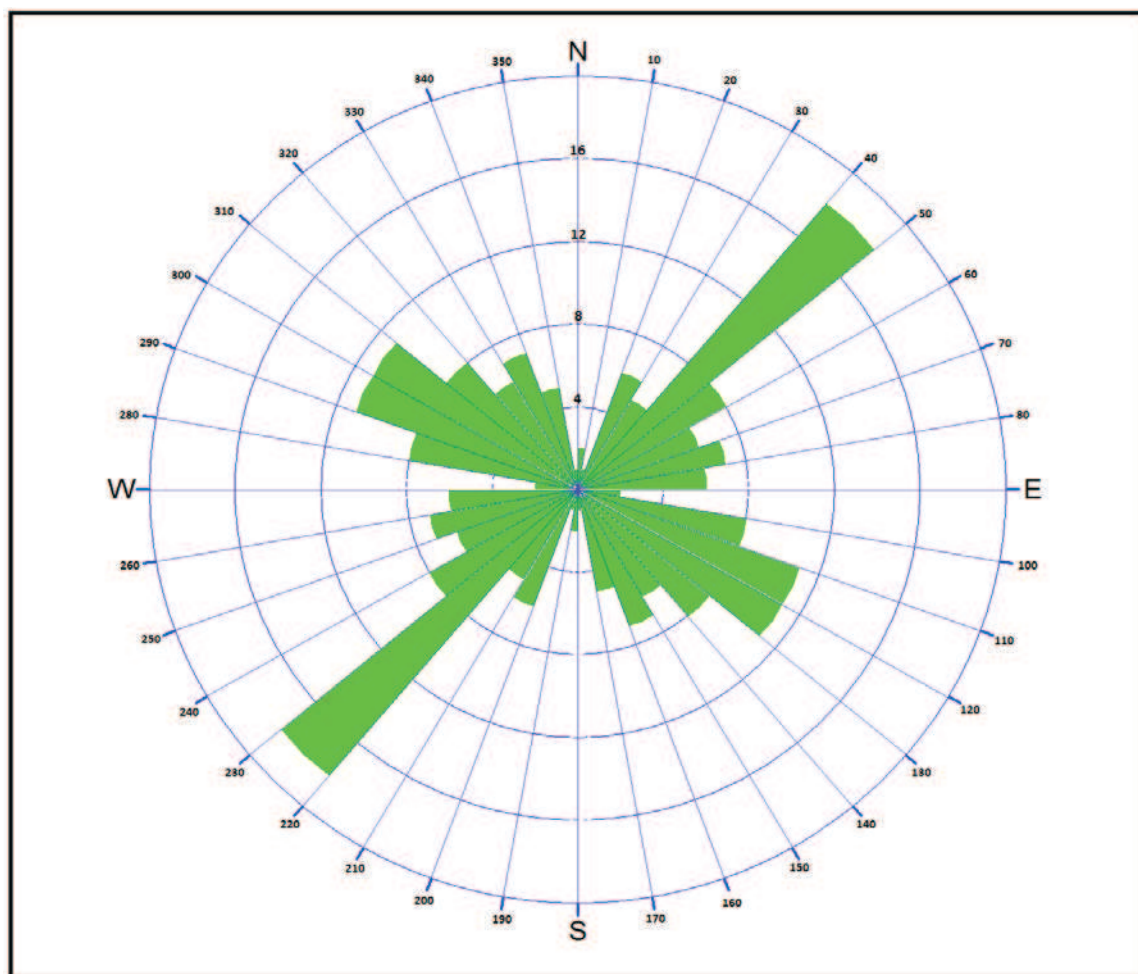


Figura 3.3. Diagrama de rosas, observándose las dos direcciones preferenciales presentes en la concesión Cascabel.

Las estructuras que presentan una dirección NE (entre 40° y 50°), tienen un rumbo paralelo a la falla Toachi con una dirección NE en la zona entre 0 a 1°N de la Cordillera Occidental, la cual según PRODEMINCA (2000) se extiende hacia la concesión Cascabel, la misma que muestra un movimiento dextral. A esta falla está asociada la mineralización tipo pórfido en Junín. Los rocas intrusivas presentes en la parte alta del río Parambas se presentan de forma elongada hacia

el NE, posiblemente se intruyeron a través de este tipo de fallas regionales. Se observa también un lineamiento del río Collapi en esta misma dirección.

Las estructuras presentan una dirección preferencial NNO (entre 300° y 310°), estas podrían ser de carácter distrital. La alteración y mineralización presentes en la concesión están asociadas a este tipo de estructuras. Posiblemente debido a esfuerzos de orden regional sobre la falla Toachi que generan fallas secundarias asociadas, las que posiblemente son las que se observan en la concesión Cascabel. Las unidades intrusivas que se presentan hacia el centro, presentan un alargamiento hacia la dirección NO. Posiblemente estas intrusiones ingresaron por esta zona de debilidad, la misma que podría ser la continuación de la falla central que se observa al Sur (Ver figura 3.3).

La falla Central, parece ser una importante estructura de cizalla con dirección NNO, limitando los afloramientos de la Unidad Pilatón hacia el Este de la cuenca del río Cristal, y los de la Unidad San Juan de Lachas al Oeste. Al parecer se podría extender hacia la quebrada Morán, ya que aquí se ha podido observar milonitas presentes hacia la parte media de la misma. Esta falla probablemente permitió el ingreso de los cuerpos intrusivos de la parte central, los cuales presentan elongación en la dirección NNO.

Otras fallas han sido inferidas de acuerdo a las medidas tomadas en campo y lineamientos observados en fotografías aéreas que siguen una misma dirección; sin embargo, evidencias claras de fallas mayores en la concesión Cascabel, no han podido ser identificadas.

Las estructuras que se observan en la concesión Cascabel (Ver Mapa N°1), corresponden a trazos y lineamientos que se desarrollan a partir de las fallas de orden regional NE-SO de carácter dextral, produciendo esfuerzos secundarios en dirección NO-SE. En la zona de estudio se aprecian estos lineamientos y fallas, los cuales se presentan en cruce de estructuras especialmente en la zona, topográficamente más alta y resistente a la erosión.

Diaclasamiento ha sido frecuentemente observado tanto en las unidades intrusivas, como en los volcanoclásticos presentes en la concesión. Realizando un

estudio con diagramas de frecuencia, se han podido identificar 4 familias de diaclasas que presentan unas direcciones preferenciales hacia el NO, SO, NE y SE con buzamientos casi verticales de entre 80° a 90° presentándose la máxima concentración o la familia más grande con un porcentaje de 5,37 % al SE, reflejando la tendencia general que hay en la zona (Ver figura 3.4).

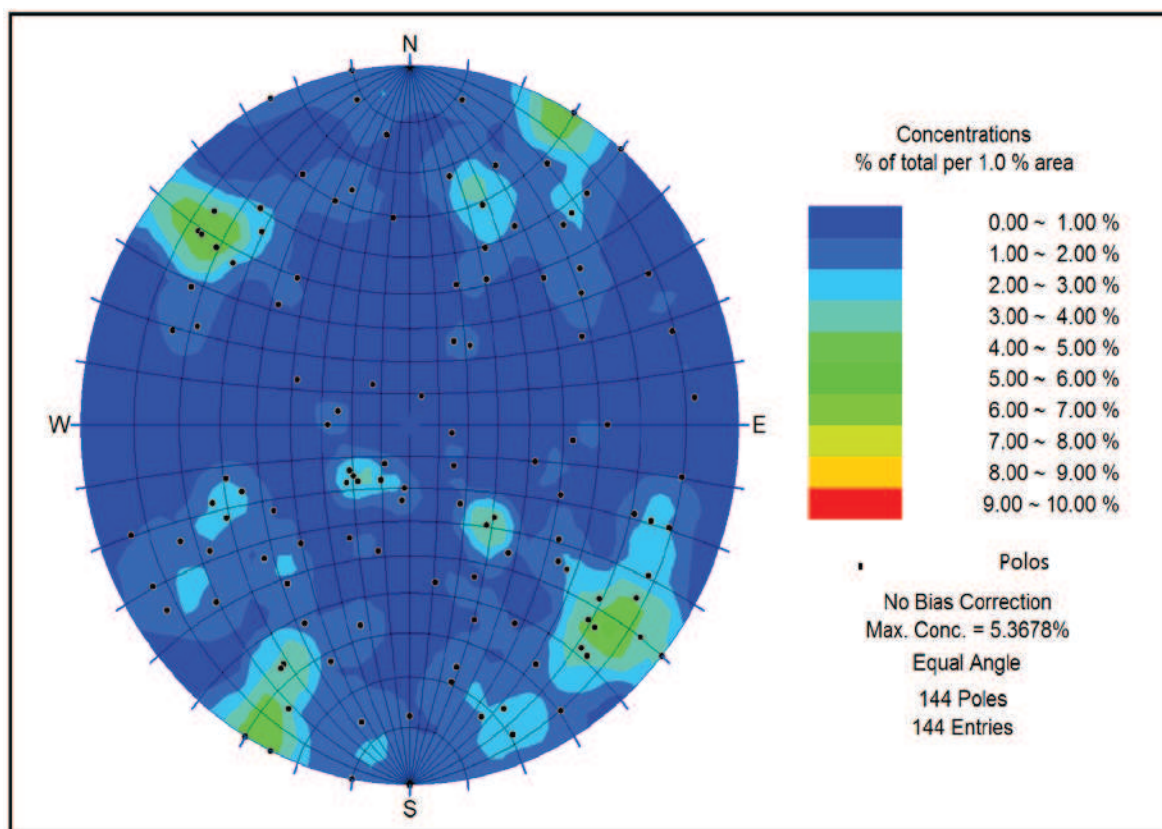


Figura 3.4. Diagrama de frecuencia, observándose las distribución de las estructuras presentes en la concesión Cascabel.

Los esfuerzos principales fueron de carácter regional y corresponden a esfuerzos de dirección E-O, los mismos que probablemente se dieron durante la acreción de terrenos alóctonos hacia el margen sudamericano, produciendo direcciones preferenciales conjugadas NE y NO, con zonas de cizallas y suturas a lo largo de estas zonas de acreción. Estos esfuerzos son confirmados tanto por medidas como por tendencias presentes en la concesión Cascabel.

3.5 EVOLUCIÓN GEOLÓGICA DEL AREA DE ESTUDIO.

La evolución en el área de estudio se presenta ligada a los eventos ocurridos a nivel regional y que se encuentran resumidos en el capítulo 3. Eventos de acreción, tectonismo, magmatismo y mineralización han sido los que han dado la configuración actual al área de estudio.

Junto a la acreción del terreno Pallatanga, el mismo que es el basamento de la Cordillera Occidental presentando una afinidad de plateau oceánico y cuya acreción probablemente tuvo lugar durante el Campaniano, fueron depositadas las rocas volcanosedimentarias de la Unidad Pilatón de edad Senomaniano, las que se consideran contemporáneas con las de la Unidad Mulaute y que probablemente fueron acrecionadas hacia el continente junto con el terreno Pallatanga en el mismo evento.

Erosión y sedimentación del margen continental durante el Eoceno, son representadas por la Unidad El Laurel, la misma que fue depositada en la parte baja más distal de un abanico submarino profundo y que se encuentra sobreyaciendo a la Unidad Pilatón, esta relación también ha podido ser observada cerca a la concesión, en el pueblo de la Carolina.

La acreción del terreno Naranjal que se encuentra al Oeste de la falla Toachi, hacia el margen continental durante el Eoceno (Kerr et al. 2002; Vallejo 2007), posiblemente causó la formación de la falla Toachi, presentando un movimiento dextral. Esta falla cruza por la concesión, siendo probablemente responsable de la presencia del pórfido del prospecto Junín y de la presencia de las intrusiones que se observan en dirección de esta falla.

Volcanoclastos y lavas de la Unidad San Juan de Lachas de edad Oligoceno a Mioceno Temprano, representan la aparición del arco continental de San Juan de Lachas que fueron depositadas sobre las unidades Pilatón y El Laurel.

Posterior al arco continental de la Unidad San Juan de Lachas, la falla regional Toachi presenta actividad, y asociada a esta actividad se forma la falla central que se encuentra al Sur de la zona de estudio.

La falla central provoca que las unidades Pilatón y El Laurel afloren en la zona de estudio, debido a un levantamiento al lado Este de esta falla. Este levantamiento provoca que las unidades Pilatón y El Laurel sufran erosión principalmente está última, ya que hoy en día solo se presenta como remanentes depositados sobre la Unidad Pilatón.

Las unidades Pilatón y El Laurel se encuentran en contacto tectónico con la Unidad San Juan de Lachas al centro-sur de la concesión, limitando las rocas de la Unidad Pilatón y el Laurel hacia el Este y las rocas de la unidad San Juan de Lachas al Oeste.

El magmatismo se encuentra emplazado en zonas de extensión asociadas a la falla Toachi siendo el pórfido andesítico y la diorita de grano medio a fino los primeros pulsos que intruyeron a las rocas de la concesión.

La diorita de grano medio a fino probablemente es parte de la intrusión principal y muestra una tendencia en la dirección de la falla Toachi hacia el Noreste, mientras que el pórfido andesítico tiende a seguir la dirección de la falla central y representa la parte periférica de la intrusión principal. Posteriormente en otro pulso magmático tardío se genera la diorita hornbléndica, la misma que se encuentra intruyendo al pórfido andesítico en el centro de la concesión mostrando la misma dirección.

El pórfido andesítico muestra un denso vetilleo en stockwork de cuarzo con pirita y calcopirita, debido al ingreso de los fluidos hidrotermales por fracturas en la roca, mientras que la diorita hornbléndica se observa intruyendo al pórfido andesítico y con una mínima proporción de vetillas, lo que hace presumible que la mineralización se presenta hacia los pulsos finales de magmatismo relacionado con la intrusión de la diorita hornbléndica.

Edades de las intrusiones y de la mineralización no han sido determinadas, sin embargo correlacionando con Junín y otros prospectos cercanos a la concesión, se puede inferir que las intrusiones se dieron en el Mioceno Tardío y que la mineralización pudo haberse presentado hace 6 a 9 Ma aproximadamente.

Conglomerados asociados a terrazas del río Mira se presentan discordantes sobre la Unidad San Juan de Lachas, así como coluviales que debido a la erosión de las partes altas se encuentran presentes al Norte de la zona de estudio, los mismos que fueron depositados desde el Holoceno hasta el presente.

CAPÍTULO 4

ALTERACIONES Y MINERALIZACIÓN.

4.1 INTRODUCCIÓN.

A través de este capítulo se describe las diferentes facies de alteración hidrotermal por medio del estudio de láminas delgadas, observaciones de campo y análisis de espectroscopía de alta resolución con el equipo TerraSpec discriminando las diferentes asociaciones minerales que integran cada facies de alteración; así también, se presenta una descripción de los diferentes tipos de vetillas que han sido reconocidas a lo largo de la concesión minera Cascabel y los minerales que las conforman.

La mineralización también se encuentra resumida en este capítulo, la misma que conto con el estudio calcográfico de secciones pulidas. Obteniéndose un mejor entendimiento de los procesos hidrotermales que pudieron se parte en la génesis de la alteración y mineralización.

Las alteraciones hidrotermales en la concesión Cascabel, se presentan con un patrón que corresponde al de un depósito de tipo pórfido de Cu-Au, siendo la alteración potásica la que afecta directamente a las rocas intrusivas, con zonas de alteración fílica siguiendo franjas con dirección NO, la alteración argílica intermedia y la alteración propilitica afectan en especial a las rocas volcanoclasticas, esta ultima cubriendo la gran mayoría de la concesión Cascabel.

Varios tipos de vetillas han sido reconocidas, 3 tipos de vetillas tempranas y 3 vetillas tardías, consistentes con un depósito de tipo pórfido de Cu-Au, como es el caso de la concesión minera Cascabel.

La mineralización se encuentra caracterizada, por la presencia de stockwork de vetillas y zonas alteradas con minerales de cobre como son: calcopirita, bornita, calcosina y covellina; así también, se puede encontrar algunas vetillas polimetálicas con esfalerita y galena. El oro nativo se presenta asociado y encapsulado en los minerales de cobre.

4.2 ALTERACIONES HIDROTERMALES.

La alteración hidrotermal es un término general que incluye la respuesta mineralógica, textural y química de las rocas a un cambio, en térmicos químicos y termales, en la presencia de agua caliente, vapor o gas.

La alteración hidrotermal ocurre a través de la transformación de fases minerales, con crecimiento de nuevos minerales, disolución de minerales y/o precipitación, y reacciones de intercambio iónico entre los minerales constituyentes de una roca y el fluido caliente que circuló por la misma.

Aunque la composición litológica inicial tiene una influencia en la mineralogía secundaria (hidrotermal), su efecto es menor que el debido a la permeabilidad, temperatura y composición del fluido. En efecto, la temperatura y el pH del fluido son los factores más relevantes en la asociación mineralógica resultante de los procesos de alteración hidrotermal, más que la litología (Maksaev, 2000).

Los dos factores iniciales, temperatura y composición del fluido hidrotermal, son los más importantes para la mineralogía hidrotermal resultante de un proceso de alteración (Ver figura 4.1). Esto es relevante porque las asociaciones de minerales hidrotermales nos dan indicios de las condiciones en que se formaron depósitos minerales de origen hidrotermal.

La intensidad de la alteración corresponde a un término objetivo que se refiere a la extensión en que una roca ha sido alterada, mientras que el grado de alteración es un término subjetivo que requiere una interpretación basada en la mineralogía de alteración. Sin embargo, se han propuesto los términos pervasividad para indicar la intensidad de la alteración y extensividad para indicar la distribución espacial de la alteración hidrotermal. Estos últimos términos fueron propuestos para cuantificar porcentualmente la intensidad y extensión de alteración hidrotermal (Maksaev, 2000).

Es más práctico clasificar las alteraciones hidrotermales por la asociación de minerales de alteración presentes en las rocas. Una asociación de minerales de alteración refleja las condiciones de temperatura, presión, composición química

del fluido hidrotermal, mineralogía de la roca original y el tiempo que tomó para lograr un equilibrio termodinámico entre la roca y el fluido (Maksaev, 2000).

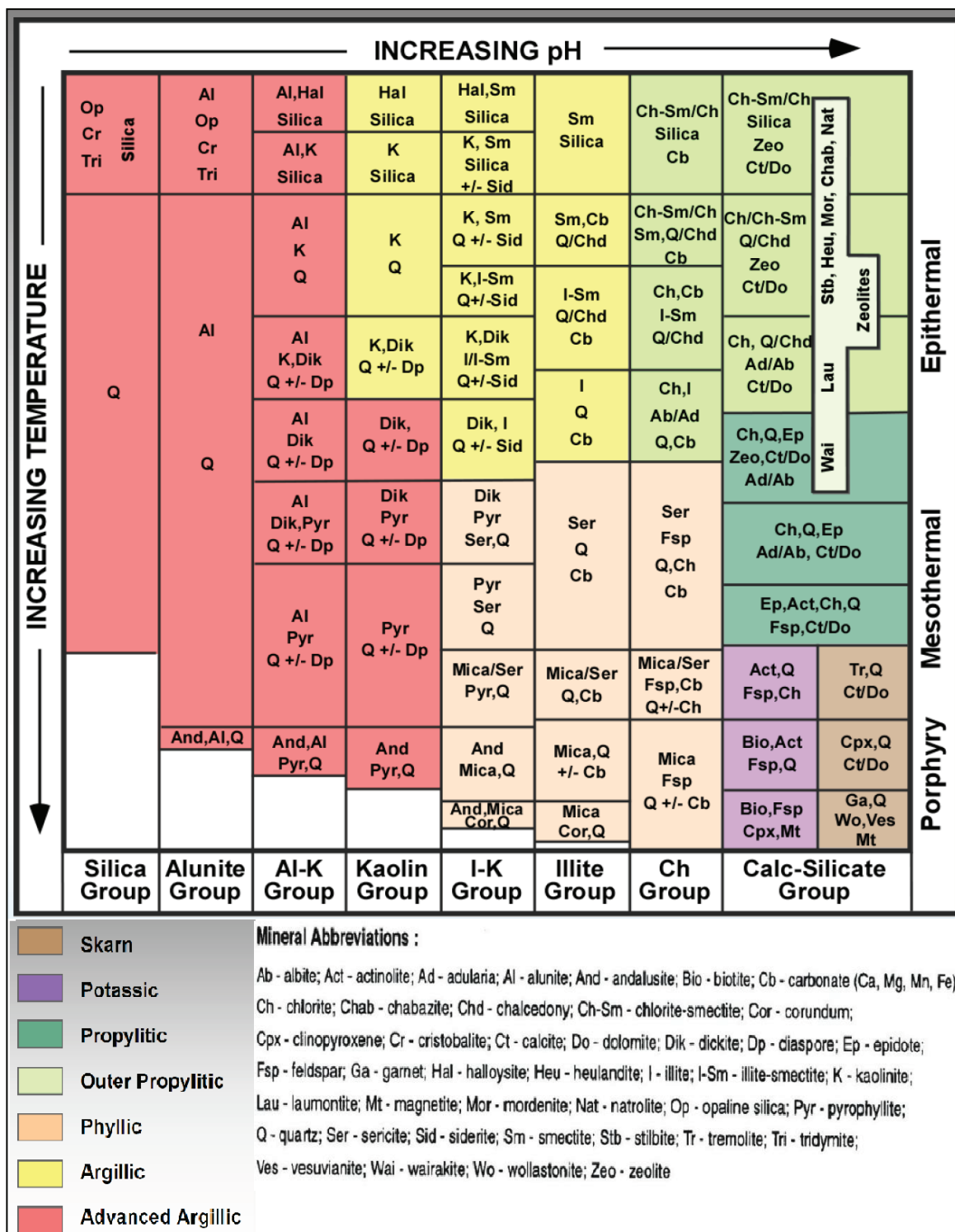


Figura 4.1 Asociaciones de minerales de alteración comunes en sistemas hidrotermales (tomado de Corbett y Leach, 1998).

Meyer y Hemley (1967) y Rose y Burt (1979) en base a reconocimientos y estudios, clasificaron en diferentes tipos la alteración hidrotermal, a continuación se describen los más frecuentes y principales:

Propilítica: Se caracteriza por la presencia de epidota y/o clorita y ausencia de un apreciable metasomatismo catiónico o lixiviación de álcalis o tierras alcalinas; H₂O, CO₂ y S pueden agregarse a la roca y comúnmente se presentan también albita, calcita y pirita. La alteración propilítica ocurre por lo general como halo gradacional y distal de una alteración potásica en los depósitos tipo pórfido.

Esta alteración se forma a condiciones de pH neutro a alcalino a rangos de temperatura bajo (200°-250°C). Este tipo de alteración representa un grado bajo de hidrólisis de los minerales de las rocas y por lo mismo su posición en zonas alteradas tiende a ser marginal.

Fílica (Sericítica o Cuarzo-Sericítica): está tipificada por la asociación cuarzo-sericita-pirita (QSP) con minerales accesorios como clorita, illita, feldespato, caolinita, calcita, biotita, rutilo y apatito.

Esta alteración gradada hacia el tipo potásica incrementando las cantidades de feldespato y/o biotita, y en el tipo argílica incrementando las cantidades de minerales arcillosos. La alteración fílica es esencialmente debida a la desestabilización de los feldespatos en presencia de H⁺, OH⁻, K y S, para formar cuarzo, mica blanca, pirita y algo de calcopirita (el contenido de sulfuros puede llegar hasta 20% del volumen). En el proceso Na, Mg, Ti, Fe, y también K son lixiviados.

La alteración fílica ocurre en un rango de pH 5 a 6 a temperaturas sobre los 250°C. A temperaturas más bajas se da illita (200°-250°C) o illita-smectita (100°-200°C). A temperaturas sobre los 450°C, corindón aparece en asociación con sericita y andalusita. En ambientes ricos en Na, paragonita puede aparecer como la mica dominante. La mica rica en vanadio (Roscoelita) y la rica en cromo (Fucsita) ocurren localmente en rocas máficas.

Argílica intermedia o argílica: Esta caracterizada por la formación de minerales arcillosos debido a la intensidad del metasomatismo de H⁺ y lixiviación ácida, a temperaturas entre 100° y 300° C.

Esta alteración grada hacia adentro a zonas filicas, mientras que hacia afuera grada a zonas propilíticas. Este tipo de alteración está asociado con sistemas porfídicos y epitermales. Los minerales arcillosos (caolinita, montmorillonita, esmectita) remplazan principalmente las plagioclasas y los silicatos máficos (hornblenda, biotita).

La alteración argílica intermedia está definida por la presencia de illita, clorita, arcillas del grupo del caolín (caolinita, dickita) y poca sericita.

La zonación dentro de la alteración argílica intermedia puede estar presente con caolinita cerca de la zona filica, mientras que montmorillonita se presenta en las zonas exteriores.

La alteración argílica intermedia ocurre en rangos de pH entre 4 y 5 y puede co-existir con la alunita en un rango transicional de pH entre 3 y 4. La caolinita se forma a temperaturas bajo 300°C, típicamente en el rango <150°-200°C. Sobre los 300°C la fase estable es pirofilita.

Argílica avanzada: gran parte de los minerales de las rocas son transformados a dickita, caolinita, pirofilita, diásporo, alunita y cuarzo. Este tipo de alteración representa un ataque hidrolítico extremo de las rocas, en que incluso se rompen los fuertes enlaces del aluminio en los silicatos originando sulfato de Al (alunita) y óxidos de Al (diásporo). En casos extremos la roca puede ser transformada a una masa de sílice oquerosa residual (“vuggy silica” en inglés).

La alteración argílica avanzada ocurre dentro de un amplio rango de temperatura pero a condiciones de pH entre 1 y 3.5. A alta temperatura (sobre 350°C) puede ocurrir con andalusita además de cuarzo. Bajo pH 2 domina el cuarzo, mientras que alunita ocurre a pH sobre 2. La alunita puede originarse en variados tipos de ambientes, como producto de alteración por condensación de gases ricos en H₂S, como producto de alteración supérgena, como producto de cristalización

magmática/hidrotermal, o a lo largo de vetas y brechas hidrotermales de origen magmático.

Potásica: Alteración de plagioclasas y minerales máficos a feldespato potásico y/o biotita. Esta alteración corresponde a un intercambio catiónico (cambio de base) con la adición de K a las rocas. A diferencia de las anteriores este tipo de alteración no implica hidrólisis y ocurre en condiciones de pH neutro o alcalino a altas temperaturas (principalmente en el rango 350°-550°C). Por esta razón, frecuentemente se refiere a la alteración potásica como tardimagmática y se presenta en la porción central o núcleo de zonas alteradas ligadas al emplazamiento de plutones intrusivos

La alteración potásica de alta temperatura (400° a 800°C) se caracteriza por una alteración selectiva y penetrativa. Biotita en vetillas ocurre principalmente en el rango 350°-400°C, y feldespato potásico en vetillas en el rango 300°-350°C. Biotita y feldespato están comúnmente asociados con cuarzo, magnetita y/o pirita, formados a condiciones de pH neutro a alcalino.

Sódico-Cálcica: Alteración definida por Carten (1986) en las zonas de raíz del pórfido cuprífero de Yerrington (Nevada, USA), la que se caracteriza por una asociación de actinolita, albita, oligoclasa-andesina, epidota, magnetita, clorita, cuarzo, escapolita. Esta alteración sódico-cálcica ocurre en la porción profunda de pórfidos cupríferos y se desarrolla en forma simultánea con la alteración potásica a niveles más altos. En muchos estudios los minerales que caracterizan la alteración sódico-cálcica se atribuían indistintamente a una alteración propilítica “de alta temperatura” y/o a alteración potásica.

Skarn: corresponde a la transformación de rocas carbonatadas (calizas, dolomitas) a minerales calcosilicatados en zonas adyacentes a intrusivos. Se caracteriza por la presencia de granates (andradita y grosularita), wollastonita, epidota, diópsido, idocrasa, clorita, actinolita.

Greisen: Es una alteración caracterizada por la asociación: muscovita, feldespato, cuarzo, topacio y/o turmalina. Se asocia a facies neumatolíticas de rocas graníticas y ocurre a temperaturas mayores de 250°C, generalmente en las

porciones apicales o cúpulas de batolitos graníticos, donde se atribuye a la acumulación de volátiles provenientes del magma o por incorporación de fluidos provenientes de la deshidratación de las rocas intruidas.

Depósitos de tipo pórfido generalmente presentan un consistente patrón de zonificación de la alteración y mineralización, que comprende la zona central de la intrusión y que va desde la parte inferior hacia arriba, presentando las siguientes alteraciones: sódico-cálcica, potásica, filica (clorita-sericita y sericítica), propilítica, clorítica, argílica avanzada y argílica intermedia (Ver figura 4.2).

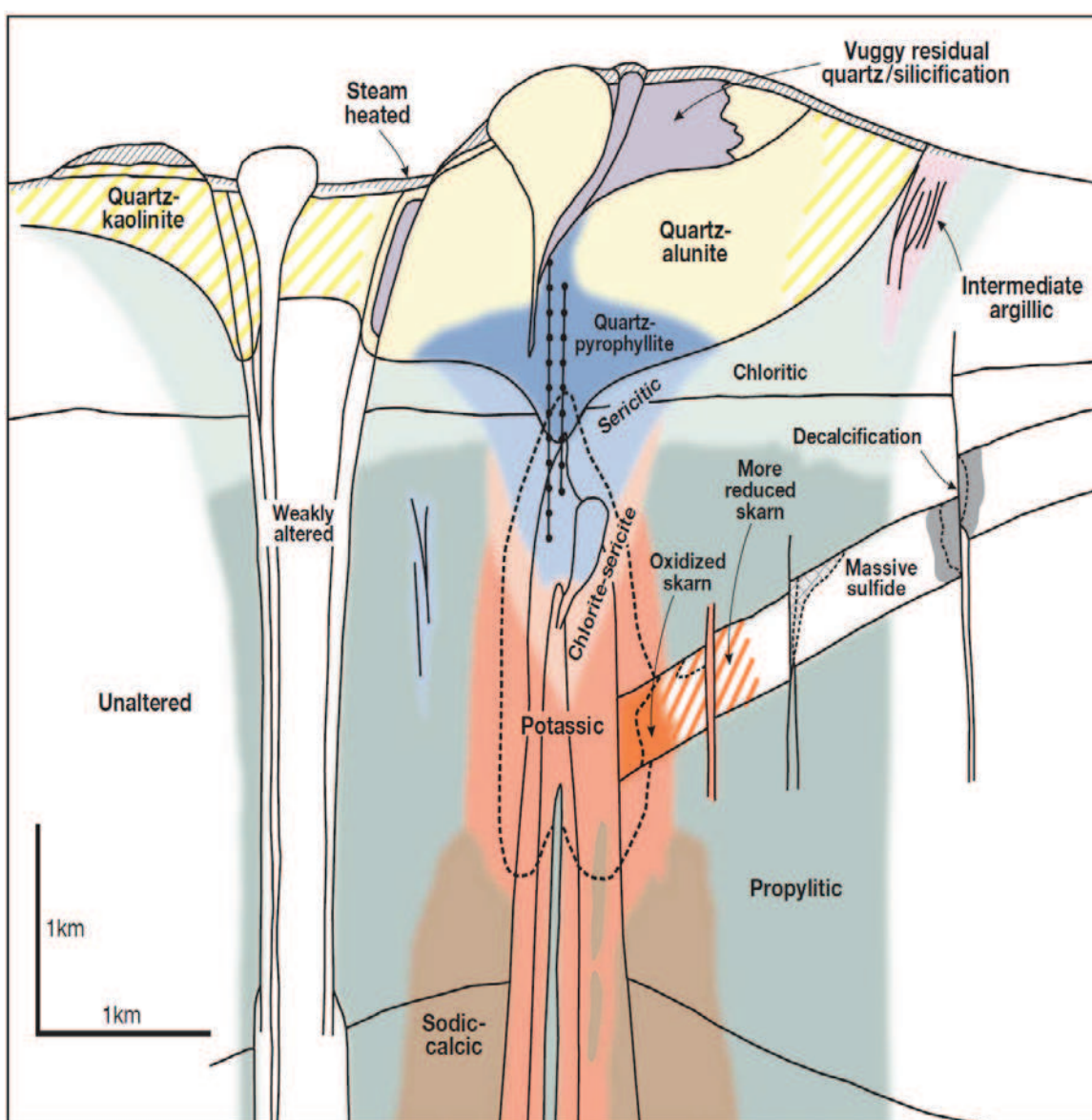


Figura 4.2 Patrones de zonación generalizada de alteración en depósitos tipo pórfido (tomado de Sillitoe, 2010).

La secuencia de zonificación de la alteración y mineralización, afecta a varios kilómetros cúbicos de roca; sin embargo, la alteración filica y particularmente la alteración argílica avanzada son menos desarrolladas que las otras en depósitos de pórfido de Cu relacionados con intrusiones alcalinas que con intrusiones calco-alcalinas (Sillitoe, 2010).

En general los tipos de alteración se convierten progresivamente en más recientes hacia arriba, con el resultado de que zonas alteradas más superficiales presentan invariablemente sobreimpresión de alteraciones, mientras que en zonas más profundas la sobreimpresión es mínima.

Las siguientes descripciones de la zonación de la alteración hidrotermal y mineralización son basadas en Sillitoe (2010).

Alteración sódico-cálcica, comúnmente presenta magnetita y casi siempre está mal preservada en las partes profundas de algunos depósitos de tipo pórfido de Cu. En general ocurre en las rocas circundantes a la intrusión del pórfido, dando lugar a confusión con la alteración propilítica; sin embargo, también puede indicar la zona central de algunos stocks de pórfidos. En algunas zonas se puede presentar una alteración híbrida potásica-cálcica (biotita-actinolita-magnetita) siendo común esta asociación de minerales en la zona de transición de las alteraciones sódico-cálcica y potásica (Sillitoe, 2010).

En grandes partes de los pórfidos de cobre, predomina la alteración potásica en profundidad, la misma que va gradando lateralmente a zonas propilíticas poco desarrolladas. Biotita es el mineral de alteración predominante en intrusiones de tipo máficas porfídicas y la roca circundante a éstas, donde la abundancia de feldespato K se incrementa generalmente cuando el pórfido presenta composiciones más félsicas (granodioritas a cuarzomonzonitas) (Sillitoe, 2010).

La alteración potásica afecta desde la etapa más temprana de generación del pórfido intermineral; así también a muchas brechas magmáticas-hidrotermales, abarcando volúmenes variables en la roca caja.

La alteración potásica en las rocas de caja varía, desde zonas restringidas cerca del contacto con diques, hasta zonas de escala kilométrica. La alteración potásica

generalmente varía de una mayor intensidad en las fases tardías de generación del pórfido, a una menor intensidad durante las fases tempranas de formación del pórfido.

Alteración clorita-sericita, da lugar a un distintivo color verdoso pálido en las rocas, siendo está muy extendida en las partes superficiales de algunos depósitos de tipo pórfido, este tipo de alteración se caracteriza por la parcial o completa transformación de minerales máficos a clorita, plagioclasa a sericita y/o illita y magnetita hidrotermal a hematita (martita y/o especularita) junto con la depositación de piritita y calcopiritita.

Alteración fílica (sericítica) en depósitos de tipo pórfido normalmente sobreimprime y destruye total o parcialmente las asociaciones potásicas.

El grado de sobreimposición es quizá mejor apreciado en algunos cuerpos de brechas magmáticas-hidrotermales, en las cuales agregados aislados de magnetita remanente, se encuentran en zonas de sericita o clorita-sericita hasta 1 Km arriba de zonas con alteración potásica cementadas con magnetita.

La sericita puede ser subdividida en dos diferentes tipos: una variedad poco común, siendo al principio de color verdoso a gris verdoso para posteriormente volverse más común a una variedad de color blanco. En depósitos donde la alteración temprana de sericita verdosa es reconocida, ésta se localiza centralmente y alberga arreglos de calcopiritita y bornita (Sillitoe, 2010).

La alteración tardía de sericita blanca presenta varios patrones de distribución en pórfidos. Esta puede formar zonas de anillos separando los núcleos potásicos de halos propilíticos, pero es quizá más común como un control estructural o aparente reemplazamiento irregular entre la parte superior de clorita-sericita y/o zonas potásicas (Sillitoe, 2010).

Las alteraciones clorítica y propilítica son similares, sin embargo se diferencian en que la clorítica se desarrolla distalmente en superficie mientras que la propilítica se genera a niveles profundos, así mismo la alteración fílica (sericítica) y la alteración clorita-sericita presentan la misma diferencia además de que en la segunda un contenido mayor de clorita es apreciable (Sillitoe, 2010).

Sillitoe (1988) reconoció la presencia de un "lithocap" o cubierta con alteración argílica avanzada en muchos pórfidos cupríferos de las regiones sureste y suroeste del Pacífico. Esta alteración se considera actualmente como un atributo esencial de sistemas de pórfido de cobre, porque se forma a poca profundidad por la absorción por parte de aguas subterráneas de vapor que se separa de un líquido hipersalino, asociado con la alteración potásica en profundidad (Hedenquist et al., 1998). La alteración argílica avanzada puede superimponerse a las asociaciones de minerales de alteración más profundas, tal vez en respuesta al colapso de un sector de un edificio volcánico (Sillitoe, 2010).

Las zonas profundas de las litocapas de alteración argílica avanzada, parcialmente controladas por estructuras, pueden superimprimir las partes superiores del pórfido, donde la alteración filica (sericitica) es comúnmente transicional hacia pirofilita y cuarzo, por otra parte caolinita-cuarzo de baja temperatura es dominante en arreglos de superimpresión.

Las litocapas de alteración argílica avanzada presentan texturas irregulares, presentando comúnmente una especie de parches de pirofilita incrustados en rocas silicificadas, sin embargo estos parches pueden contener también alunita o caolinita, sugiriendo que esta textura puede resultar por nucleación preferencial de cualquier mineral común de la alteración argílica (Sillitoe & Hedenquist, 2003).

Sobreimpresión argílica avanzada con textura de nucleación puede ser desarrollada durante la alteración potásica, en su fase temprana o durante la alteración clorita-sericitica de rocas fragmentales.

Las litocapas de alteración argílica avanzada afectan a las partes superiores del stock del pórfido, pudiendo penetrar en profundidad por más de 1Km. Por lo cual, la alteración argílica avanzada puede ser 1 a 2 Ma. más joven que la zona potásica que superimprime. Sin embargo las litocapas y la alteración potásica en stocks de pórfidos pueden ser separados por 0,5 a 1Km, un espaciamiento típicamente ocupado por alteración clorita-sericitica y pirita.

En los lugares donde la roca caja contiene carbonatos, se generan skarns en las proximidades al pórfido, presentando andradita – diópsido, generalmente

formándose contemporáneamente con la alteración potásica de unidades litológicas sin carbonatos.

4.2.1 TERRASPEC.

El equipo TerraSpec es un instrumento de precisión que trabaja por medio de espectroscopia de reflectancia, para lo cual cuenta con varios elementos tales como el espectrómetro terraspec, una probe con luz integrada, un cable de datos, un cable de fibra óptica, por medio del cual es recogida la refracción de la luz, un cable de red y una computadora portátil exclusiva para el equipo (ver foto 4.1).



Foto 4.1 Equipo TerraSpec ensamblado con todos los elementos que lo componen (modificado de <http://www.petrology.de/geraete>).

La espectroscopia de reflectancia es una técnica basada en la interacción entre la absorción y la reflexión de la energía, principalmente en las zonas del espectro electromagnético de la luz visible (0.4-0.7), la cercana a la infrarroja (0.7-1.3) y la infrarroja de onda corta (1.3–2.5) para analizar los materiales (ver figura 4.3).

Los materiales cuando absorben energía a ciertas longitudes de onda, como función de vibraciones de los vínculos químicos, flejan esa energía de vuelta en las mismas longitudes de onda a detectores en el espectrómetro dentro del equipo y esto se manifiesta en la forma de un gráfico o espectro de reflectancia con sus característicos rasgos de absorción.

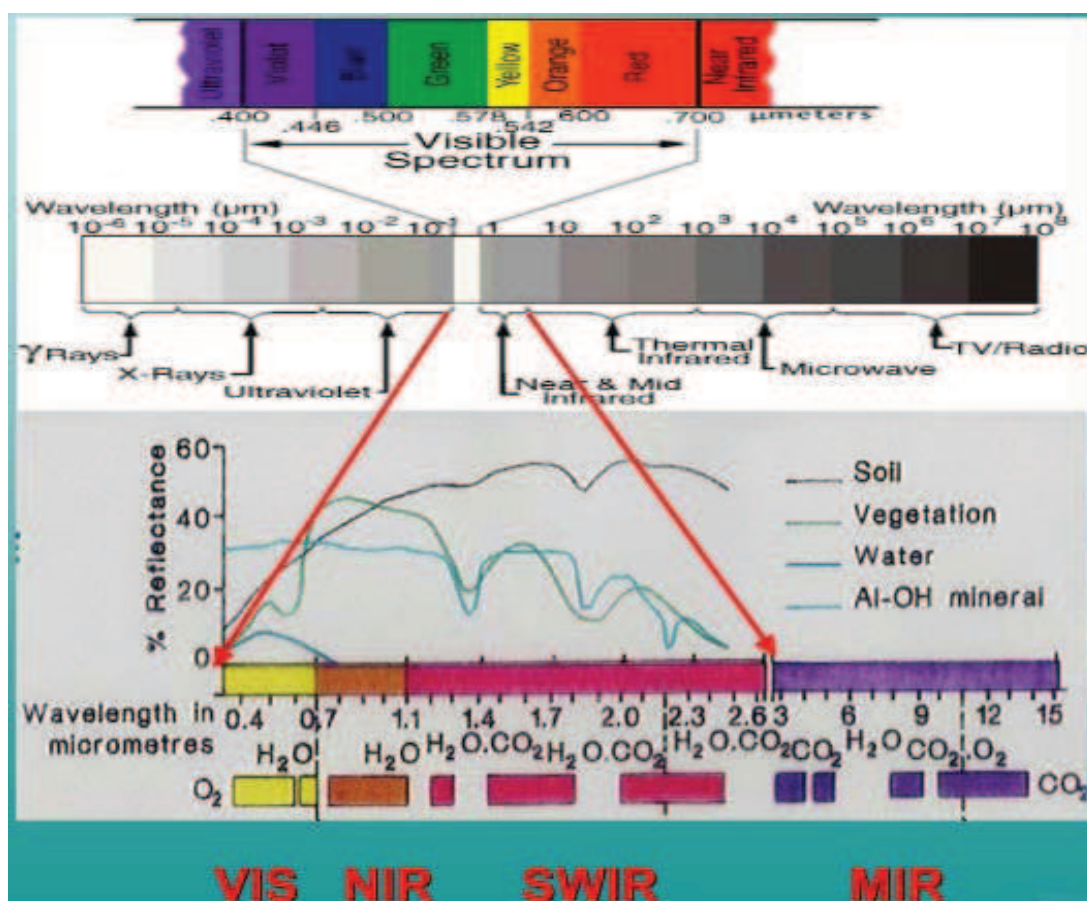


Figura 4.3. Espectro electromagnético mostrando la región que es de interés para la espectroscopía de reflectancia. Se indican los valores de longitudes de onda de los rasgos visible (VIS), el infrarrojo cercano (NIR), de onda corta (SWIR). La escala horizontal está en micrones y nanómetros; la escala vertical muestra el porcentaje de reflectancia, respecto a la referencia de reflectancia de halon (CBrClF_2).

Todo cuerpo que sea sometido a efectos de radiación, como un haz de luz, experimenta un fenómeno de reflexión y absorción de energía, la cual se manifiesta en forma de ondas electromagnéticas que pueden ser medidas y analizadas en función de su amplitud y longitud, principalmente.

La espectrometría de reflectancia es una eficiente herramienta para la identificación de minerales en muestras individuales, aunque, el mayor provecho

se obtiene de la recolección de datos en forma sistemática, sin embargo, cabe recalcar que el equipo TerraSpec no identifica minerales sino la capa octahedral de los cristales de los minerales, por lo tanto, el criterio del geólogo para la identificación de minerales es muy importante.

Como en toda investigación o caso de estudio el manejo limpio y preciso de la información recabada es de suma importancia para obtener resultados útiles y confiables, de modo que toda la información referida al proceso de muestreo para el análisis debe ser clara y contener la mayor cantidad de información posible, por ejemplo: número de muestra, localización, tipo de muestra (muestra de mano, chips de barrenación, núcleo, pulpas, suelo etc.) y por supuesto una descripción detallada de las características geológicas como litología, alteración, estructuras, grado y tipo de oxidación, mineralogía, etc.

Al realizar el análisis de una muestra, es importante tomar en cuenta, los siguientes aspectos, ya que de ello depende, la buena o mala interpretación de los datos espectrales.

- ✓ **Humedad.-** El agua también posee características espectrales bien definidas que pueden enmascarar o disolver los rasgos diagnósticos de otros minerales; esto nos genera una mala lectura y por lo tanto una interpretación imprecisa de los minerales presentes en la muestra. Por supuesto que en este punto, se refiere a agua meteórica, ya que existen minerales que contienen agua en su estructura molecular; es el caso de la esmectita y otros minerales hidratados.

- ✓ **Superficie irregular.-** Se refiere a muestras de superficie irregular, que pueden ser: rocas muy porosas, fracturadas, de grano grueso, etc. Es importante que la superficie que se analice sea lo más regular posible, “plana”, de lo contrario, se obtiene un espectro deformado. A este fenómeno se le conoce como *ruido*.

- ✓ **Color.-** El método se basa en medir las características de las ondas reflejadas por los minerales. En el caso de minerales de alta reflexión como sulfuros, las características del espectro se ven afectadas por *ruido*, en

mayor o menor proporción dependiendo del contenido de estos minerales. Por otro lado, aquellos con un alto nivel de absorción, de color oscuro, por ejemplo turmalina y también aquellos minerales translúcidos como calcita pura, yeso y otros, más que reflejar, conducen la luz en su interior, generando un pobre desarrollo de rasgos de absorción.

- ✓ **Tipo de muestra.**- Los tipos de muestra y muestreo también pueden distorsionar o degradar los rasgos espectrales. Por ejemplo, se puede analizar muestras de mano, “chips”, polvos, etc. En estos casos, el tamaño de grano es importante ya que se ha mencionado que se requiere de una superficie lo mas plana posible para el análisis. Se ha observado que las muestras que han sido sometidas a pulverización, pueden presentar variaciones mínimas en sus rasgos espectrales ya que durante el proceso se puede generar algo de calor que alterara la estructura cristalina de ciertos minerales.

Repetidas veces se ha mencionado el término *espectro* y no es más que una gráfica continua con cambios de pendiente en dos dimensiones, donde los valores en el eje horizontal corresponden a la longitud de onda que puede ser expresada en micrómetros (μm) o nanómetros (nm) y los valores del eje vertical al porcentaje de reflectancia respecto a la referencia de reflectancia del Halón (CBrClF_2) principalmente.

Las características que deben ser consideradas en cualquier espectro, para la identificación de compuestos son las siguientes: Rasgos de absorción, estos cambian de forma, profundidad respecto al eje vertical y posición respecto al eje horizontal (longitud de onda) que nos indica zonas de energía generada por la vibración de ciertas moléculas y radicales: OH, H₂O, NH₄, CO₃ y enlaces del catión OH como Al-OH, Mg-OH, Fe-OH, (Hunt, 1977; Goetz et al, 1982).

A la forma general de la gráfica, se le conoce como: Perímetro exterior, envolvente, continuum o Hull (ver figura 4.4); es importante porque ayuda a identificar variaciones químicas de un mismo compuesto, entre otras características.

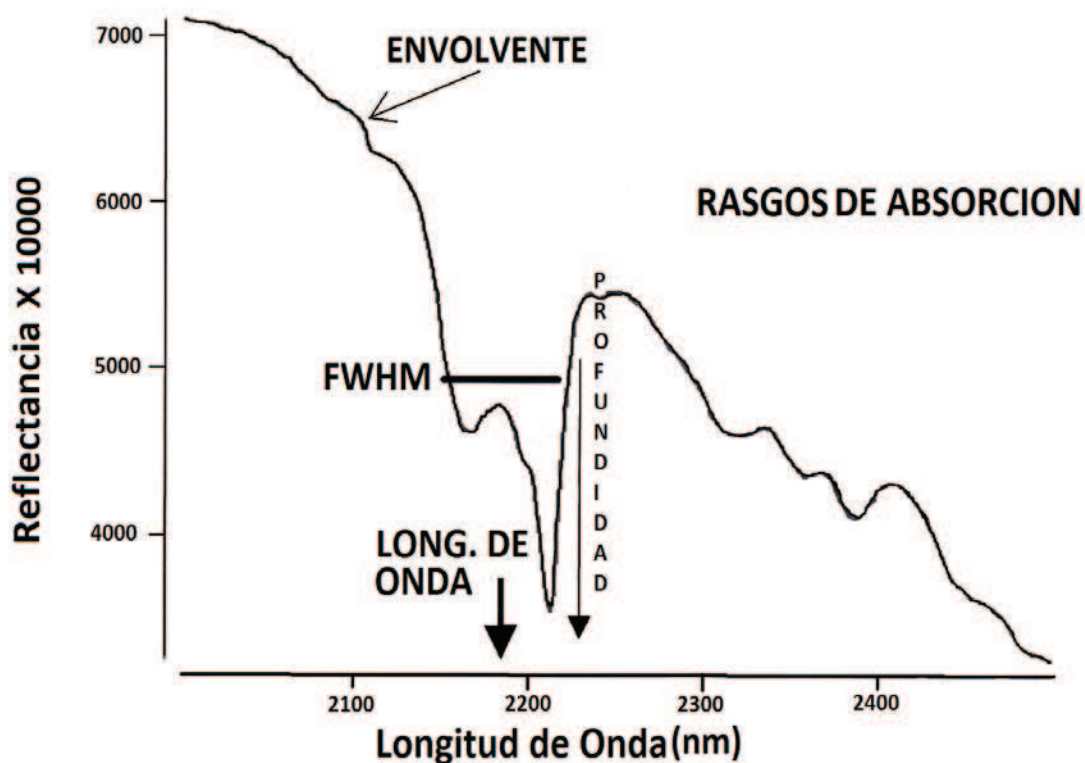


Figura 4.4 Componentes de un espectro de reflectancia mostrando la envolvente, los medios máximos de la anchura completa (FWHM) de los rasgos de absorción y las profundidades de absorción de dichos rasgos (tomado de Spectral International Inc, 2005).

Los rasgos de absorción según su forma y profundidad, pueden ser: agudos, dobles y agudos, simple abierto, dobles y abiertos, en forma de hombro, múltiples, etc.

El análisis de los rasgos espectrales de absorción con la ayuda de programas computacionales tales como: Specmin y/o Specwin, nos proporciona una mayor comprensión de la información contenida en el espectro.

Cambios en las posiciones de longitud de onda proporcionan información en sustituciones químicas, múltiples fases presentes y contenido de agua. El análisis del aspecto de los rasgos individuales muestra cambios en cristalinidad y ayuda en la identificación de múltiples componentes.

Es de suma importancia, mencionar que las diferentes zonas de alteración en un yacimiento mineral, se definen precisamente, por las asociaciones mineralógicas,

de modo que, es común encontrar en un mismo espectro la combinación de los rasgos de absorción de dos o más minerales (ver figura 4.5).

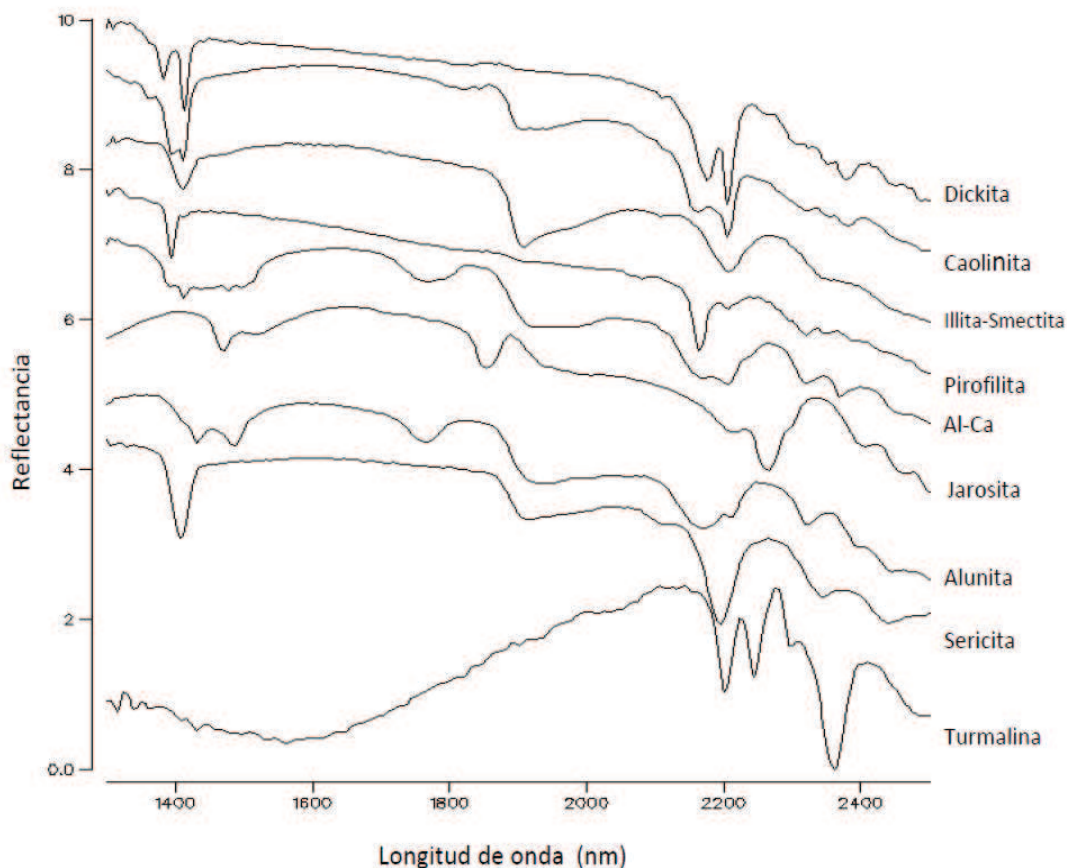


Figura 4.5 Serie de espectros que corresponden a diferentes minerales, se observa las diferentes formas de los rasgos de absorción y su posición respecto al eje X (Longitud de onda nm), además de la forma general del envolvente. (Ejemplos tomados de la base de datos de SpecMin, SII)

4.2.1.1 Análisis de Muestras.

Los minerales de alteración presentes en la concesión Cascabel, se encuentran formando asociaciones y estas generan facies de alteración.

Las facies de alteración se encuentran relacionadas con los pulsos magmáticos de los intrusivos, debido a que se ha observado en ciertos lugares una superposición de minerales y de facies de alteraciones (Poma, 2012d).

Alrededor de 215 muestras de roca fueron recolectadas a lo largo de toda el área de la concesión Cascabel, tanto por los geólogos de la empresa Exploraciones Novomining S.A., así como por el autor de este trabajo. A estas muestras se les

realizó el análisis de espectroscopía (Ver Anexo N°3) con el equipo TerraSpec, obteniéndose las curvas de los espectros de los minerales de alteración de cada una de estas muestras.

Realizando la interpretación de cada espectro, se determinaron los diferentes minerales de alteración presentes en la concesión Cascabel (ver figura 4.6), siendo estos principalmente: clorita, epidota, illita, caolín, esmectita, illita-esmectita, sericita, goethita, hematita y sílice (calcedonia y cuarzo). Cabe recalcar que esta interpretación de minerales es únicamente realizada con el equipo TerraSpec, sin tomar en cuenta las asociaciones minerales y alteraciones observadas en campo y el trabajo realizado en láminas delgadas.

La illita, así como la sericita, presentan espectros con características similares con pequeñas diferencias, por lo que el criterio geológico para diferenciar entre los espectros de estos dos minerales es fundamental. La interpretación de los espectros se debe realizar no solo basándose en las características del espectro, sino también en las observaciones de campo y si es posible el estudio de láminas delgadas.

El equipo TerraSpec presenta dificultad con la identificación de minerales como la biotita secundaria, debido a que la biotita se presenta en poca cantidad, lo que hace que el equipo no logre reconocerla, ni obtener espectros de ésta. Debido a esto se podría perder la identificación de la alteración potásica, si no se tiene cuidado al correlacionar lo observado en campo con los espectros obtenidos.

La presencia de minerales del grupo de las arcillas indica no solo fases hidrotermales, sino también meteorización de diversos minerales, así por ejemplo la illita secundaria se puede presentar como resultado de meteorización de rocas que contienen sericita.

La presencia de estos minerales indica diferentes facies de alteración, sin embargo estas facies serán tratadas más adelante con detalle.

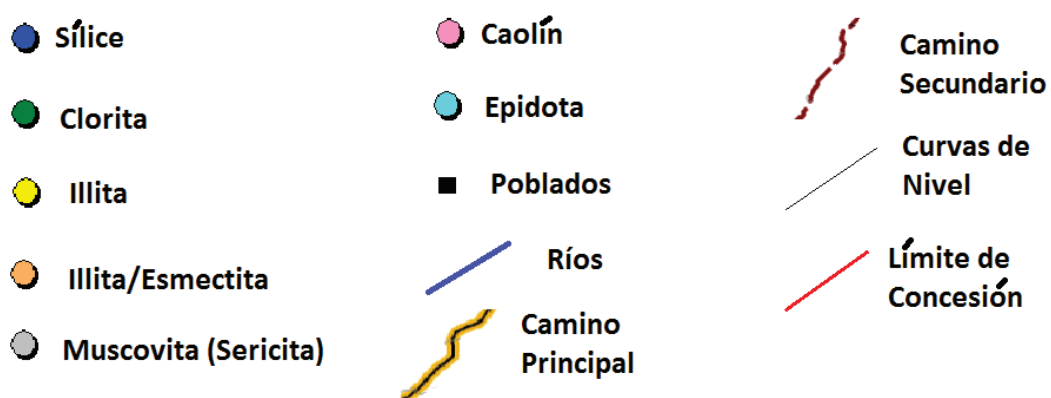
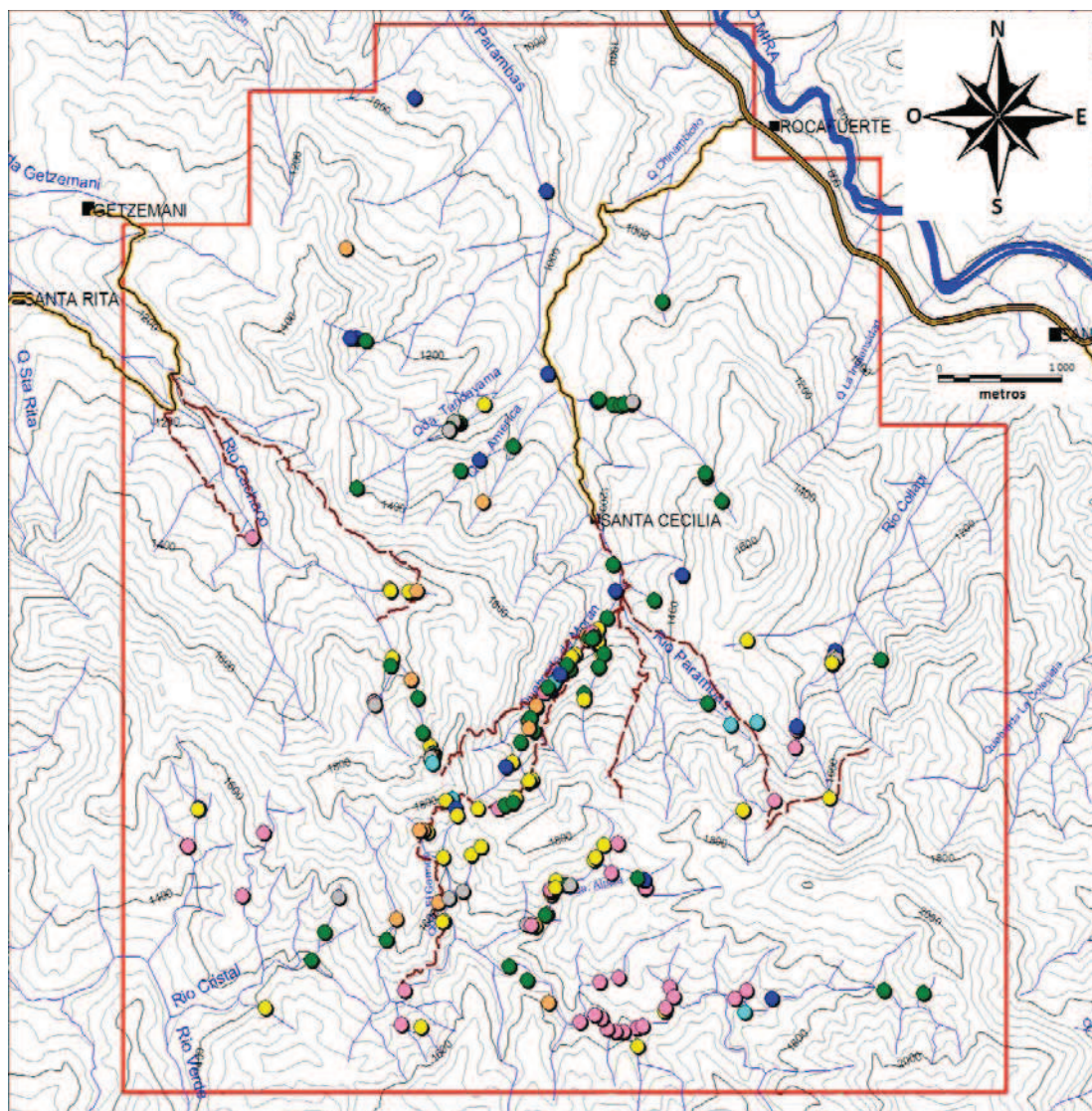


Figura 4.6 Minerales de alteración presentes en la concesión Cascabel determinados por la interpretación de espectros tomados de muestras con el equipo TerraSpec.

4.2.2 FACIES DE ALTERACION.

El estudio de 215 muestras por medio del equipo TerraSpec (Ver Anexo N°3) junto con observaciones realizadas en campo y el estudio petrográfico de 18 láminas delgadas (Ver Anexo N°4) determinaron la presencia de cinco facies o asociaciones de minerales de alteración hidrotermal presentes en la concesión Cascabel (Ver Mapa N°2).

4.2.2.1 Magnetita-Actinolita-Clorita±Cuarzo±Biotita (Alteración Potásica).

El reemplazamiento de minerales máficos (biotita y hornblenda) por biotita secundaria, la presencia de feldespato potásico hidrotermal, vetillas tempranas EB, vetillas tipo A y vetillas tipo B, caracterizan este tipo de alteración temprana, sin embargo algunos depósitos presentan una alteración híbrida potásica-cálcica, tomando lugar arreglos comunes de Magnetita-Actinolita±Biotita como por ejemplo los depósitos de Santo Tomas II, Ridgeway y Cotabambas, al Sur de Perú (Sillitoe, 2000). Esta asociación de minerales se presenta principalmente en zonas cercanas al afloramiento de las rocas intrusivas, caracterizada por la presencia de bastante magnetita reemplazando hornblendas, magnetita en vetillas junto a clorita y vetillas de tipo A (Ver foto 4.2.a), tipo B y tipo M.

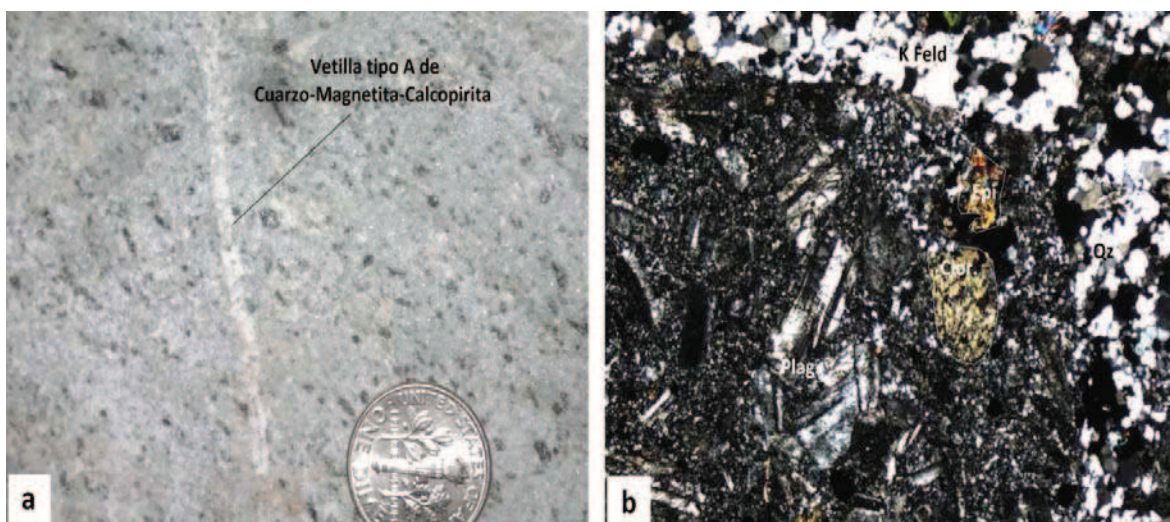


Foto 4.2 a) Muestra FO-042 observándose vetillas tipo A de cuarzo-magnetita-calcopirita. **b)** Muestra FO-041 con aumento 5x14, nicoles cruzados, con fenocristales de plagioclasa (Plag.) y relictos de hornblenda alterándose a clorita (clor) y epidota (epi). Adyacente y en contacto con la matriz cristales de plagioclasa, reemplazados por feldespato potásico (K Feld) y agregados finos de clorita (clor), con cuarzo (Qz) y algunos sulfuros intersticiales.

La facies potásica ha sido reconocida principalmente en la parte central de la concesión, a lo largo de las quebradas Morán, América y Tandayama, en el afloramiento de los cuerpos de la diorita hornbléndica y el pórfido andesítico, afectando ampliamente a este último.

Esta facies se encuentra afectando a los volcanoclásticos, junto al contacto con la diorita fanerítica de grano medio a fino, presentándose sobre los volcanoclásticos en la parte noreste del río Collapi.

La alteración potásica presente en el pórfido andesítico se caracteriza por la presencia de abundante magnetita (0.1-0.5mm en lámina delgada) (ver foto 4.3), asociada a la alteración de los piroxenos, así como relictos de fenocristales de piroxeno y máficos, alterados a actinolita, que pueden contener sobreimposición de clorita y epidota.

También se observan relictos de fenocristales de hornblenda y algunas “hojas” de biotita, alterándose a clorita.

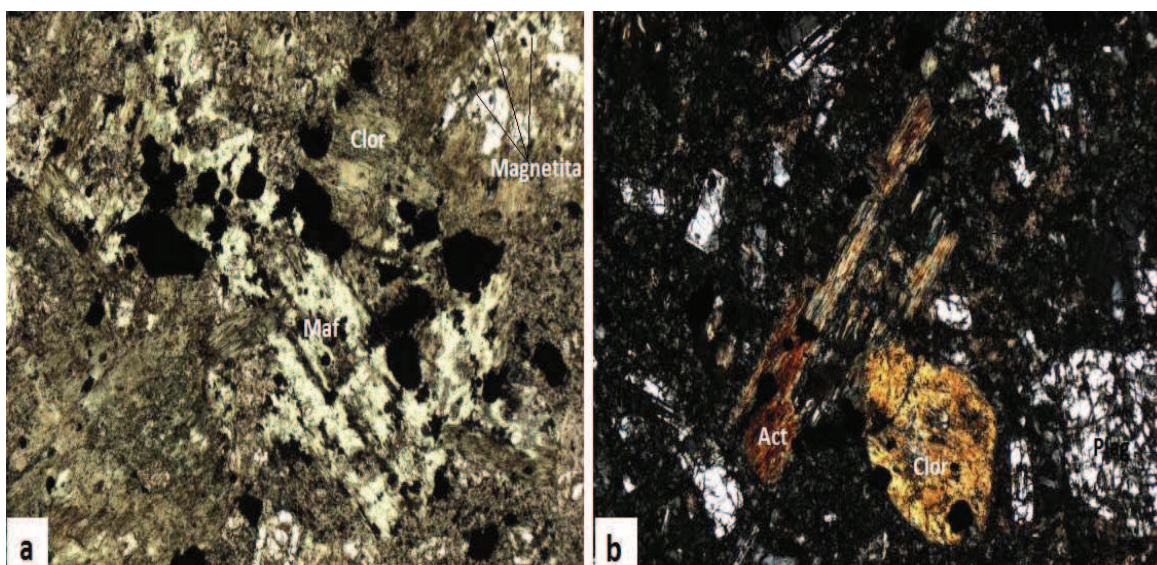


Foto 4.3 a) Muestra FO-012 con aumento 5x14, nicols paralelos, con acumulación de minerales máficos alterados a clorita (centro de la foto), entre otros cristales de piroxeno que tienden a estar reemplazados por actinolita y con abundante magnetita. **b)** Muestra FO-012 con aumento 5x14, nicols cruzados, presenta minerales máficos alterados parcialmente a actinolita con cristales pequeños de plagioclasa y otros relictos de piroxeno alterados a clorita con sobreimposición de calcita.

Los minerales máficos y cristales de piroxenos se encuentran reemplazados por magnetita, actinolita, clorita, epidota, sulfuros y hematita. Las plagioclasas se han alterado a sericita, epidota y hematita. La magnetita levemente ha sido reemplazada por hematita (martitización). Feldespato potásico en venillas también ha sido observado. En campo ha sido posible observar que la alteración potásica presenta una cierta sobreimposición de alteración propilítica con vetillas de cuarzo-epidota-carbonato en ciertos sectores.

4.2.2.2 Sericita-Cuarzo-Pirita±Clorita±Illita (Alteración Fílica).

La alteración fílica se caracteriza por la presencia de sericita-cuarzo-pirita y en menor cantidad clorita e illita. Generalmente este tipo de alteración destruye total o parcialmente la estructura original de la roca. La alteración fílica, ocurre principalmente acompañada por un control estructural en sentido NO-SE en la parte alta del área de estudio, en el sector de la quebrada Alpala.

Se encuentra presente en zonas paralelas a lo largo de la parte norte de la concesión, afectando a tobas y brechas volcanoclásticas, observándose en ciertos sectores que la sericita se encuentra alterada a illita, siendo este un factor para la confusión en la interpretación de los espectros de sericita e illita, ya que los espectros se presentan con similares características y formas, diferenciándose en pequeños rasgos característicos como el valor de los picos de cristalinidad (ver figura 4.7).

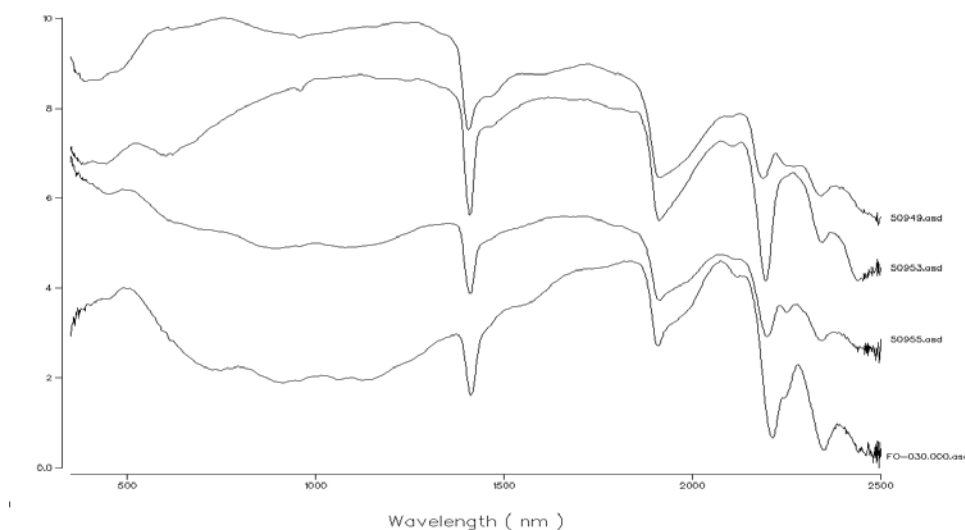


Figura 4.7 Espectros de sericita de varias muestras de la concesión Cascabel tomados con el equipo TerraSpec.

Cristales de plagioclasa se alteran a sericita, clorita e incipientemente a illita, los minerales máficos (biotita y hornblenda) son reemplazados por sericita y clorita. Como parte del ensamble de facies de alteración se ha registrado la presencia de pirita diseminada en las rocas y comúnmente en vetillas tipo D.

Se ha observado que fenocristales de plagioclasa (1-3mm) (ver foto 4.4) se encuentran alterados a sericita gruesa con calcita y “hojas” de biotita (0.5-1mm en lámina delgada) se encuentran reemplazados por sericita con epidota.

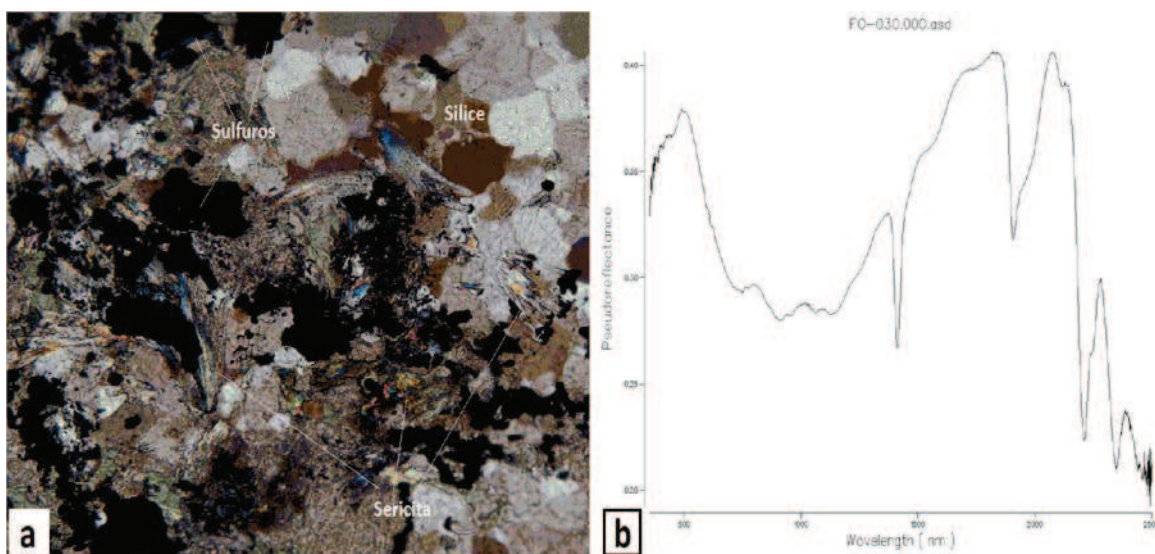


Foto 4.4 a) Muestra FO-030 con aumento 5x14, nicoles cruzados, con fragmentos líticos menores, presentando alteración a sericita sobre plagioclasas, con precipitación de sulfuros y la matriz silicificada. **b)** Espectro de moscovita (sericita) de Muestra FO-030.

4.2.2.3 Clorita – Epidota – Calcita ± Sericita ± Esmectita ± Pirita ± Illita (Alteración Propilítica).

La alteración propilítica se caracteriza por un color verde (ver foto 4.5) en las rocas y por no destruir o borrar la textura original. Este tipo de alteración se encuentra ampliamente distribuida en la zona de estudio y se define por la presencia de minerales de clorita, epidota, esmectita, sericita, cuarzo y en menos cantidad pirita, illita y calcita, afectando tanto a las rocas intrusivas como a las rocas volcanoclásticas de la Unidad San Juan de Lachas.

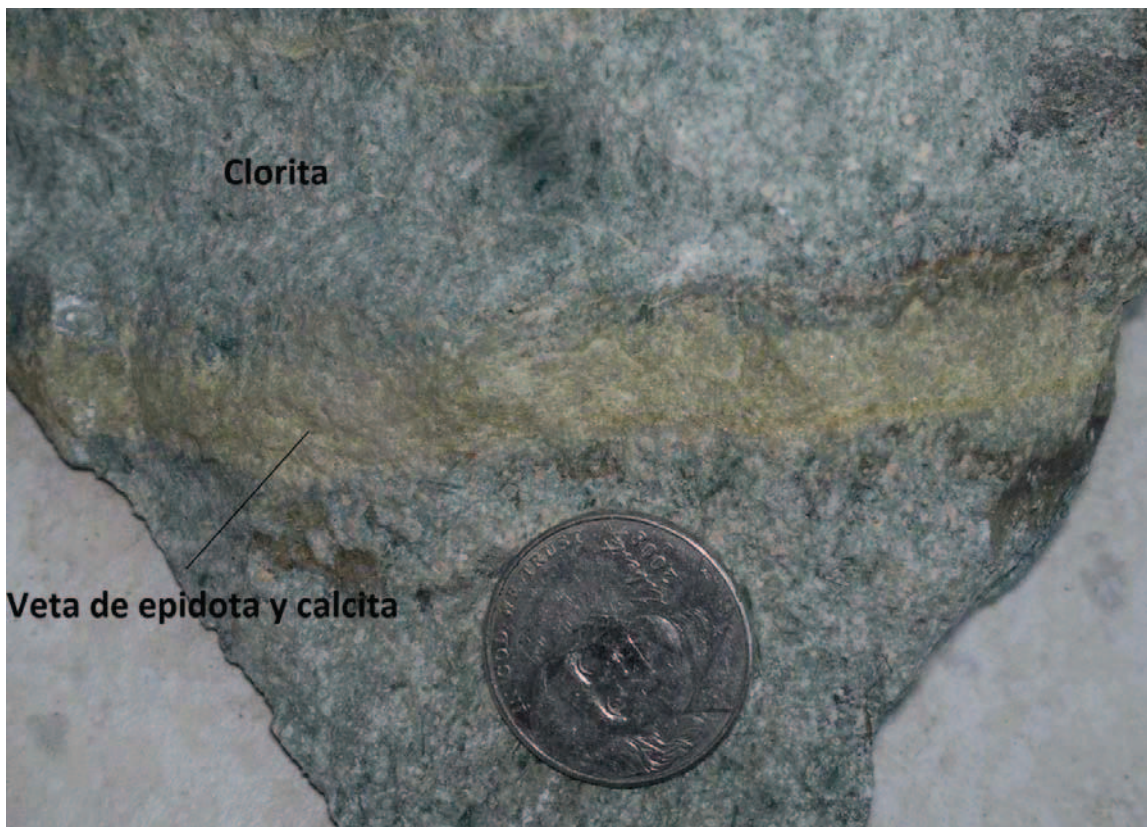


Foto 4.5 Muestra FO-005 observándose el característico color verde de la clorita con una veta de epidota-calcita cortando la muestra.

Los minerales máficos son reemplazados por epidota, clorita, pirita y hematita. Los cristales de plagioclasa se alteran a epidota, sericita y clorita. Vetillas de epidota, clorita y calcita también forman parte del ensamble de alteración propilítica.

Líticos de composición andesítica en las rocas volcanoclásticas, presentan relictos pequeños de fenocristales de plagioclasa (1mm en lámina delgada) que son reemplazados por cuarzo con clorita, mientras que otros relictos de minerales máficos (1 a 2mm en lámina delgada) son reemplazados por clorita con epidota (ver foto 4.6). La matriz de los volcanoclásticos de composición félsica, de color oscuro, también se encuentra alterada a clorita y epidota.

Piroxenos y hornblendas de las dioritas y del pórfido andesítico, están alterados a clorita, sin embargo en algunos sectores la alteración propilítica se presenta como una superimpresión a la alteración potásica.

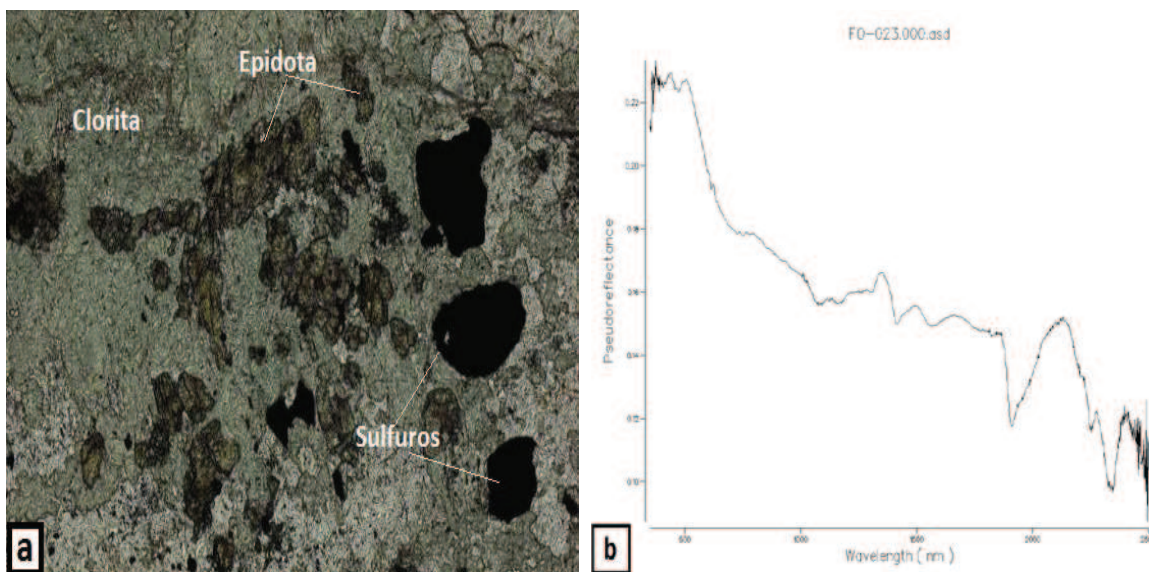


Foto 4.6 a) Muestra FO-023 con aumento 5x14, nicoles paralelos, con fragmentos líticos que están muy alterados a agregados uniformes de clorita con acumulaciones oscuras de epidota y sulfuros opacos. **b)** Espectro de epidota y clorita perteneciente a la Muestra FO-023.

4.2.2.4 Illita – Caolín – Sericita ± Esmectita ± Pirita ± Clorita (Alteración Argílica Intermedia).

La alteración argílica intermedia se caracteriza por la formación de minerales arcillosos, presentando una coloración blanca y un aspecto deleznable debido a la presencia de las arcillas, siendo su textura original destruida, debido a la fuerte acidez (pH4) y temperatura (<300°C) de las soluciones (ver foto 4.7).

La alteración argílica intermedia se presenta como una zona amplia en la parte alta al Sur de la zona de estudio, en las quebradas Alpala, El Carmen y la parte alta de la quebrada Morán y presenta una dirección preferencial hacia el Noroeste afectando a las rocas volcanoclásticas. Esta alteración sigue la dirección de los intrusivos, lo cual sugiere que esta zona representa la parte superior del sistema de pórfido que no ha sido erosionada.

En general la alteración argílica intermedia presenta cristales de plagioclasa que se alteran principalmente a sericita y arcillas como caolín, illita y montmorillonita, así también piroxenos y biotita sufren alteración hacia minerales del grupo de las arcillas (illita, caolín).



Foto 4.7 Muestra FO-068 observándose la alteración argílica intermedia en los bordes de la muestra, mientras que en el centro todavía se puede reconocer parte de la textura original de la roca correspondiente a una toba alterada a illita y caolín con bastante pirita diseminada.

Las rocas con alteración argílica intermedia de la concesión Cascabel presentan fenocristales de plagioclasas (0.5-2mm en lámina delgada), pervasivamente alterados a arcillas (illita y caolinita), con cristales de esmectitas y clorita que presentan una superposición de illita (ver foto 4.8).

También se observa caolinita cristalina, asociada a la precipitación de sulfuros (pirita). Así también relictos de minerales máficos (probablemente anfíbol) se encuentran reemplazados por arcillas y carbonatos.

La matriz está alterada a un agregado bastante heterogéneo de material de composición félsica argilizada (0.1 a 0.3mm en lámina delgada) con esmectitas, clorita e illita.

Algunas fracturas se presentan rellenas por un agregado uniforme de cuarzo (0.1 a 0.4mm en lámina delgada), mientras que en los pequeños intersticios, entre los gránulos, se observan arcillas (caolinita con illita), como alteración de feldespatos originales.

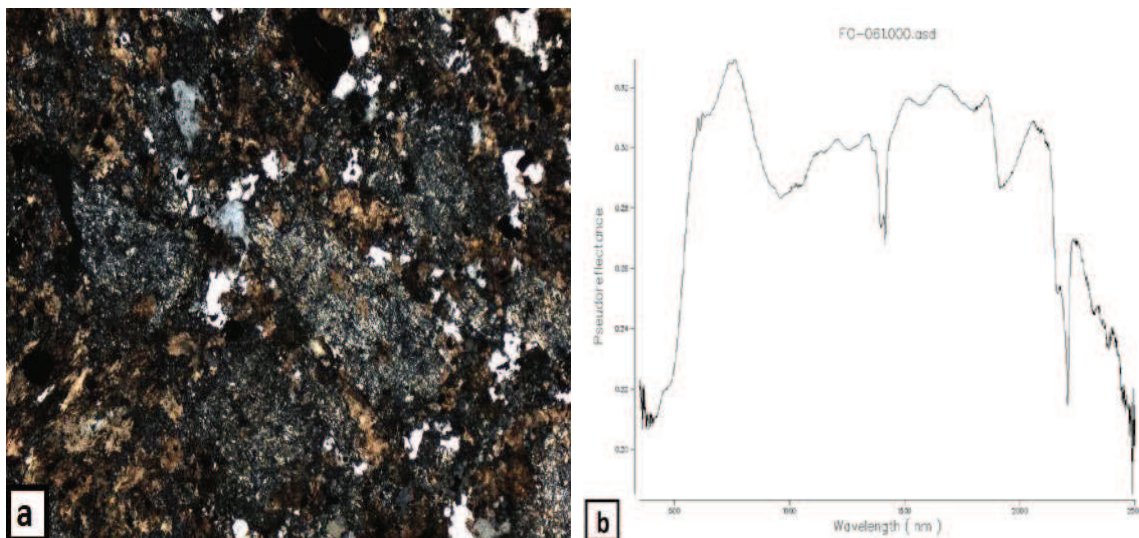


Foto 4.8 a) Muestra FO-061 con aumento 5x14, nicoles cruzados, con siluetas orientadas de plagioclasa alterada a caolinita e illita, con sobreimposición de calcita. Las fases intersticiales presentan cuarzo y abundante sobreimposición de carbonatos oscuros con sulfuros. **b)** Espectro de caolinita e illita con goethita perteneciente a la Muestra FO-061.

4.2.2.5 Litocapa de alteración argílica avanzada.

La litocapa de alteración argílica avanzada en la concesión Cascabel es interpretada, debido a que esta no se la ha observado en el campo, pero se tiene indicios tales como: sílice residual debido a la lixiviación de las bases en ciertas zonas de la concesión y rodados con alteración argílica avanzada de esta litocapa. Infiriéndose que esta litocapa estuvo presente cubriendo gran parte de la zona sur de la concesión; sin embargo, esta fue erosionada y removida, quedando únicamente la alteración argílica intermedia presente en la actualidad en la zona de estudio. Se observa que los rodados de esta litocapa contienen minerales como dickita, caolín y pirofilita típicos de la alteración argílica avanzada. Estos rodados se encuentran hacia la parte baja del río Cristal donde confluye con el río Verde.

4.2.3 TIPOS DE VETILLAS.

Durante el proceso de emplazamiento de cada una de las fases intrusivas, los fluidos hidrotermales, formados como resultado de la ebullición retrógrada de estos magmas en proceso de cristalización y separación de fases volátiles (acuosas), son inyectados en la roca a manera de vetillas (Burnham y Ohmoto, 1980).

A lo largo de la concesión Cascabel se han podido identificar 6 tipos de vetillas, las mismas que son descritas a continuación.

4.2.3.1 Vetillas de Magnetita±Cuarzo±Actinolita (Tipo M)

Este tipo de vetillas tempranas se caracterizan por la presencia de abundante magnetita con poca o nula cantidad de cuarzo y/o actinolita, sin presentar halos de alteración alrededor de las mismas (ver foto 4.9). Este tipo de vetillas son frecuentes en la zona de los intrusivos y son asociadas a la alteración potásica de los mismos.

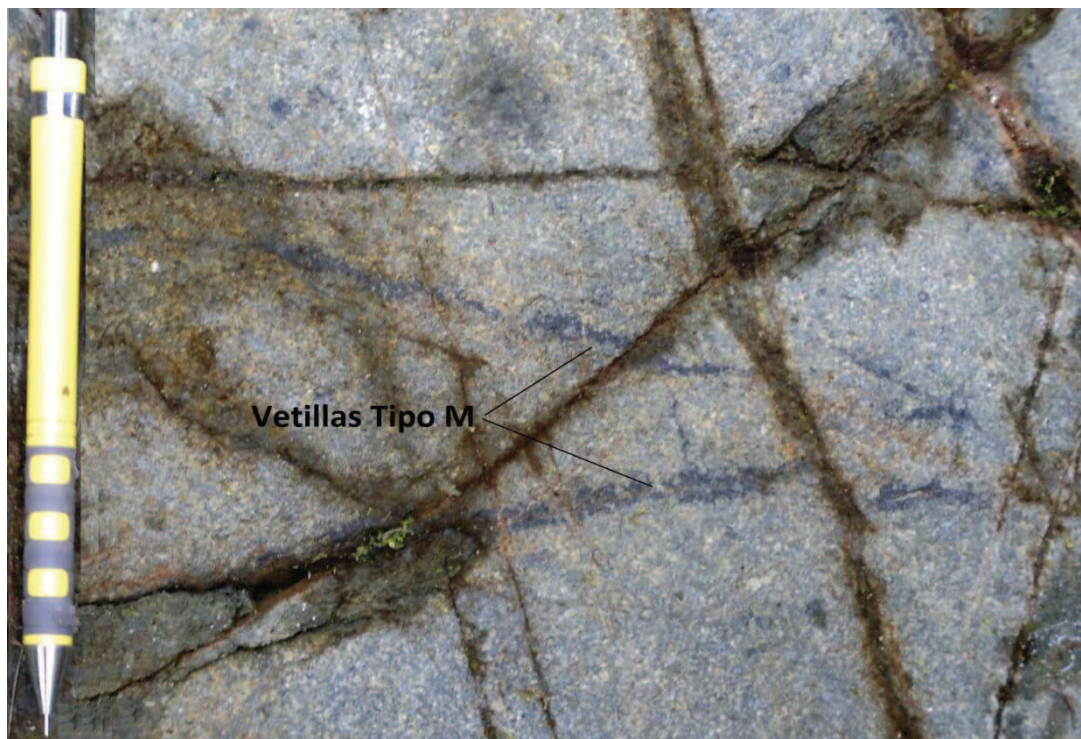


Foto 4.9 Vetillas de magnetita (tipo M) sobre el pórfido andesítico, nótese que se presentan sin halo de alteración.

4.2.3.2 Vetillas de Cuarzo-Pirita±Magnetita±Calcopirita (Tipo A)

Vetillas tempranas, muy comunes en las zonas donde existe alteración potásica pervasiva, están constituidas por cuarzo granular, en sección delgada estas vetillas muestran la típica textura de mosaico, presentándose en forma generalmente sinuosa y discontinua sin halos de alteración, cortando tanto a los intrusivos como a algunas rocas volcanoclásticas con alteración potásica.

Este tipo de vetillas se caracteriza porque el principal componente es el cuarzo (ver foto 4.10), pudiendo contener pequeñas cantidades de pirita, magnetita y calcopirita. Se observa que este tipo de vetillas siempre corta a las vetillas tipo M y se encuentran cortadas por las vetillas tipo B y posteriores.



Foto 4.10 Vetillas de Cuarzo-Pirita (tipo A), nótese que se presentan de manera sinuosa y sin halo de alteración.

4.2.3.3 Vetillas de Cuarzo-Pirita-Calcopirita±Bornita±Calcosina±Esfalerita (Tipo B)

Estas son las vetillas que evidencian los efectos retrógrados causados, por el descenso de la temperatura y la incorporación de fluidos meteóricos al sistema hidrotermal (Gustafson y Hunt; 1975).

Caracterizada por la presencia de un halo de alteración, generalmente de feldespato K o sericita, con algunas suturas de sulfuros en el centro de la vetilla (ver foto 4.11), contienen cuarzo, calcopirita, pirita y en menor cantidad bornita, calcosina y esfalerita. Estas se presentan algunas veces cortando vetillas tipo A y tipo M, encontrándose emplazadas en las rocas intrusivas y volcanoclásticas.



Foto 4.11 Vetillas de Cuarzo-Calcopirita-Pirita (tipo B), nótese que se presentan de manera regular con sutura de sulfuros en el centro y un halo fino de alteración de feldespato K.

4.2.3.4 Vetillas de Pirita-Cuarzo-Calcopirita±Bornita (Tipo D)

Una característica de estas vetillas es su sobreimposición a las fases de alteración precedentes (telescoping), es decir, en zonas de vetillas de mayor temperatura. Por lo general aparecen con halo de alteración sericítico, aunque también es común el halo clorítico. Composicionalmente se caracterizan por la asociación de pirita + calcopirita. (Gómez y Molano; 2009).

Se caracterizan por desarrollarse en el depósito a manera de finas vetillas continuas, con emplazamiento muy denso en los volcanoclásticos (en muchas zonas se observa como vetillas finas de óxidos de hierro por alteración de la pirita) (Ver foto 4.12) y menor densidad en rocas intrusivas.



Foto 4.12 Muestra FO-030 mostrando vetillas de calcopirita-pirita (tipo D) un poco oxidadas con un halo de clorita.

4.2.3.5 Vetillas de Clorita-Epidota±Calcita±Cuarzo

Vetillas que se presentan tardías, relacionadas a zonas con alteración propilítica, presentando principalmente composición de epidota-clorita y que cortan generalmente a las rocas volcanoclásticas.

4.2.3.6 Vetillas de Carbonatos (Calcita)

Este tipo de vetillas son las más recientes en el área, se superponen y cortan a todas las vetillas nombradas anteriormente. Su grosor varía desde pocos milímetros hasta centímetros y su composición es básicamente de calcita rellenando anteriores vetillas tipo D (oxidadas).

4.3 MINERALIZACIÓN.

Los pórfidos cupríferos son esencialmente depósitos minerales de baja ley y gran tonelaje. Se denominan pórfidos porque frecuentemente, pero no exclusivamente, se asocian con rocas ígneas intrusivas con fenocristales en una masa fundamental cristalina de grano fino, o sea pórfidos.

Los depósitos de pórfido se pueden subdividir en distintos tipos considerando su contenido metálico. Estos tipos incluyen Cu-Mo, Cu-Au, Cu-Au-Mo. Los depósitos de tipo pórfido están relacionados genéticamente y espacialmente con intrusiones ígneas félsicas.

Tanto los intrusivos, como las rocas de caja típicamente muestran un fracturamiento fuerte y pervasivo. La única condición para la mineralización es que la roca huésped sea rígida o frágil desde el punto de vista estructural.

La mineralización y alteración pueden presentarse tanto en intrusivos, como en las rocas de caja. El núcleo del sistema mineralizado presenta la alteración hidrotermal más intensa, la que se denomina potásica, debido a que se agrega potasio a las rocas afectadas por esta alteración. Sin embargo la alteración sódica-cálcica es típica de sulfuros y pobre en metales, pero puede albergar mineralización de depósitos de pórfido ricos en Au.

Los minerales calcopirita±bornita en muchos pórfidos, son en gran parte confinados a zonas potásicas, con uno o más centros ricos en bornita, caracterizando la parte central profunda de muchos depósitos. Núcleos de pórfidos de calcopirita-bornita forman anillos y van gradando al exterior hacia anillos de calcopirita-pirita, los cuales con el incremento del contenido de azufre varían hacia anillos de pirita, presentándose la pirita típicamente en partes alrededor de zonas propilíticas.

La zona potásica grada hacia afuera a una zona filica que contiene cuarzo y sericita (que es en realidad una fase intermedia entre illita y muscovita). Por lo que Cu y/o Au de las zonas potásicas tienden a sufrir una disminución durante la superposición de sericita-clorita. La zona filica es comúnmente dominada por pirita, implicando la remoción efectiva de Cu (\pm Au) presente en las antiguas

asociaciones de minerales de alteración potásica. Sin embargo la alteración filica puede también constituir asociaciones minerales, donde remanentes de Cu son apreciables junto a la pirita o como arreglos de estado de alta sulfuración (típicamente pirita-bornita, pirita-calcosina, pirita-covellina, pirita tennantita y pirita-enargita) (Sillitoe, 2010).

El desarrollo principal de la bornita, calcosina y covellina (arreglos típicos de alta sulfuración) son en gran parte confinados a alteración de sericita blanca que sobreimprime a las ahora estériles vetillas de cuarzo en stockwork. Estos arreglos de alta sulfuración comúnmente tienen alto contenido de Cu con respecto a la temprana alteración potásica, resultando en un enriquecimiento hipógeno, aunque algo de Au puede ser agotado (Sillitoe, 2010).

Los sulfuros cupríferos ocurren típicamente como granos finos de revestimiento en granos de pirita diseminada, los cuales conducen a un difícil reconocimiento en depósitos, los cuales también se sometieron a enriquecimiento supérgeno de sulfuros de Cu. La contribución hipógena comúnmente no es distinguible del enriquecimiento supérgeno (Sillitoe, 2010).

Generalmente la mineralización presenta un núcleo de baja ley que contiene pirita diseminada que grada hacia fuera en una zona de mena. En la zona de mena se presentan vetillas y diseminación de pirita con calcopirita subordinada (mena de cobre). Es frecuente el desarrollo de una zona de pirita externa la que pasa hacia fuera a roca no mineralizada.

La zona de mena en los pórfidos cupríferos usualmente se presenta dentro del núcleo de alteración potásica y puede extenderse dentro de la zona filica, frecuentemente en el sector más interno se presenta una mayor proporción de sulfuros ricos en cobre como bornita, gradando hacia fuera a una mayor proporción de calcopirita, para finalmente en el sector más externo presentar solo sulfuros de Fe (pirita) (Sillitoe, 2010).

Normalmente no existe un límite físico del cuerpo mineralizado que puede ocurrir tanto en intrusiones, como en rocas de caja; consecuentemente el límite de un yacimiento de este tipo es fijado en términos económicos con una ley de corte.

La mineralización de la concesión Cascabel generalmente está asociada a zonas de stockwork, de vetas amplias y difusas, brechas, algunas fallas mineralizadas o zonas de alteración hidrotermal (potásica o filica).

Los minerales presentes en la concesión Cascabel son principalmente la pirita y calcopirita acompañadas en pequeñas cantidades de bornita, calcosina, covellina, esfalerita, galena y oro nativo.

En el área donde se presenta mayoritariamente la alteración argílica intermedia, al sur de la concesión, en la quebrada Alpala, también se identificaron pequeñas zonas alargadas de alteración filica (sericítica) con un sistema de stockwork de vetillas de cuarzo con calcopirita, bornita y localmente oro visible asociado a bordes de vetillas con sílice gris. La parte principal de esta zona presenta reemplazamiento casi completo de vetillas de cuarzo, disminuyendo en su densidad hacia los bordes. La mayoría de vetillas presentan una dirección preferencial N315 buzando 70° al Noreste y el espesor total aproximado de esta zona es de 40 metros (Poma, 2012d).

En el estudio calcográfico de varias muestras tomadas en sector (Ver Anexo N°5) se ha podido identificar que las vetillas presentan cuarzo sacaroidal con abundante calcopirita (0.1 a 0.5mm) en los intersticios del cuarzo. En algunos sectores se observa calcopirita con núcleos de pirita y algunos granitos pequeños de bornita de tono rosado.

Hacia la zona central de las vetillas, la calcopirita es bastante más gruesa (0.5 a 1mm) y forma una red continua entre los cristales de cuarzo. Contiene también pirita y láminas de bornita (Ver foto 4.13.a) y en forma excepcional se detectan dos granos de oro nativo (30 micrones), encapsulado en calcopirita (Ver foto 4.13.b). Alrededor de los cristales de la calcopirita, se reconoce una película delgada de calcosina gris (Ver foto 4.13.a).

En otro sector de la muestra se aprecia un agregado continuo de sulfuros, consistentes en granos alargados de pirita, con fracturas y márgenes con calcopirita fina y cristales grises de calcosina. También aparecen granos puros de calcopirita, parcialmente reemplazados por calcosina.

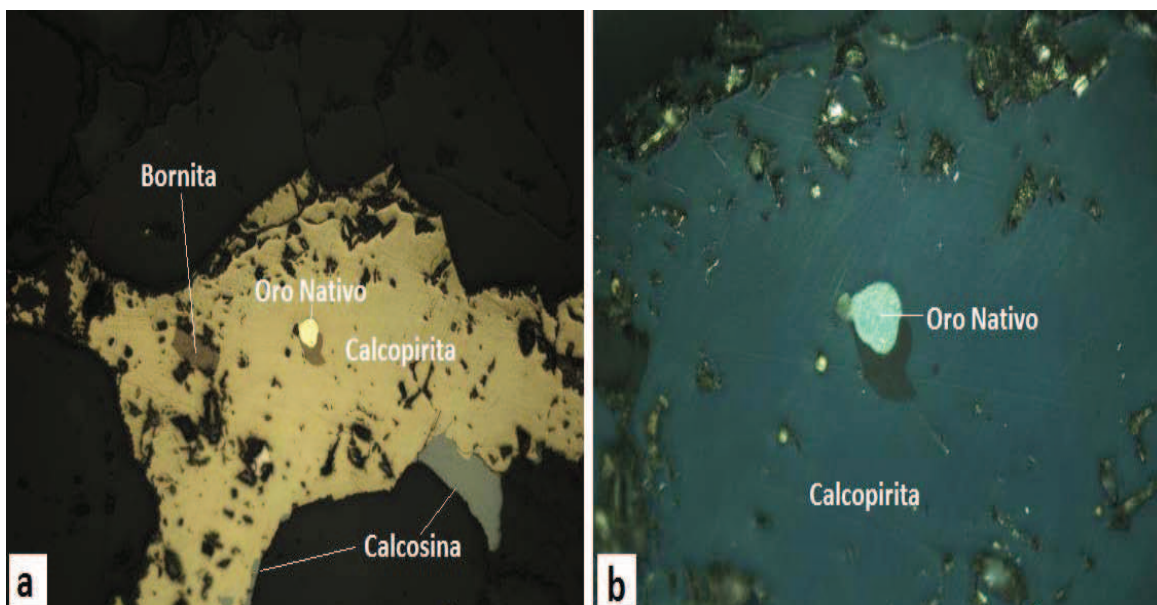


Foto 4.13 a) Muestra FO-062 con aumento 20x14, nicoles paralelos, mostrando la ocurrencia de oro nativo, incrustado en un grano mayor de calcopirita, con láminas de bornita rosada. En los márgenes de la calcopirita, se observa calcosina gris. **b)** Muestra FO-062 con aumento 20x14, nicoles paralelos y luz polarizada, mostrando las trazas de pulimiento característico y alta reflectividad del grano de oro nativo.

Los valores de oro y cobre en chips de rocas (ver tabla 4.1) muestran anomalías en las quebradas Alpala y El Carmén, las cuales se relacionan a la franja de alteración-mineralización de dirección N320 que atraviesa por estas quebradas.

Oro	> 0.1 g/t	> 0.5 g/t	Valor máximo	Promedio de valores
	93 muestras (52%)	26 muestras (14%)	5.93 g/t	0.32 g/t
Plata	> 5.0 g/t	> 30.0 g/t	Valor máximo	Promedio de valores
	43 muestras (24%)	10 muestras (5%)	150.0 g/t	7.25 g/t
Cobre	> 0.01%	> 0.1 %	Valor máximo	Promedio de valores
	144 muestras (80%)	36 muestras (20%)	3.23%	0.13 %

Tabla 4.1. Resultados de análisis de 179 muestras de chips de rocas en la concesión Cascabel (Tomado de news release Cornerstone septiembre 13, 2011).

También se identificaron ocasionales vetas de cuarzo, de hasta 20 cm de espesor, con pirita, calcopirita, bornita y esfalerita, algunas conteniendo malaquita (ver foto 4.14), hospedadas en las rocas con alteración propilítica débil por los sectores de la quebrada Parambas y Morán, apreciándose la oxidación de la pirita y desarrollo de goethita con hematita y agujitas de covelina y malaquita en torno a calcopirita.

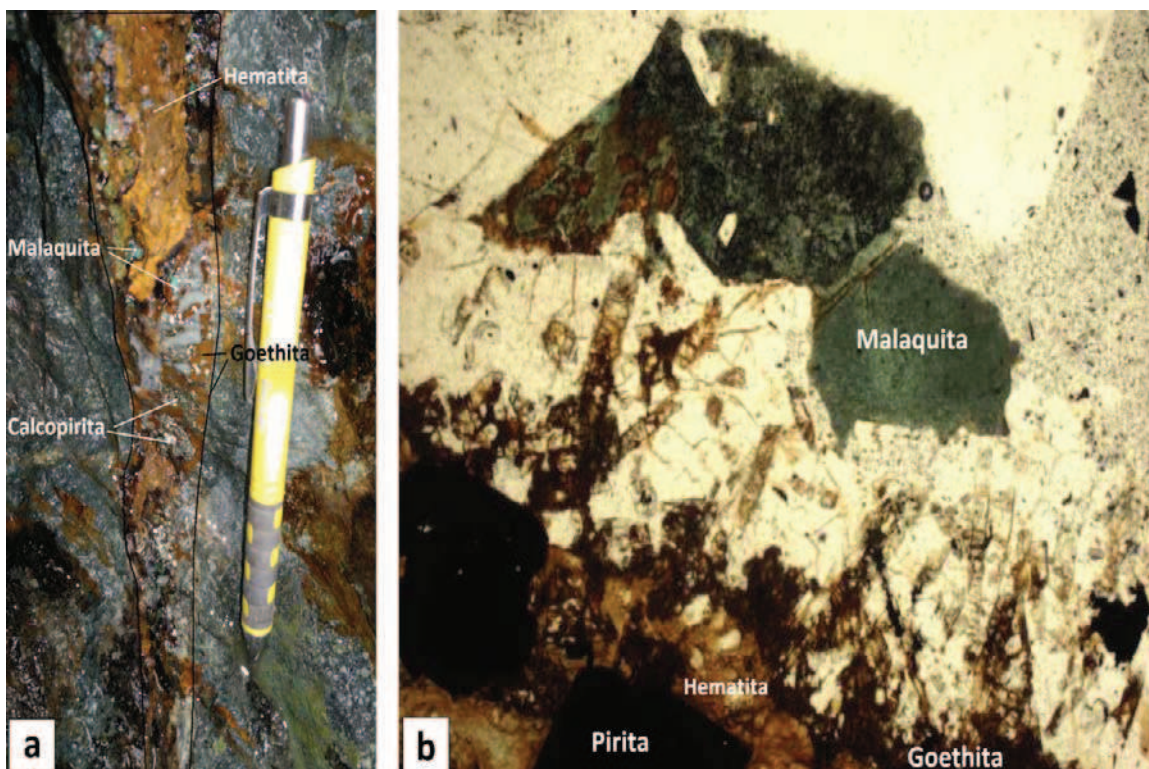


Foto 4.14 a) Veta de calcopirita-cuarzo-malaquita y óxidos de hierro de aproximadamente 3cm de espesor. **b)** Muestra FO-053 con aumento 10x14, nicols paralelos y luz con condensador, detalle de la formación de malaquita verde con limonitas anaranjadas, en los espacios intersticiales de la venilla de cuarzo con epidota.

Brechas hidrotermales con cuarzo-carbonato, pirita, esfalerita, calcopirita y galena y rodados de estas se presentan a lo largo de las quebradas de la zona sur del área de estudio. Este tipo de mineralización con vetillas polimetálicas se presenta relacionado a estructuras y las vetillas generalmente alcanzan pocos centímetros de espesor; se ubica en los flancos de la alteración argílica intermedia y está hospedada en rocas propilitizadas; este tipo de mineralización está asociado a los bordes de los sistemas porfídicos.

La brecha hidrotermal presenta agregados muy gruesos de calcopirita (5 a 15mm) que puede presentar inclusiones de pirita blanca de hábito trapezoidal y cúbico (0.2-0.4mm en lámina delgada) y en un sector aparece una inclusión de un cristal gris de esfalerita (0.2mm en lámina delgada) asociado a calcopirita (ver foto 4.15).

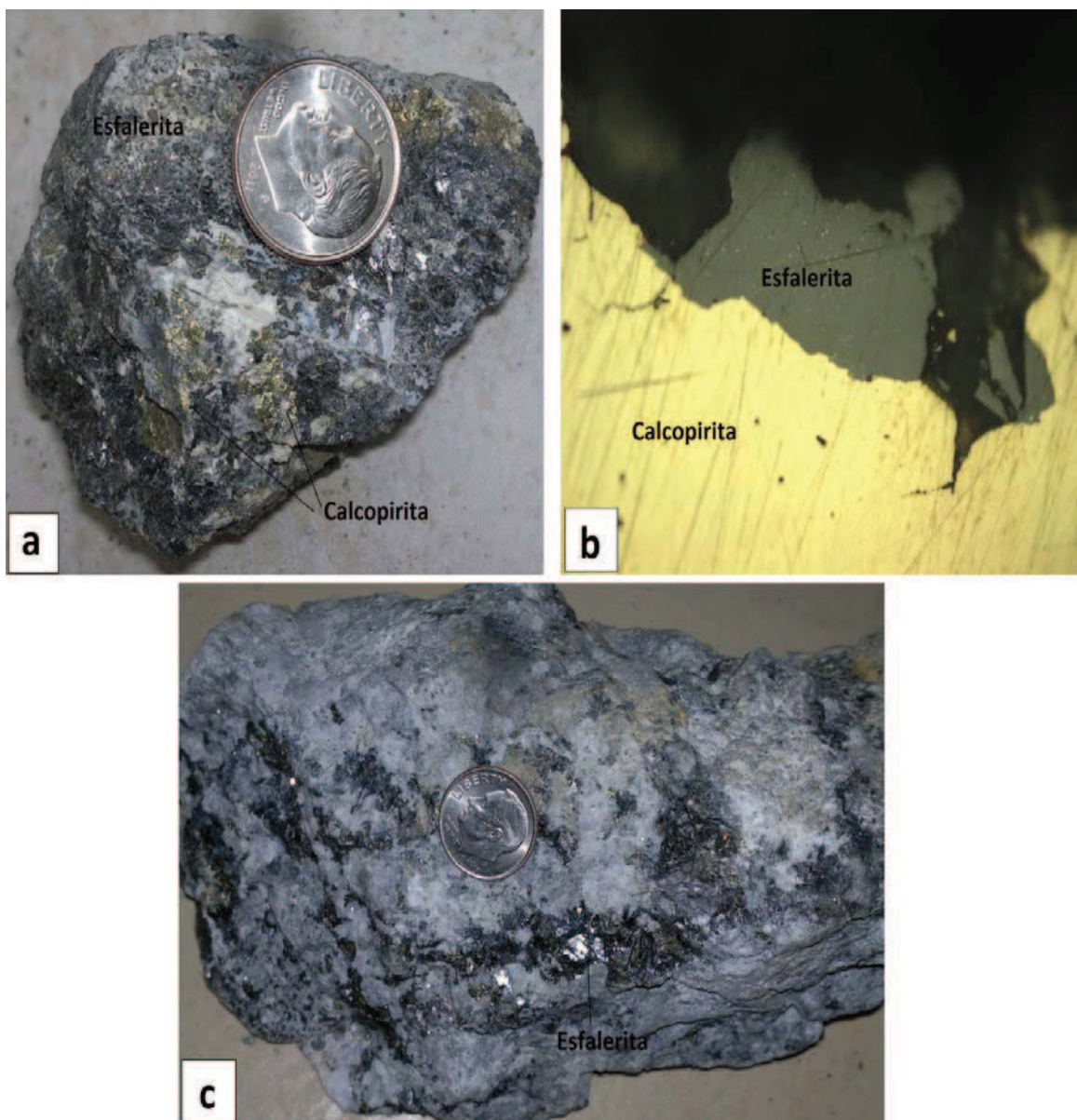


Foto 4.15 a) Muestra FO-015 de esfalerita-calcopirita tomada de una brecha hidrotermal en la quebrada Morán. b) Muestra FO-010 con aumento 50x14, nicoles paralelos, observándose con alto aumento la presencia de un cristal de esfalerita asociado a la calcopirita gruesa de una venilla. c) Muestra FO-039 de un rodado encontrado en la quebrada Morán de una brecha hidrotermal con esfalerita.

La mineralización en las rocas volcanoclásticas, se ha encontrado generalmente de manera diseminada sobre los fragmentos líticos de la roca o sobre la matriz, consistiendo principalmente en granitos cúbicos anhedrales de pirita con inclusiones de rutilo gris, observándose también agregados mayores de pirita granular y una cantidad menor de calcopirita fina.

Magnetita granular parcialmente martitizada se puede observar como parte de la mineralización. En la periferia de la magnetita se encuentra pirita blanca y abundante calcopirita, en general de granulometría fina entrecrecida con epidota. La calcopirita está bastante fresca, de color amarillo dorado. En un sector, se encuentra bornita como una fase tardía, rodeando y reemplazando a calcopirita (Ver foto 4.16). La bornita es de color rosado pálido y puede presentarse en algunos cristales aislados.

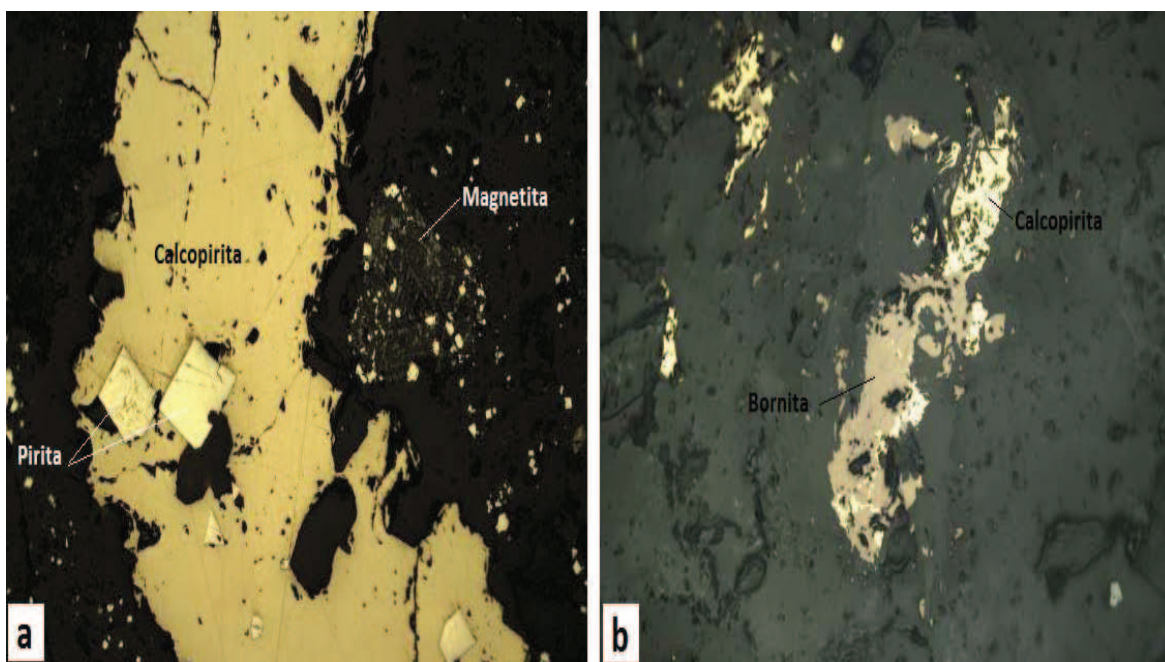


Foto 4.16 a) Muestra FO-010 con aumento 5x14, nicoles paralelos, mostrando detalle de una venilla hidrotermal de cuarzo con clorita y calcita, que presenta una banda gruesa de calcopirita con inclusiones de pirita de hábito cúbico. A la derecha, en la roca, un relicto de magnetita, con un reticulado de rutilo y sobreimposición de pirita fina. **b)** Muestra FO-062 con aumento 20x14, nicoles paralelos, mostrando el detalle de la asociación de calcopirita con bornita.

Venillas de cuarzo con raíces de epidota, presentan unos agregados macizos de calcopirita pura de 2 a 3 mm de espesor, con fracturas irregulares de limonitas grises. En un sector de la venilla, se encuentra un tramo con pirita cúbica (0.2-0.5mm) alterándose a limonitas grises, con microfracturas de calcopirita, indicando que parte de la venilla, podría haber contenido pirita algo más temprana. En el borde de la venilla, se encuentra abundante pirita diseminada sobre los máficos y calcopirita gruesa (0.2-0.5mm), rodeando a la pirita (Ver foto 4.16).

Como minerales supérgenos, se observan trazas de covelina sobre granitos de calcopirita fina.

Los análisis de secciones calcográficas y rocas en la cuenca baja del río Cristal muestran la débil mineralización y alteración presente, la cual al parecer representa los bordes del sistema porfídico, siendo identificada la zona central en las quebradas Alpala y Morán.

CAPÍTULO 5

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

En este capítulo, se presenta una interpretación general de las alteraciones hidrotermales y mineralización de la zona de estudio, a través de un corte de las zonas que presentan mayor interés. Elaborando un modelo interpretativo, para poder entender los eventos que han tenido lugar en la formación del yacimiento de la concesión Cascabel.

Las observaciones de campo y posterior estudio de 18 láminas delgadas (Ver Anexo N°4), 10 secciones pulidas (Ver Anexo N°5), 215 espectros de alteración (Ver Anexo N°3) han permitido definir que en la concesión Cascabel, existen 5 tipos de alteración hidrotermal, mediante la diferenciación de los distintos patrones de alteración y mineralización, los diferentes tipos de vetillas y diferentes asociaciones de minerales de alteración.

Los distintos patrones de alteración, así como los diferentes tipos de vetillas encontradas en la zona de estudio, indican que el tipo de depósito presente en la concesión Cascabel corresponde, a un yacimiento de tipo pórfido de Cu-Au.

Las diferentes asociaciones de minerales de alteración, determinan los distintos tipos de alteración encontrados en la concesión Cascabel que son:

- Magnetita-Actinolita-Clorita±Cuarzo±Biotita (Alteración Potásica).
- Sericita-Cuarzo-Pirita±Clorita±Illita (Alteración Fílica).
- Clorita-Epidota-Calcita±Sericita±Esmectita±Pirita±Illita (Alteración Propilítica).
- Illita-Caolín-Sericita±Esmectita±Pirita±Clorita (Alteración Argílica Intermedia).

Así mismo se ha podido discriminar varios tipos de vetillas, en base a relaciones de corte y asociaciones mineralógicas, las mismas que son:

- Vetillas de Magnetita±Cuarzo±Actinolita (Tipo M)
- Vetillas de Cuarzo-Pirita±Magnetita±Calcopirita (Tipo A)

- Vetillas de Cuarzo-Pirita-Calcopirita±Bornita±Calcosina±Esfalerita (Tipo B)
- Vetillas de Pirita-Cuarzo-Calcopirita±Bornita (Tipo D)
- Vetillas de Clorita-Epidota±Calcita±Cuarzo
- Vetillas de Carbonatos (Calcita)

Tres de los seis tipos de vetillas se presentan con mineralización de sulfuros, siendo las más importantes las vetillas tipo B presentes en la quebrada Alpala (ver foto 5.1), debido a que estas presentan un alto contenido de oro y cobre (4.9 g/t de Au y 1.3% de Cu). Las vetillas de carbonatos tardías y las de clorita-epidota son las únicas que no aportan mineralización al sistema porfídico.

A partir de la asociaciones de minerales observadas y las relaciones de corte se puede concluir que la secuencia paragenética de las vetillas se presenta de la siguiente manera: vetillas tipo M, vetillas tipo A, vetillas tipo B, vetillas tipo D, vetillas de clorita-epidota y finalmente una fase posterior de vetillas de calcita.



Foto 5.1. Vetillas tipo B de cuarzo con suturas centrales de magnetita, calcopirita y algo de bornita tomadas durante muestreo de canal en la quebrada Alpala. (Tomado de news release Cornerstone Resources enero 24, 2013).

La alteración propilítica se encuentra ampliamente distribuida en la zona de estudio y afecta a las rocas volcanoclásticas de la Unidad San Juan de Lachas e intrusivos presentes en la zona de estudio. Esta alteración presenta un característico color verde, debido a la presencia de gran cantidad de clorita y epidota; generalmente este tipo de alteración se encuentra asociado a vetillas de clorita-epidota y en ciertas zonas restringidas a vetillas de sulfuros tipo D de piritacuarzo-calcopirita-pirita±bornita, encontrándose también gran cantidad de piritita y calcopirita diseminada en las rocas que presentan este tipo de alteración.

Hacia la parte baja de la cuenca del río Cristal, la alteración propilítica presente disminuye progresivamente; en la zona de confluencia con el río Verde las rocas casi no tienen alteración. Sin embargo pequeñas estructuras decimétricas con alteración argílica intermedia (illita-caolín) son observadas en este sector.

La mineralización relacionada con la alteración propilítica se presenta de forma débil, sin embargo se ha podido observar vetillas de brechas hidrotermales y rodados de brechas hidrotermales con cuarzo-carbonato, piritita, esfalerita, calcopirita y galena. Este tipo de mineralización con vetillas polimetálicas se presenta relacionado a estructuras y generalmente alcanza pocos centímetros de espesor; se ubica en los flancos de la alteración argílica intermedia y está hospedado en rocas propilitizadas. Este tipo de mineralización está asociado a los bordes de los sistemas porfídicos.

La alteración potásica se encuentra principalmente asociada con el pórfido andesítico de color gris oscuro y la diorita hornbléndica con textura porfídica. La diorita hornbléndica se encuentra intruyendo al pórfido andesítico; los contactos están fuertemente controlados por estructuras N300°.

En la diorita hornbléndica se observa alteración potásica con presencia de vetillas tipo A de cuarzo-magnetita-calcopirita-malaquita, vetillas locales de magnetita-calcopirita, piritita-calcopirita junto a calcopirita y bornita diseminada. Esta alteración presenta sobreimposición de alteración propilítica con vetillas de cuarzo-epidota-carbonato.

En el pórfido andesítico se observa mayor densidad de vetillas de cuarzo-epidota, con esporádicas vetillas de cuarzo (tipo A); alteración potásica ha podido ser

inferida por el estudio de láminas delgadas, sin embargo la alteración predominante que se puede observar es propilítica, debido a la sobreimpresión de ésta sobre la alteración potásica.

En la parte alta de la quebrada Morán, se observa el contacto del pórfido andesítico con los volcanoclásticos, presentándose una zona de pocos metros con alteración potásica con mineralización de pirita-calcopirita y presencia de vetillas tipo A, pasando rápidamente a alteración argílica intermedia y luego a la alteración propilítica. En la parte media de la quebrada, la diorita hornbléndica presenta alteración potásica con bandas de alteración fílica y hematita diseminada en ciertos lugares. En la parte baja en el contacto con las rocas volcanoclásticas con el pórfido andesítico se observan vetillas de cuarzo-carbonato-epidota, hospedados en rocas con alteración propilítica.

En la parte central de la quebrada Morán se ha identificado que 16 muestras (49%) presentan > 100 ppb de oro y 22 muestras (69%) > 500 ppm de cobre, incluyendo valores arriba de 1.84 g/t de oro y 1.62% de cobre en vetillas y rocas con alteración potásica, indicando una zona altamente prospectiva (News release Cornerstone Resources septiembre 17, 2012).

La alteración fílica se encuentra presente en los bordes de la alteración potásica, asociada a fracturas a lo largo de la parte norte de la concesión, afectando a tobos y brechas volcanoclásticas, observándose en ciertos sectores que la sericita se encuentra alterada a illita, produciendo zonas mezcladas con alteración fílica y alteración argílica intermedia.

La alteración argílica intermedia se presenta como una zona amplia, en la parte alta al Sur de la zona de estudio y presenta una dirección preferencial hacia el Noroeste, afectando principalmente a las rocas volcanoclásticas.

La parte central de esta zona se presenta con alteración fílica y reemplazamiento casi completo de vetillas de cuarzo, identificándose un sistema de stockwork de vetillas de cuarzo con calcopirita, bornita y en casos excepcionales oro visible, asociado a bordes de vetillas con sílice gris en el sector de la quebrada Alpala, disminuyendo en su densidad hacia los bordes. La mayoría de vetillas presentan

una dirección preferencial N315 buzando 70° al Noreste. El espesor total aproximado de esta zona es de unos 40 metros.

Muestreo de chips de rocas en la quebrada Alpala, han arrojado valores que varían de 1.14 a 4.86 g/t de oro y de 0.51 a 1.30% de cobre en rocas y vetillas de tipo B presentes en este sector (News release Cornerstone Resources septiembre 17, 2012).

También se identificaron ocasionales vetas de cuarzo, de hasta 20 cm de espesor, con calcopirita, bornita y esfalerita, hospedadas en las rocas con alteración propilítica débil. Estas vetas de tipo mesotermal, corresponderían a los bordes de las zonas principales de alteración en los sistemas tipo pórfido (Ver figura 5.1).

La amplia distribución de la alteración argílica y la más restringida alteración fílica, podrían representar las partes superficiales de un sistema de tipo pórfido similar al identificado en la zona de la quebrada Morán.

Los valores de oro y cobre en rocas, muestran anomalías en las quebradas Alpala y El Carmen, las cuales se relacionan a la franja de alteración-mineralización de dirección N320 que atraviesa las quebradas Alpala, El Carmen y Morán.

En resumen dos zonas principales con alteración-mineralización relacionadas a un sistema porfídico de Cu-Au han sido reconocidas (Ver figura 5.1).

La primera en el sector de la quebrada Morán, extendiéndose hacia las quebradas Tandayama y América, presentando una dirección preferencial hacia el Noroeste. En esta zona se reconoce alteración potásica con vetillas de tipo A, con cierta sobreimpresión de alteración propilítica y fílica.

El segundo sector ha sido reconocido en el sector de la quebrada Alpala y El Carmen, presentando stockwork de vetillas de cuarzo tipo B, con bastante contenido de oro y cobre de acuerdo a anomalías geoquímicas, presentando además en las partes exteriores vetillas de calcopirita, bornita y esfalerita tipo mesotermal que corresponderían a los bordes de las zonas principales de alteración en los sistemas tipo pórfido, la alteración presente es argílica intermedia-fílica.

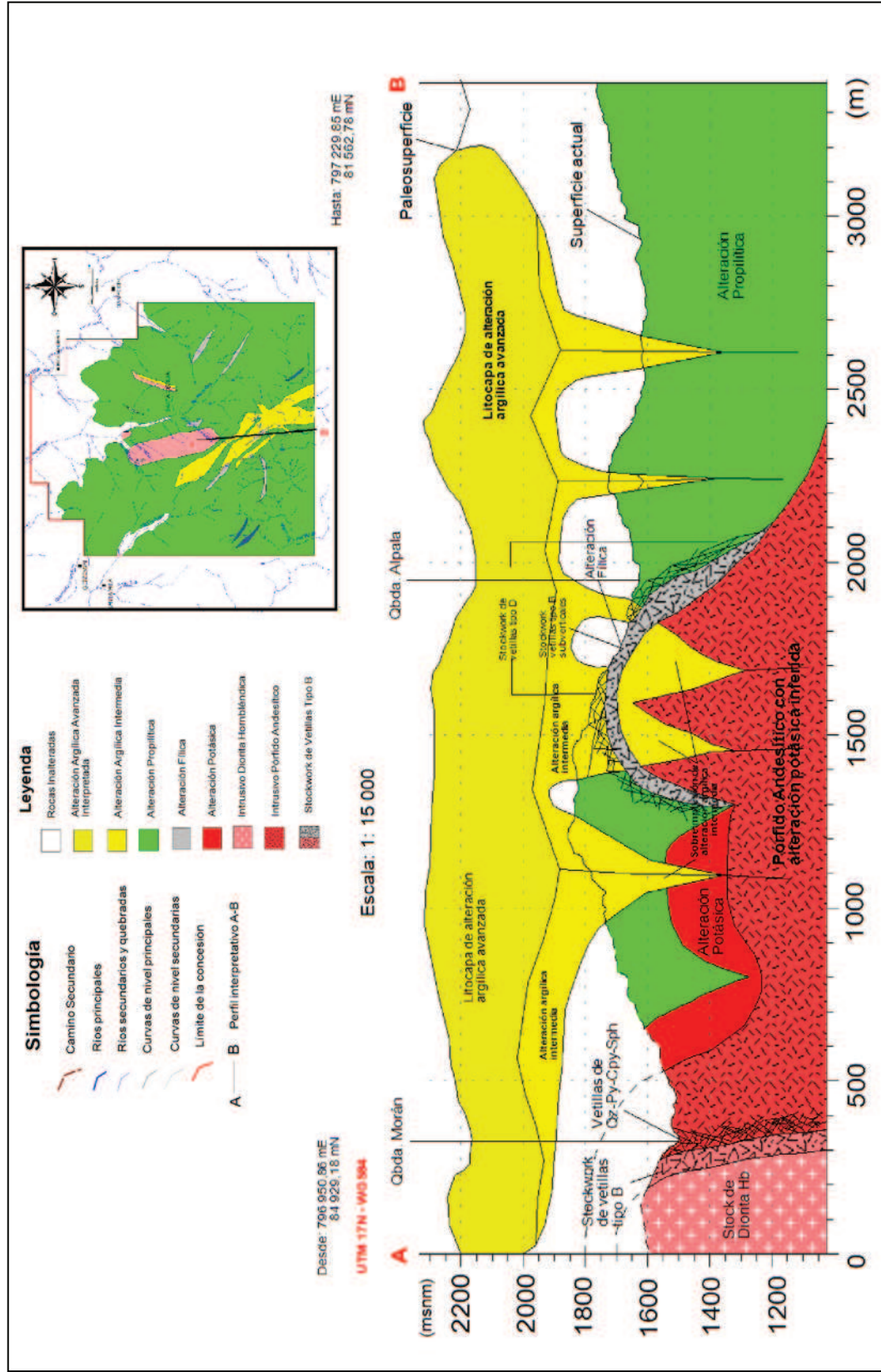


Figura 5.1. Corte de alteraciones presentando las dos zonas principales de alteración-mineralización junto con la interpretación de las diferentes alteraciones.

Sin embargo, estos dos sectores podrían pertenecer al mismo sistema, ya que la diferencia de topografía hace que hacia la parte baja aflora el pórfido, mientras que hacia la parte alta todavía se presenta alteración argílica intermedia, siendo zonas remanentes de la zona baja de la litocapa característica presente en sistemas porfídicos; probablemente esta fue erosionada en la parte baja, razón por la cual aflora el pórfido.

La litocapa de alteración argílica avanzada en la concesión Cascabel es interpretada, debido a que esta no se la ha observado en el campo, pero se tiene indicios tales como: sílice residual, debido a la lixiviación de las bases en ciertas zonas de la concesión y rodados con alteración argílica avanzada de esta litocapa.

Infiriéndose que esta litocapa de alteración argílica avanzada estuvo presente, cubriendo gran parte de la zona sur de la concesión; sin embargo, esta fue erosionada y removida, quedando únicamente la alteración argílica intermedia presente en la actualidad en la zona de estudio. Se observa que los rodados de esta litocapa contienen minerales como dickita, caolín y pirofilita típicos de la alteración argílica avanzada. Estos rodados se encuentran hacia la parte baja del río Cristal donde confluye con el río Verde.

Donde afloran los conglomerados del río Mira, no se observa alteración, debido a que estos conglomerados del Cuaternario fueron depositados después de la alteración que afecta a las rocas de la zona de estudio. Así mismo los depósitos aluviales cuaternarios producto de la erosión de las partes alta de la zona también se presentan sin alteración.

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

6.1. CONCLUSIONES.

- La concesión Cascabel (5000 ha.) se ubica en el cinturón de pórfidos de Cu-Au, distrito minero Imbaoeste, situado en el terreno Pallatanga; regionalmente se encuentra situada en el cinturón metalogénico El Corazón-Junín-Cascabel-Chical. Esta franja se extiende por alrededor de 100 km en sentido NE-SO y sigue la dirección de la falla regional Chimbo-Toachi, donde numerosos intrusivos se encuentran emplazados.
- La concesión Cascabel incluye un sistema de tipo pórfido de Cu-Au, con alteración-mineralización asociada a vetillas stockwork y vetas polimetálicas de cuarzo con altos contenidos de Cu-Au y con un claro control estructural NO-SE.
- Se puede observar de acuerdo a las alturas y aspectos geomorfológicos tres zonas principales morfológicas: a) la zona baja al Norte de la concesión, con mesetas y planicies de depósitos aluviales; b) la zona intermedia central más pronunciada y ondulada de colinas medias, con cimas redondeadas, laderas de pendiente moderada que varían entre 15 a 30° y valles amplios poco profundos y c) la zona alta al Sur compuesta por colinas empinadas, con laderas de pendientes fuertes, mayores a 30° y con valles en V profundos.
- La concesión Cascabel presenta sedimentos cretácicos de la Unidad Pilatón que consisten en lutitas laminadas, lutitas, limolitas arenosas e intercalaciones de cherts finamente laminados; calizas bioclásticas con calcita recristalizada eocénicas de la Unidad El Laurel y brechas volcanoclásticas, tobas finas y lavas basálticas a andesíticas de la Unidad San Juan de Lachas de edad Oligoceno. Todas estas unidades se encuentran intruídas por plutones miocénicos y parcialmente cubiertas por terrazas aluviales y coluviales cuaternarios en las partes bajas.

- Tres fases intrusivas han sido reconocidas en el área de estudio siendo la diorita de grano medio a fino la parte central de la intrusión y probablemente el primer pulso magmático, mientras que el pórfido andesítico y la diorita hornbléndica representan las partes periféricas de la intrusión. El pórfido andesítico es un segundo pulso y la diorita hornbléndica que intruye al pórfido andesítico es el pulso final y probablemente es cuando se genera la mineralización presente en el área.
- Al Sur de la concesión se ha identificado una falla principal, la misma que presenta una importante estructura de cizalla con dirección N310°, además de dos direcciones preferenciales de fracturas, vetillas y diaclasas, siendo estas direcciones hacia el Noroeste y hacia el Noreste con buzamientos casi verticales de entre 80° a 90°.
- El equipo Terraspec es una herramienta muy útil en la identificación de minerales del grupo de las arcillas y de la moscovita junto a datos de campo; sin embargo el criterio del geólogo al realizar la interpretación de los espectros es esencial para realizar un buen reconocimiento. El equipo TerraSpec presenta un problema en el reconocimiento de la alteración potásica, debido a la poca presencia de biotita secundaria en la misma y a que la alteración potásica se encuentra sobreimpuesta por alteración propilítica.
- Cuatro tipos de alteraciones afectan a las rocas de la concesión Cascabel, siendo estas:
 - Alteración potásica principalmente en zonas cercanas al afloramiento de las rocas intrusivas, caracterizada por la presencia de bastante magnetita, reemplazando hornblendas, magnetita en venillas y vetillas de tipo A, tipo B y tipo M.
 - Alteración fílica caracterizada por la presencia de sericita-cuarzo-pirita y en menor cantidad clorita e illita, ocurre principalmente acompañada por un control estructural en sentido NO-SE en la parte alta del área de estudio.
 - Alteración argílica intermedia, caracterizada por la formación de minerales arcillosos (illita, caolín), presentando una coloración blanca y un aspecto

deleznable, debido a la presencia de las arcillas, siendo la textura original de las rocas destruida.

Alteración propilítica ampliamente distribuida en la zona de estudio que se define por la presencia de minerales de clorita, epidota, esmectita, sericita, cuarzo y en menor cantidad pirita, illita y calcita, afectando tanto a las rocas intrusivas como a las rocas volcanoclásticas de la Unidad San Juan de Lachas.

- Se han identificado varios tipos de vetillas, en base a relaciones de corte y asociaciones mineralógicas, las mismas que son en secuencia paragenética:
 - ✓ Vetillas de Magnetita±Cuarzo±Actinolita (Tipo M)
 - ✓ Vetillas de Cuarzo-Pirita±Magnetita±Calcopirita (Tipo A)
 - ✓ Vetillas de Cuarzo-Pirita-Calcopirita±Bornita±Calcosina±Esfalerita (Tipo B)
 - ✓ Vetillas de Pirita-Cuarzo-Calcopirita±Bornita (Tipo D)
 - ✓ Vetillas de Clorita-Epidota±Calcita±Cuarzo
 - ✓ Vetillas de Carbonatos (Calcita)

- En el sector de la quebrada Morán, extendiéndose hacia las quebradas Tandayama y América con una dirección preferencial hacia el Noroeste, se ha reconocido alteración potásica con vetillas de tipo A, con cierta sobreimpresión de alteración propilítica y fílica, con contenidos de oro y cobre, en especial con mineralización de pirita-calcopirita-esfalerita-bornita-malaquita.

- En el sector de la quebrada Alpala y El Carmen, se ha identificado un stockwork de vetillas de cuarzo subverticales tipo B, con contenido de oro y cobre, presentando además en las partes exteriores vetillas de calcopirita, bornita y esfalerita tipo mesotermal que corresponderían a los bordes de las zonas principales de alteración en los sistemas tipo pórfido; la

alteración presente es argílica intermedia con zonas intercaladas de alteración filica.

- Los sectores Alpala y Morán podrían pertenecer al mismo sistema porfídico, ya que la diferencia de topografía hace que hacia la parte baja aflore el pórfido, mientras que hacia la parte alta todavía se presenta alteración argílica intermedia, siendo zonas remanentes de la zona baja de la litocapa característica presente en sistemas porfídicos. Probablemente esta litocapa fue erosionada en la parte baja, razón por la cual aflora el pórfido.

6.2 RECOMENDACIONES.

- El uso del equipo TerraSpec se tiene que realizar con suma precaución tratando de evitar daños en el mismo, debido a que el equipo es delicado, en especial hay que tener cuidado con el cable de fibra óptica, ya que es el que transmite los datos de la reflexión electromagnética de los minerales.
- Se recomienda que la interpretación de los espectros de los distintos minerales de alteración, se realice con un criterio geológico y de observaciones realizadas en campo, para que la discriminación de los diferentes minerales de alteración sea lo más correcta posible.
- Se recomienda elaborar un modelo genético; integrando los datos de las interpretaciones de los espectros con el equipo Terraspec, la geoquímica de la concesión más la geología de las alteraciones hidrotermales, con el objetivo de caracterizar de una mejor manera el tipo de mineralización y los posibles niveles de erosión presentes en el área de estudio.
- Se recomienda realizar un levantamiento geológico a detalle 1:5000 y un muestreo sistemático de las zonas de las quebradas Morán y Alpala, que se presentan con mineralización identificada de Cu-Au, para determinar posibles puntos de perforación en estas áreas.
- Se recomienda realizar perforaciones exploratorias en las zonas que presentan mineralización para determinar los límites y la forma del sistema de pórfido en profundidad, así también determinar el potencial verdadero y posibles recursos de la concesión.

- Se recomienda realizar un mapeo y muestreo detallado en el sector del río Collapí y cercanías a la intrusión de la diorita de grano medio, debido a que se ha observado mineralización de Cu en superficie, por lo que posiblemente a profundidad se encuentra la misma, con lo que se podría definir puntos de perforación exploratorios.
- Se recomienda implementar programas de socialización, con las personas que se encuentran viviendo cerca del área de influencia del proyecto, para evitar una oposición en contra del desarrollo de esta etapa y posibles avances a posteriores fases de exploración y/o explotación de la concesión minera Cascabel.

BIBLIOGRAFIA

ASCENDANT COPPER CO. (2005). TECHNICAL REPORT NI-43-101, Review of the Quartz Porphyry-Hosted Copper-Molybdenum Mineralisation at Junín, Otavalo, Ecuador, 12 de octubre 2005. pp 54.

ASPDEN J.A., HARRISON S.H. & RUNDLE C.C. (1992). New geochronological control for the tectonomagmatic evolution of the metamorphic basement, Cordillera Real and El Oro Province of Ecuador., Journal of South American Earth Sciences, 6, 1/2, pp. 77-96.

ASPDEN J.A. & LITHERLAND M. (1992).The geology and Mesozoic collisional history of the Cordillera Real, Ecuador: Tectonophysics, v. 205, pp 187-204

BALDOCK J.W. (1982).Geology of Ecuador: explanatory bulletin of the National Geological Map of the Republic of Ecuador, 1:1,000,000 scale. Dirección General de Geología y Minas (DGGN) Quito.

BALKWILL H.R., RODRIGUEZ G., PAREDES F.I. & ALMEIDA J.P. (1995). Northern part of Oriente Basin, Ecuador: reflexion seismic expression of structures. In Petroleum basins of South America (eds Tankard, A. J., Suarez, S. & Welsink, H. J.), American Association of Petroleum Geologists, Memoir 62, pp 559-571.

BOLAND M.P., PILATASIG L.F., IBANDANGO C.E., McCOURT W.J., ASPDEN J.A., HUGHES R.A., & BEATE B. (2000). Geology of the Western Cordillera between 0°-1°N, Proyecto de Desarrollo Minero y Control Ambiental, Programa de Información Cartográfica y Geológica, Informe No. 10. CODIGEM-BGS, Quito, Ecuador, pp 72.

BURNHAM C.W., & OHMOTO H. (1980). Late-stage processes of felsic magmatism: Mining Geology Special Issue 8, pp 1-11.

CARTEN R.B. (1986). Sodium-calcium metasomatism: Chemical, temporal, and spatial relationships at the Yerington, Nevada, porphyry copper deposit: Economic Geology, v. 81, pp 1495-1519.

CHIARADIA M., FONTBOTE L., PALADINES A. & BEATE B. (2005). Ore Deposits, Magmas and Tectonism in Ecuador. XII Congreso Latinoamericano de Geología, Memorias. pp 5.

CHIARADIA M., VALLANCE J., FONTBOTÉ L., STEIN H., SCHALTEGGER U., CODER J., RICHARDS J., VILLENEUVE M. & GENDALL I. (2009). U–Pb, Re–Os, and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology of the Nambija Au-skarn and Pangui porphyry Cu deposits, Ecuador: implications for the Jurassic metallogenic belt of the Northern Andes., *Miner Deposita*, 44, pp. 371-387.

CORBETT G.J. & LEACH T.M. (1998). Southwest Pacific Rim Gold-Copper Systems: Structure, Alteration, and Mineralization. Society of Economic Geologist, Special Publication Number 6, pp 237.

CORNERSTONE RESOURCES INC. (2011). News Release. Significant Porphyry Copper-Gold mineralization discovered at Cascabel project in Ecuador. Septiembre 13, 2011, pp 4.

CORNERSTONE RESOURCES INC. (2012). News Release. Cornerstone and SolGold Identify Large Gold-Copper Porphyry System at Cascabel Project, Ecuador. Septiembre 17, 2012, pp 8.

CORNERSTONE RESOURCES INC. (2013). News Release. Cornerstone reports 46 m at 0.81 g/t Gold and 0.59% Copper in channel sampling of outcropping porphyry mineralization at the Cascabel Project, Ecuador. Enero 24, 2013, pp 4.

DAVILA C. & LASCANO F. (2009). PLAN DE NEGOCIOS, CIRCUITO ECOLÓGICO DEPORTIVO “TU RUTA”, COMUNIDAD DE SANTA CECILIA. Tesis para la obtención de la Ingeniería en: Administración de Empresas-Comercializadoras de Turismo. Universidad de Especialidades Turísticas “UCT”. Quito-Ecuador. pp 485.

DIRECCION GENERAL DE GEOLOGÍA Y MINAS DGGM (1980). Mapa metalogenico del Ecuador, escala 1:1'000,000 (Paladnes, A. & SANmartin, H.) Quito-Ecuador.

DUNKLEY P. & GAIBOR A. (1997). Geology of the Cordillera Occidental of Ecuador between 2° - 3°S. Proyecto de Desarrollo Minero y Control Ambiental, Programa de Información Cartográfica y Geológica, Informe N°2, CODIGEM–BGS, Quito, Ecuador, pp 139.

EGÜEZ A. (1986). Evolution Cénozoïque de la Cordillère Occidentale Septentrionale d'Equateur (0 15'S o 1 10'S). Las minéralisation associées. Unpublished Ph. D. thesis; Université Pierre et Marie Curie, Paris. Coloquio. pp 116.

FALCONI F. (2012). DISEÑO DE UN SISTEMA DE GESTIÓN INTEGRAL DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES GENERADAS POR EL PROCESO DE EXPLOTACIÓN MINERA EN EL PROYECTO CORAZÓN, CANTÓN COTACACHI. Tesis para la obtención del título en Ingeniería Ambiental. Universidad Central del Ecuador. Quito-Ecuador. pp 155.

FAUCHER B. & SAVOYAT E. (1973). Esquisse Géologique des Andes de l'Equateur., Rev. Géogr. Phys. Géol. Dyn., 15, Fas. 1-2, pp 115-142.

FEININGER T. & BRISTOW C.R. (1980). Cretaceous and paleogene geologic history of coastal Ecuador., Geol. Rundsch., 69, pp. 849-874.

GOBIERNO PROVINCIAL DE IMBABURA (2010). MAPA DE CONCESIONES MINERAS. Escala 1:175000 Dirección de planificación septiembre 2010. Imbabura-Ecuador.

GOETZ A.H.F., ROWAN L.C. & KINGSTON M.J. (1982). Mineral identification from orbit: Initial results from the shuttle multispectral infrared radiometer. Science, 218, pp 1020-1024.

GOMEZ D. & MOLANO J. (2009). Evaluación de zonas de alteración hidrotermal y fases intrusivas, para el prospecto “Stock Porfirítico de Piedra Sentada” (Vereda Santa Lucía) Cauca, Colombia, Geología Colombiana No. 34, pp 75–94.

GUSTAFSON L.B. & HUNT J.P. (1975). The porphyry copper deposit at El Salvador, Chile: Economic Geology, v. 70, pp 857–912.

HEDENQUIST J.W., ARRIBAS A., & REYNOLDS T.J. (1998). Evolution of an intrusion-centered hydrothermal system: Far Southeast-Lepanto porphyry and epithermal Cu-Au deposits, Philippines: *Economic Geology*, v. 93, p. 373–404.

HUGHES R. & BERMUDEZ R. (1997). Geology of the Cordillera Occidental of Ecuador between 0° 00' and 1° 00' S. Proyecto de desarrollo minero y control ambiental, programa de información cartográfica y geológica. Report Number 4. CODIGEM – BGS, Quito – Ecuador. pp 75.

HUGHES R. & PILATASIG L. (2002). Cretaceous and Tertiary terrane accretion in the Cordillera Occidental of the Andes of Ecuador., *Tectonophysics*, 345, pp. 29-48.

HUNT G.R. (1977). Near-infrared (1.3-2.4 μm) spectra of alteration minerals – potential for use in remote sensing. *Geophysics*, 44, pp 1974-1986.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA - INAMHI (2009). ANUARIO METEOROLÓGICO Nro. 49. Dirección de Gestión Meteorológica Procesamiento y Edición: SIGIHM. Quito- Ecuador. pp 102.

INEMIN (1990). Inventario de los recursos mineros metálicos en el noroccidente del Ecuador.

JAILLARD E., ORDOÑEZ M., BENITEZ S., BERRONES G., JIMENEZ N., MONTENEGRO G. & ZAMBRANO I. (1995). Basin development in an accretionary, oceanic-floored fore-arc setting: southern coastal Ecuador during Late Cretaceous - Late Eocene time., In: A.J. Tankard, R. Suárez S., and H.J. Welsink., *petroleum basins of South America.*, AAPG, Memoir 62, pp. 615-631.

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY - JICA (1998). Informe final sobre la exploración mineral de cooperación técnica en el área de Imbaoste. Republica del Ecuador.

KEHER, W., VAN DER KAADEN, G. (1979). Notes on the geology of Ecuador, with special reference to the Western Cordillera: *Geologische Jahrbuch*, v. 35, p. 5-57.

KERR A.C., MARRINER G.F., TARNEY J., NIVIA A., SAUNDERS A.D., THIRLWALL M.F. & SINTON C.W. (1997). Cretaceous basaltic terranes in Western Colombia: elemental, chronological and Sr-Nd isotopic constraints on petrogenesis: *Journal of Petrology*, v. 38, pp 677–702.

KERR A.C., ASPDEN J.A., TARNEY J. & PILATASIG L.F. (2002). The nature and provenance of accreted oceanic Blocks in western Ecuador: geochemical and tectonic constraints: *Journal of the Geological Society*, v.159, pp 577-594.

LEBRAT M., MEGARD F., DUPUY C. & DOSTAL J. (1987). Geochemistry and tectonic setting of pre-collision Cretaceous and Paleogene volcanic rocks of Ecuador. *Bulletin Geological Society of America*. pp 569-578.

LUZIEUX L.D.A. (2007). Origin and Late Cretaceous-Tertiary evolution of the Ecuadorian forearc. PhD Thesis, Institute of Geology ETH Zürich, Switzerland, pp 197.

MAKSAEV V. (2000). Folleto de Conceptos Básicos de Alteración Hidrotermal, Chile. pp. 14

McCOURT W., ASPDEN J.A. & BROOK M. (1984). New geological and geochronological data from the Colombian Andes: Continental growth by multiple accretion. *Journal of the Geological Society of London* 141. pp 831-845.

McCOURT W., DUQUE P. & PILATASIG L. (1997). Informe N° 3, proyecto de Desarrollo Minero y Control Ambiental, Programa de información Cartográfica y Geológica: Mapa escala 1: 200.000. *Geology and Mineral deposits of the Western Cordillera of Ecuador between 1 – 2 ° S*. CODIGEM – BGS, Quito – Ecuador.

MEGARD F. & LEBRAT M. (1987). Los terrenos exóticos del occidente Ecuatoriano y sus relaciones con Sudamérica. *Coloquio Ecuador 86* Quito. Casa de la Cultura 240. pp 161-172.

MEYER C. & HEMLEY J.J. (1967). Wall Rock Alteration. En: *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*, Primera Edición, Hubert L. Barnes (ed.), Holt, Rinehart and Winston Inc. Publication, pp 166-235.

MICON RESOURCES (2005a). TECHNICAL REPORT, review of the quartz porphyry hosted copper-molybdenum mineralisation at Junín, Otavalo, Ecuador. 23 June 2005. pp 61.

MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS (2012). MAPA DE RED VIAL ESTATAL. Escala 1:1300000. Coordinación general de planificación junio 2012. Quito-Ecuador.

MOSQUERA C.F. (1949). Viaje de reconocimiento y estudio por el Río Santiago (Prov. de Esmeraldas) Boletín Inf. Científico Nacional 2. pp 15-24.

PARDO CASAS F. & MOLNAR P. (1987). Relative motion of the Nazca (Farallon) and South American Plates since late Cretaceous time., *Tectonics*, 6, 3, pp. 233-248.

POMA O. (2012a). Reporte de Trabajo de Campo Proyecto CASCABEL mayo 2012. Informe interno no publicado. pp 11.

POMA O. (2012b). Reporte de Trabajo de Campo Proyecto CASCABEL junio 2012. Informe interno no publicado. pp 10.

POMA O. (2012c). Reporte de Trabajo de Campo Proyecto CASCABEL julio 2012. Informe interno no publicado. pp 11.

POMA O. (2012d). Reporte de Trabajo de Campo Proyecto CASCABEL agosto 2012. Informe interno no publicado. pp 10.

PRODEMINCA. (2000). EVALUACIÓN DE DISTRITOS MINEROS, Volumen 4 “*Depósitos porfídicos y epi-mesotermales relacionados con Intrusiones de las cordilleras Occidental y Real*”, UCP PRODEMINCA Proyecto MEM - BIRF 36-55 EC, Quito – Ecuador, pp 316.

PRODEMINCA. (2000a). EVALUACIÓN DE DISTRITOS MINEROS, Volumen 2 “*Depósitos epitermales en la cordillera andina*”, UCP PRODEMINCA Proyecto MEM – BIRF, Quito – Ecuador, pp 36-55.

QUINTEROS M. (2009). Presentación historia de la minería en el Ecuador y su futuro, pp. 37.

QURI RESOURCES INC. (2009). News Release. 6 de julio 2009, pp. 3.

REYNAUD C., JAILLARD E., LAPIERRE H., MAMBERTI M & MASCLE G. (1999). Oceanic plateau and island arcs of southwestern Ecuador: their place in the geodynamic evolution of northwestern South America., *Tectonophysics* 307, pp. 235-254.

ROSE A.W. & BURT D.M. (1979). Hydrothermal Alteration. En: *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*, Segunda Edición, Hubert L. Barnes (ed.), Wiley Interscience Publication, pp 173-235.

SCHÜTTE PH. (2010). Geochronology, Geochemistry and Isotopic Composition (Sr, Nd, Pb) of Tertiary Porphyry Systems in Ecuador., PhD thesis, Université de Geneve, pp 182.

SCHÜTTE PH., CHIARADIA M. & BEATE B. (2010). Petrogenetic Evolution of Arc Magmatism Associated with Late Oligocene to Late Miocene Porphyry-Related Ore Deposits in Ecuador. Society of Economic Geologists, Inc. *Economic Geology*, v. 105, pp. 1243–1270.

SCHÜTTE PH., CHIARADIA M., BARRA F., VILLAGOMEZ D. & BEATE B. (2012). Metallogenic features of Miocene porphyry Cu and porphyry-related mineral deposits in Ecuador revealed by Re-Os, $40\text{Ar}/39\text{Ar}$, and U-Pb geochronology. Springer 2012. pp 383-410

SILLITOE R.H. (1988). - Epochs of intrusion-related copper mineralization in the Andes. *Journal South American Earth Science*, pp. 89–108.

SILLITOE R.H. (2000). Gold-rich porphyry deposits: Descriptive and genetic models and their role in exploration and discovery: *Reviews in Economic Geology*, v. 13, p. 315–345.

SILLITOE, R.H. & HEDENQUIST J.W. (2003). Linkages between volcanotectonic settings, ore-fluid compositions, and epithermal precious metal deposits: Society of Economic Geologists Special Publication 10, p. 315–343.

SILLITOE R.H. (2010). Porphyry copper systems. *Economic Geology*, v. 105, pp 3-41.

SILVA J. & ROSERO B. (2011). Reporte de Exploración Inicial Proyecto CASCABEL julio 2011. Informe interno no publicado. pp 5

SKEENA RESOURCES LTD. (2006). TECHNICAL REPORT, Geological and Geophysical Evaluation of the EL CORAZON PROPERTY Province of Imbabura, Ecuador, 24 de marzo 2006. pp 70.

SPECTRAL INTERNATIONAL INC. (2005). Manual de espectroscopia de reflectancia aplicada. Version 4.0, pp 230.

SPIKINGS R.A., WINKLER W., SEWARD D. & HANDLER R. (2001). Along-strike variations in the thermal and tectonic response of the continental Ecuadorian Andes to the collision with heterogeneous oceanic crust., *Earth and Planet. Sci. Letters*, 186 (1), pp. 1-17.

SPIKINGS R.A., WINKLER W., HUGHES R. & HANDLER R. (2005). Thermochronology of allochthonous terranes in Ecuador: Unravelling the accretionary and post-accretionary history of the Northern Andes., *Tectonophysics*, 399, pp. 195– 220.

STEINMANN M. (1997). The Cuenca basin of southern Ecuador: tectono-sedimentary history and the Tertiary Andean evolution. Ph.D. dissertation, Institute of Geology, ETH Zurich, Switzerland.

THALMANN H.E. (1946). Micropaleontology of Upper Cretaceous and Paleocene in Western Ecuador. *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists*, 30. pp 337-347.

TSCHOPP H.J. (1948). Geological sketch of Ecuador. *Bulletin de l'Association Suisse de Geologie Ingenieur et Petrologie*, v. 15, p. 14–45.

TOSDAL R.M., & RICHARDS J.P. (2001). Magmatic and structural controls on the development of porphyry Cu ± Mo ± Au deposits: *Reviews in Economic Geology*, v. 14, p. 157–181.

VALLEJO C. (2007). Evolution of the Western Cordillera in the Andes of Ecuador (Late Cretaceous-Paleogene), Tesis PhD Swiss Federal Institute of Technology Zurich, pp 208.

VAN THOURNOUT F. (1991). Stratigraphy, magmatism and tectonism in the Ecuadorian Northwestern Cordillera: metallogenic and geodynamic implications. Ph. D. thesis Katholieke Universiteit Leuven.

WILKINSON I.P. (1998). Calcareous microfossils from a suite of samples from the Western Cordillera, Ecuador. Technical Report WH/98/163R Biostratigraphy and Sedimentology Research Group BGS, Nottingham UK.

PORTALES WEB VISITADOS:

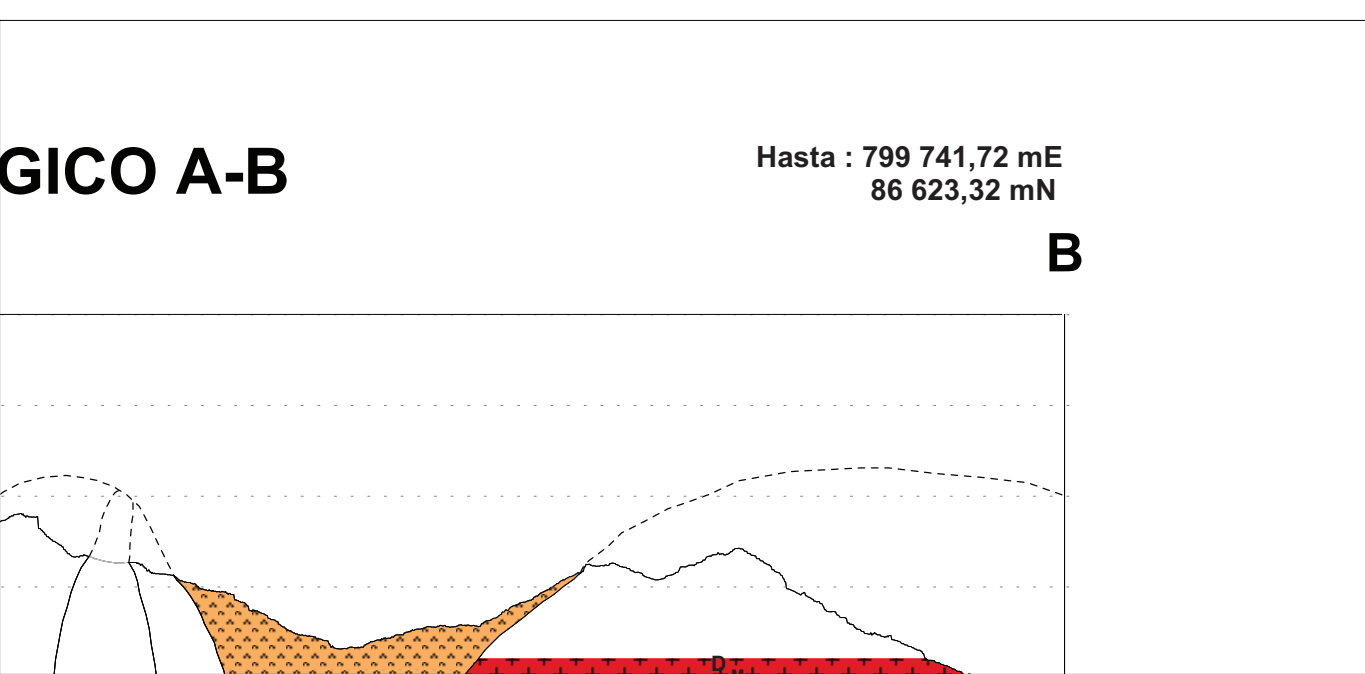
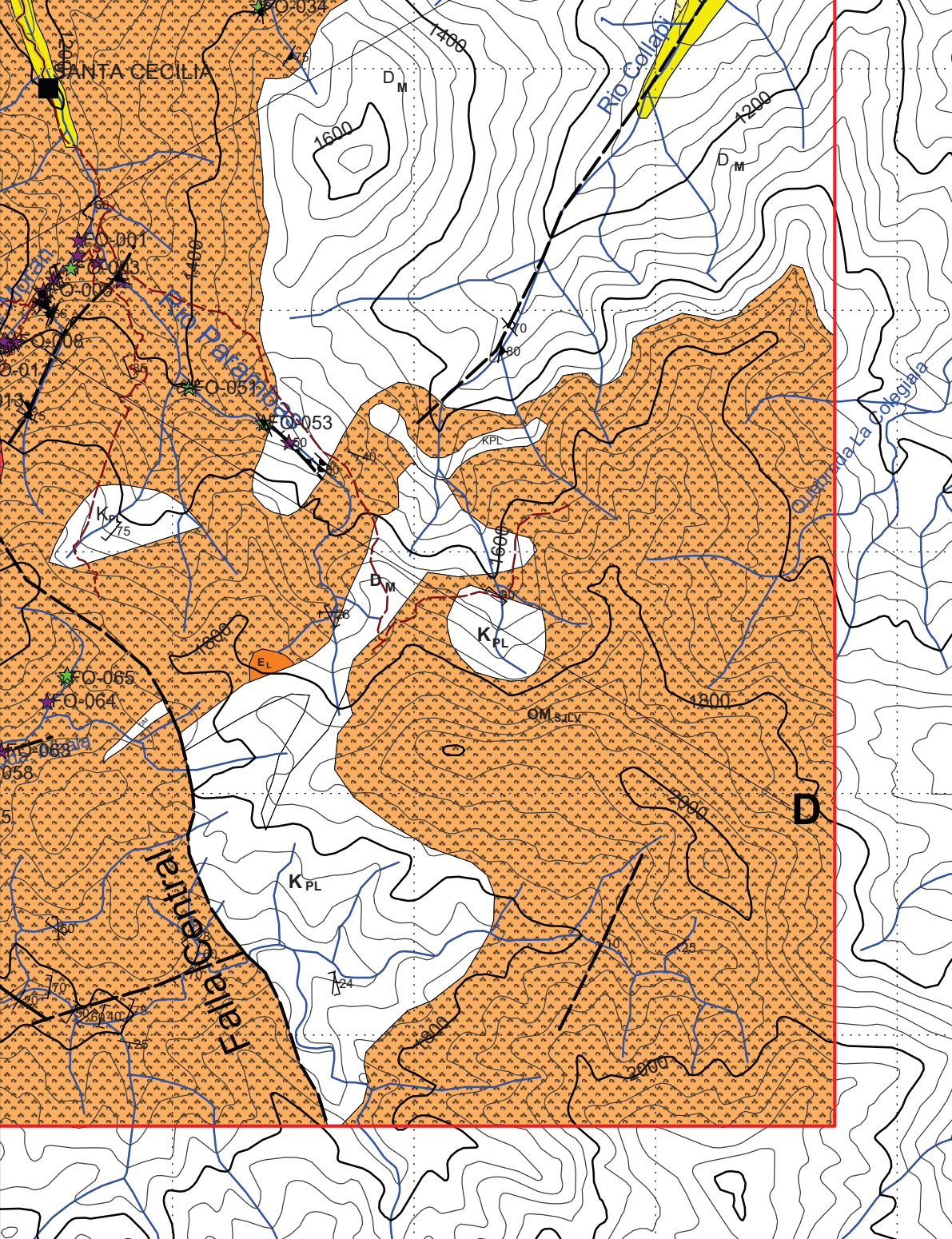
http://186.46.93.70/geoportal_imbabura

<http://www.petrology.de/geraete>

<http://www.cornerstoneresources.com>

MAPA N°1:

Mapa geológico de la concesión Cascabel



Cuate

Mioc

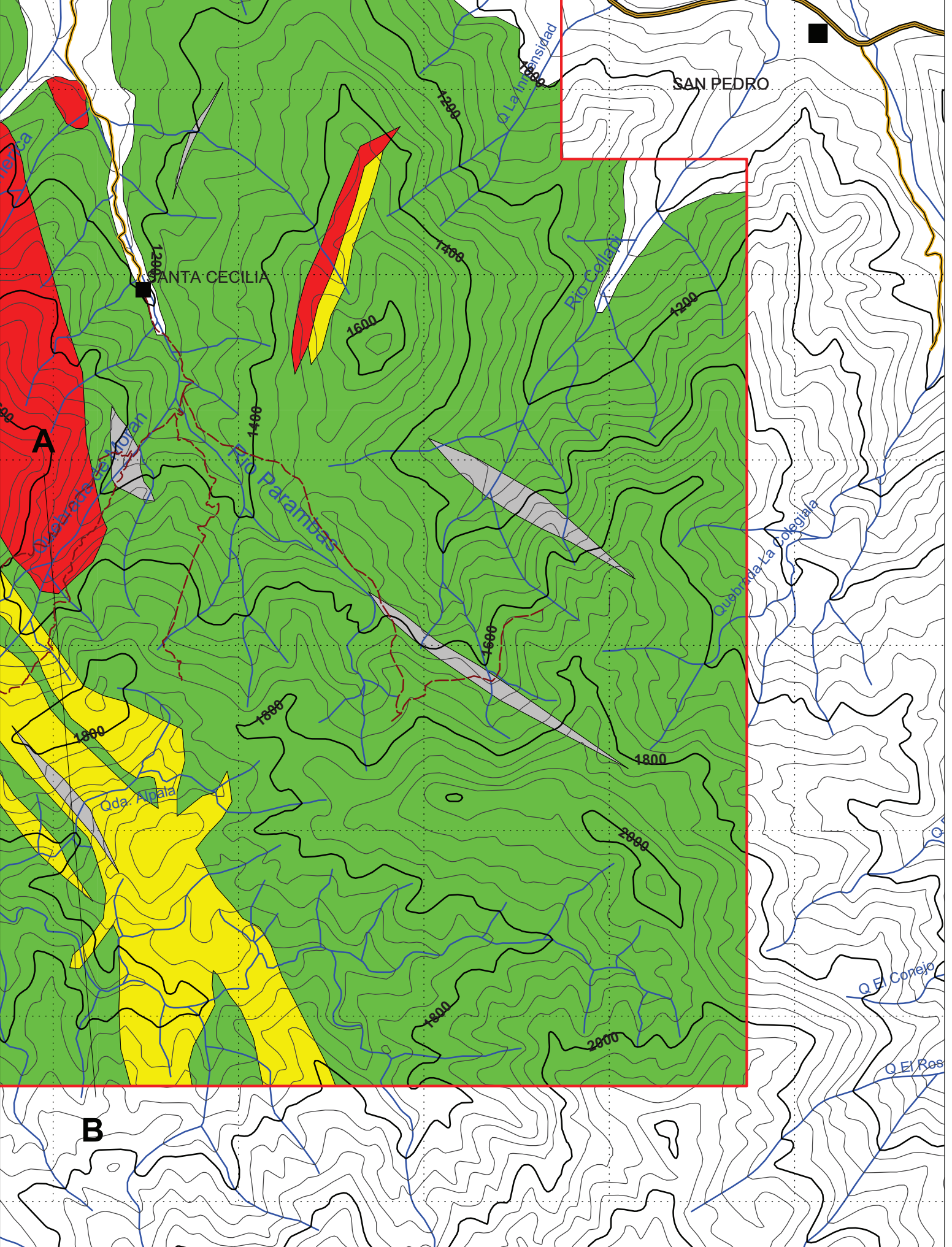
Oligo

Eocen

Cretá

MAPA N° 2:

Mapa de alteraciones hidrotermales de la
concesión Cascabel



Escala: 1: 15 000

Hasta: 797 229,85 mE
81 562,78 mN

Qbda. Alcala

Paleosuperficie

B

ANEXO 1:

Coordenadas concesión Cascabel

Concesión Cascabel

Superficie: 5000 ha / 50 km²

Punto	PSAD 56 / 17 S		WGS 84 / 17 N	
	Este	Norte	Este	Norte
PP.	799 000	10 090 000	798 741.7	89 623.3
1.	799 000	10 089 000	798 741.7	88 623.3
2.	800 000	10 089 000	799 741.7	88 623.3
3.	800 000	10 087 000	799 741.7	86 623.3
4.	801 000	10 087 000	800 741.7	86 623.3
5.	801 000	10 082 000	800 741.7	81 623.3
6.	794 000	10 082 000	793 741.7	81 623.3
7.	794 000	10 088 500	793 741.7	88 123.3
8.	795 000	10 088 500	794 741.7	88 123.3
9.	795 000	10 089 500	794 741.7	89 123.3
10.	796 000	10 089 500	795 741.7	89 123.3
11.	796 000	10 090 000	795 741.7	89 623.3

ANEXO 2:

Descripción petrográfica macroscópica de
muestras de mano de la concesión Cascabel

N° Muestra	Norte	Este	Tipo Roca	Alt.	Mineralización	Observaciones	Estruc. Rumbo	Azim. de Buz.
FO-001	797869	85669	VBx	PRO	5% Py	Roca verde con clastos volcánicos y vetillas de Qz, piritita diseminada en poca cantidad.		
FO-002	797866	85606	FT	PRO	5% Py	Roca verde con vetillas de Qz, piritita diseminada en poca cantidad.		
FO-003	797837	85552	VBx	PRO	3% PY	Roca verde con gris con Qz por la roca y en vetillas.		
FO-004	797765	85505	VBx	PRO	1% Py	Tobas finas de color gris bastante fracturada con piritita diseminada.	348	69
FO-005	797725	85461	FT	PRO	1% Py; 1% Bor	Roca volcanoclástica con sílice alterándose a epidota en las vetillas con un poco de piritita y bornita.		
FO-006	797723	85407	VBx	na	10% Py	Roca volcanoclástica bastante fracturada con cuarzo en vetillas y diseminado al igual que la piritita.	310	61
FO-008	797604	85248	FT	PRO		Tobas con poca piritita, cuarzo en vetas >1cm en el afloramiento.		
FO-008	797604	86248	HBx	na	5%Py; 5% Cpy; 5% Chal; 4% Bor	Brecha hidrotermal con calcopiritita, bornita, calcosina y covellina.		
FO-009	797574	85233	VBx	PRO	5%Py	Brecha volcanoclástica verde con poca piritita.		
FO-010	797517	85201	HBx	na	10% Cpy; 1% Chal; 2% Bor	Roca con bastante vetillas de calcopiritita con calcosina y bornita.		
FO-011	797467	85128	VBx	SIL	5%Py; 2% Cpy; 2% Bor	Roca volcanoclástica con mineralización de calcopiritita, y bornita.		
FO-012	797467	85128	Dio	POT		Roca negra con textura fanerítica de grano medio se pueden ver los cristales de pgl, hb, px es la diorita.		
FO-013	797357	85005	Dio Hb	POT		Roca blanca con fenocristales de Hb, diorita Hb.		
FO-014	797223	84736	FT	PRO	1%Py; 3% Cpy; 2%Sph	Se puede observar roca frágil deleznable con vetillas de calcita y más abajo las rocas volcanoclásticas.	310	85

N° Muestra	Norte	Este	Tipo Roca	Alt.	Mineralización	Observaciones	Estruc. Rumbo	Azim. de Buz.
FO-015	797167	84636	VBx	ARG		Brecha volcanoclástica alterada se pueden observar los clastos.		
FO-016	797155	84614	FT	ARG	5%Py; 2% Cpy	Cambio a rocas grises claro al parecer tobas con alteración argílica.		
FO-017	797155	84614	FT	ARG	6% Cpy	Tobas finas grises con alteración argílica, pirlita diseminada y en fracturas además de calcopirlita.		
FO-018	797133	84508	FT	ARG	2%Py	Roca bastante oxidada color negro con ocre con pirlita diseminada.		
FO-019	797089	84452	ALT	na		Roca alterada color ocre bastante fracturada.	210	65
FO-020	797029	84407	FT	ARG		Tobas alteradas de color ocre.		
FO-020	797029	84407	FT	ARG		Tobas poco alteradas con alteración fuerte a los costados aprox. 2m.	65	63
FO-021	797707	87185	ALT	ARG	5%Py; 2% Cpy; 2% Bor	Tobas alteradas de color gris claro con mineralización de calcopirlita, bornita y esfalerita.		
FO-022	797707	87185	Dio	na	5%Py	Roca de color negro (Diorita/Toba de cristales) posible dique.		
FO-023	797772	87186	CT	PRO	4%Py; 2% Cpy	Roca volcanoclásticas con vetillas verdosas a amarillentas con pirlita y calcopirlita.		
FO-024	797812	87138	ALT	ARG		Roca alterada de color ocre a amarillenta.		
FO-025	797853	87141	FT	PHY		Toba color gris clara.		
FO-026	797965	87149	FT	PRO	8% Cpy	Roca verdosa con clorita con vetillas de Qz y calcopirlita, vetillas epidotizadas.		
FO-027	797979	87155	Dio?	na		Roca bastante fracturada (Diorita/Toba de cristales).	140	70
FO-028	797989	87164	VBx	SIL		Afloramiento 10 m más arriba que parada anterior similar litología.	113	70

N° Muestra	Norte	Este	Tipo Roca	Alt.	Mineralización	Observaciones	Estruc. Rumbo	Azim. de Buz.
FO-029	797989	87164	VBx	na		Roca negra bastante oxidada con calcopirita y Qz.		
FO-030	798039	87170	VBx	SIL	10% Cpy, 2% Bor	Roca volcanoclástica con vetillas de sílice epidotizado y calcopirita.		
FO-031	798318	86993	ALT	PHY		Afloramiento bastante oxidado y se observa una vetilla igualmente alterada y oxidada.	350	48
FO-032	798507	86819	FT	SIL		Roca alterada y oxidada color café-ocre con vetillas negras.		
FO-033	798541	86773	ALT	ARG		Roca alterada argílica.		
FO-034	798614	86634	Dio	na		Parece Diorita de grano fino con clorita y calcopirita diseminada podría ser los volcánicos pero no se encuentran muy alteradas.		
FO-035	796076	87639	VBx	PRO		Tobas pasando a brechas, color verdosas cloritizadas, contiene carbonatos.	315	40
FO-036	795887	87568	?	na		Roca un poco cloritizada con homblenda y magnetita, roca blanca.		
FO-037	795805	87648	CT	PRO		Brecha volcanoclástica se pueden observar los clastos conteniendo clorita epidota y Qz.	30	76
FO-038	795892	87627	FT	PRO	5%Py	Volcanoclásticos con epidota, pirlita, esmectita, más cerca la dique mas alterada.		
FO-039	797559	85251	HBx	na	5%Py; 2% Cpy; 5%Sph; 1% Bor	Rodado de brecha hidrotermal con pirlita, esfalerita, bornita y calcopirita.		
FO-040	797403	85054	Dio	POT		Roca negra fanerítica de grano medio a fino, diorita con vetillas de Qz.	130	70
FO-041	797371	85027	Dio	POT	5%Py	Cambio entre diorita fina y diorita Hb, ambas rocas con bastante magnetita.	25	
FO-042	797371	85027	Dio Hb	POT		Ambas rocas presentan vetillas sin embargo la diorita fina negra al parecer es primero y luego la Hb.	25	

N° Muestra	Norte	Este	Tipo Roca	Alt.	Mineralización	Observaciones	Estruc. Rumbo	Azim. de Buz.
FO-043	797221	84719	VBx	ARG	5% Cpy	Roca alterada de color gris con bastante illita, también presenta calcopirita diseminada.		
FO-044	796869	87152	Dio	na		Roca negra intrusiva, Diorita.		
FO-045	796869	87152	VEIN	na		Veta que atraviesa a los intrusivos.	160	67
FO-046	796869	87152	Dio Hb	POT	1% Cpy	Diorita Hb, roca blanca con fenocristales de hb y mineralización de calcopirita.		
FO-047	796869	87152	Dio Hb	POT	10% Cpy	Roca del intrusivo alterada con mineralizaciones de calcopirita y piritita.		
FO-048	795857	86522	CT	PRO		Roca gris verdosa con vetillas de Qz, se pueden ver clastos y las vetillas se ven rojizas.		
FO-049	797949	85578	FT	PRO		Muestra volcánica con vetillas de Qz, cloritizada con sílice y epidota en vetillas.		
FO-049	797949	85578	Dio	na		Al parecer diorita podría der un Dique.		
FO-050	798043	85500	?	na	5%Py	Roca negra no se distingue bien entre toba de cristales o diorita, fracturado con piritita.	285	43
FO-051	798326	85058	FT	na		Roca alterada.	280	15
FO-052	798326	85058	Dio	na		Roca negra podría ser la diorita de grano fino bastante fracturada.	245	60
FO-053	798635	84911	VEIN	na		Vetillas mineralizadas con calcopirita, bornita, covellina y malaquita de aprox. 3-5cm.	330	85
FO-054	798740	84831	CT	PRO		Al parecer fiorita fina de color negro con un poco de clorita y epidota en fracturas.	320	50
FO-055	797305	83281	CHT	SIL		Rodado silíceo de color rojo.		

N° Muestra	Norte	Este	Tipo Roca	Alt.	Mineralización	Observaciones	Estruc. Rumbo	Azim. de Buz.
FO-056	797305	83281	FT	PRO		Afloramiento de color verde bastante silíceo, al parecer tobas propilitizadas.		
FO-057	797349	83326	FT	PRO	5%Py	Roca color verde con stockwork, las vetillas son silíceas con pirita en las mismas.	190	85
FO-058	797396	83461	FT	ARG		Roca bastante silícea con vetillas de Qz.		
FO-059	797396	83461	FT	SIL	5%Py	Roca bastante silícea con pirita.		
FO-060	797397	83502	FT	SIL	3%Py	Roca gris en forma de stock con vetillas silíceas de color negro.		
FO-061	797392	83514	FT	PHY	2%Py	Tobas con vetilleo fuerte, oxidadas con vetillas de Qz, pirita y sílice negro.	130	79
FO-062	797427	83528	ALT	PHY		Muestra de vetilleo.		
FO-063	797550	83553	ALT	ARG		Roca alterada oxidada con vetillas pequeñas, sin embargo se puede observar un poco de illita y caolín.		
FO-064	797739	83758	ALT	ARG	6%Py	Muestra bastante alterada con bastante oxidación, se pueden distinguir clastos y pirita diseminada.		
FO-065	797815	83856	FT	ARG	5%Py	Roca gris con pirita diseminada, vetillas de Qz y pirita.		
FO-066	797823	83869	CT	na	5%Py	Roca negra podría ser la toba de cristales o diorita.		
FO-067	796631	83485	FT	PRO		Roca color verdosa con clorita epidota se ve clastos pequeños.		
FO-068	796538	83626	FT	PRO		Toba propilitica bastante diaclasada.	290	76
FO-069	796523	83776	ALT	ARG		Roca de color gris claro, bastante oxidada en superficie se observa sílice, caolín, illita.		
FO-070	796346	83976	ALT	ARG		Roca bastante oxidada y alterada junto al camino.		

N° Muestra	Norte	Este	Tipo Roca	Alt.	Mineralización	Observaciones	Estruc. Rumbo	Azim. de Buz.
FO-071	796359	83941	ALT	ARG		Roca oxidada y alterada en el trayecto del camino color ocre a negro.		

Alt. = Alteración

Estruc. Rumbo = Rumbo de la estructura

Azim. de Buz = Azimut del buzamiento

Py = Pirita

Cpy = Calcopirita

Bor = Bornita

Sph = Esfalerita

Chal = Calcocina

Pgl=Plagioclasa

Hb=Hornblenda

Px=Piroxeno

na=No aplica

?=No determinada

VBx= Brecha volcánica

FT=Toba fina

HBx=Brecha hidrotermal

ALT=Roca totalmente alterada

Dio=Diorita

Dio Hb=Diorita hornbléndica

CT=Toba de cristales

CHT=Chert

PRO=Alteración propilítica

POT=Alteración potásica

SIL=Alteración silícea

ARG=Alteración argílica

PHY=Alteración filica

ANEXO 3:

Interpretación de espectros de alteración
obtenidos con el equipo TerraSpec de la
concesión Cascabel

N° Muestra	Norte	Este	Alteración	Caolinita	Dickita	Illita	Illita /Esmectita	Moscovita	Esmectita	Clorita	Epidota	Sílice	Goethita	Hematita
32711	797765	85468	ARG			X			x			x		
32712	797686	85385	ARG				X					x	X	
32713	797699	85405	PHY					X		x		x		
32714	797676	85423	ARG				X			x		x	X	
32715	797584	85274	PHY			X		x				x	X	
32716	797559	85257	PRO						X	x		x	X	
32717	797560	85258	ARG			X								
32718	797453	85114	ARG	X		x								
32719	797417	85057	PRO			t				X				
32724	797407	85047	PRO			t				X				
32725	797388	85007	PRO							X	x	X		
32726	797343	84992	ARG	X										
32727	797277	84877	PRO			t				X				
32728	797278	84878	PRO			X				t		t		
32729	797276	84891	ARG				X	t				x	X	
32731	797215	84778	SIL									X		
32732	797216	84782	PRO						x	X		x		
32736	797091	84466	ARG			X			t			x		
32739	797699	85404	PRO							X	x			
32740	797727	85410	PHY			x		X		x	X	t		
32741	797771	85381	PRO				x			X	X	x		
32742	797794	85287	ARG			X				x				
32744	797769	85179	PHY				x	X				x		x
32746	797543	85167	PRO			x				X	x	x		
32747	797420	85065	PRO				x			x	X	x		
32748	798210	85680	PRO							X	x			
32750	797034	84437	SIL									X	X	
32758	796669	87010	PRO			x				X	t			

N° Muestra	Norte	Este	Alteración	Caolinita	Dickita	Illita	Illita /Esmectita	Moscovita	Esmectita	Clorita	Epidota	Sílice	Goethita	Hematita
32759	796646	87010	ARG			X			x	x		x		
32760	796628	87022	PHY			x		X	t			x		
32761	796595	86966	PRO							X	t			
32762	796584	86957	PHY			x		X						
32769	797093	86837	PRO							X	x	t		
32776	796852	86419	ARG			t	X	x		t				
32785	797756	87174	SIL									X		
32787	798034	87162	PRO							X	x	x		
32788	797372	87380	SIL									X		
32789	796614	84196	PRO				x			x	X			x
32790	796566	84183	PHY			x		X				x	X	
32792	796562	84181	ARG			X		x		t		x		
32795	796417	83948	ARG			X		x	t			x	X	
32797	796501	83417	ARG				X			x		t	X	
32798	796235	82756	ARG	X	t									
32799	797118	84199	ARG			X			x	t		x		
42929	799026	84769	PRO							x	X	x		
42930	799340	84709	ARG	X	t							x		
42931	799330	84579	ARG	X						x		x		
42932	799600	84197	PHY			X				t		x		
42934	799341	84737	SIL							x		X	X	
42935	798950	85379	ARG			X			x			x		
42936	797814	83848	ARG			X			x			x		
42937	799165	84182	ARG	X								x	X	
42938	795026	86149	ARG	X						x		x		
42939	796114	85763	ARG				X		x			x	X	
42940	796124	85752	ARG			X			x			x	x	
42941	796269	85744	ARG			X			x			x	x	

N° Muestra	Norte	Este	Alteración	Caolinita	Dickita	Illita	Illita /Esmectita	Moscovita	Esmectita	Clorita	Epidota	Sílice	Goethita	Hematita
47342	797746	85361	ARG	X	x	x								
47343	797759	85361	SIL	t		x				x		X		
47344	797767	85366	ARG	x		X						x		
47345	797733	85404	PRO			x				X	x	x		
47346	797727	85402	PRO	t						X	x	x		
47347	797721	85393	PRO			x				X	x	x	X	
47348	797811	85280	PRO			x				X	x	x		
47351	797772	85186	PRO			x				X	x	x		
47352	797658	84984	PRO			x				X	x	x		
47353	797658	84940	ARG			X				t		x	t	
47357	798433	85870	SIL									X	X	
47358	797885	85951	PRO							X	x	x		
47359	797907	85753	SIL							t		X		
47360	797224	84783	ARG				X				t	x		
47361	797236	84799	PRO							X	x	x		
47362	797262	84705	PRO							X	x	x		
47376	799650	85301	SIL									X		
47377	799623	85237	ARG	x			X							
47378	799637	85259	PHY			x		X					X	
47379	799653	85243	PHY					X						
47380	799623	85206	PRO			x				X	x			
47381	799621	85208	ARG	x		X								
50901	796641	84120	SIL	t		t						X		
50902	796651	84068	ARG	x		X				t		x		
50903	796543	83756	ARG	x		X				x		x		
50904	798944	82754	ARG	X		x						x		x
50905	798850	82695	ARG	X								x		
50906	798146	83525	ARG	X	x	t						x		

N° Muestra	Norte	Este	Alteración	Caolinita	Dickita	Illita	Illita /Esmectita	Moscovita	Esmectita	Clorita	Epidota	Sílice	Goethita	Hematita
50907	798134	83588	SIL									X		
50908	798084	83602	PRO			x				X	t	x		
50909	797871	83641	ARG	X	x	x				t		x		
50910	797738	83736	ARG	x		X				x		X		
50911	797747	83758	ARG			X						x		
50912	798338	82784	ARG	X	x					t		x		
50913	798932	82591	PRO							x	X	x		X
50914	800349	82738	PRO			x				X	x	x		
50915	800035	82754	PRO							X	x			
50916	799145	82700	SIL									X		
50917	798082	82339	ARG	x		X						x		
50918	798078	82476	ARG	X										
50919	798119	82488	ARG	X	x							x	x	
50921	798297	82598	ARG	x		X				x		x		
50922	798306	82627	ARG	X	x							x		
50923	798368	82713	ARG	X						x		x		
50924	797971	82453	ARG	X	x							x		
50925	797904	82449	ARG	X						t		x		
50926	797838	82467	ARG	X						x		x		
50927	797791	82545	ARG	X								x		
50928	797744	82573	ARG	X	x					t		x		
50929	797627	82520	ARG	X		x				t		x		
50930	797778	82819	ARG	X						x		x		
50931	797928	82852	ARG	X						x		x		
50932	797061	82942	ARG	X								x		
50933	797064	82942	PRO			x				X		x	x	
50934	797208	82834	PRO							X	x	x		
50935	797379	82665	ARG				X		x			x		

N° Muestra	Norte	Este	Alteración	Caolinita	Dickita	Illita	Illita /Esmectita	Moscovita	Esmectita	Clorita	Epidota	Sílice	Goethita	Hematita
50936	798915	84109	ARG			X			x	t		x		
50937	796205	82505	ARG	X	x					t		x		
50938	796364	82485	ARG			X			x	t		x		
50939	797200	83254	PHY				X			x		x		
50941	797270	83239	ARG			X	X			x		x		
50942	797394	83472	ARG	x			X					x		
50943	797391	83503	ARG			X				x		x		
50944	797387	83513	ARG	x		X						x		
50945	797388	83514	ARG	X		x						x		
50946	797389	83515	ARG			X				x		x		
50947	797436	83582	ARG	x		X				x		x		
50948	797523	83548	PRO			x				X		x		
50949	797548	83545	PHY					X	x	x		x		
50950	797362	83331	ARG	X	x	x				t		x		
50951	797242	83249	ARG	X	x							x		
50952	796550	83282	ARG			X						x		
50953	796589	83451	PHY					X				x		
50954	796695	83498	ARG			X				x		x		
50955	796695	83499	PHY			x		X		x		x		
50956	796766	83775	PHY			X				x		x		
50957	796841	83833	ARG			X				x		x		
50958	796383	83956	ARG			x	X		x			x	X	
50959	796349	83961	ARG			x	X					x	x	
50961	796534	83273	ARG			X						x	x	
50962	796814	84123	ARG	x		X			x			x	x	
50963	796981	84121	ARG	X	x							x	X	
50964	797031	84144	PRO			x				X		x		
50965	797094	84165	PRO			x				X	x	x		

N° Muestra	Norte	Este	Alteración	Caolinita	Dickita	Illita	Illita /Esmectita	Moscovita	Esmectita	Clorita	Epidota	Sílice	Goethita	Hematita
50966	797210	84316	ARG	x		X						x	t	
50967	797223	84332	ARG	x		X						x	x	
50968	796091	83136	PRO			x				X	x	x		
50969	796166	83295	ARG			x	X		x			x		
50970	795494	82983	PRO							x		x		
50971	795599	83197	ARG			X				X	t	x		
50972	795715	83457	PHY			x		X		t		x		
50973	795131	82628	ARG			X				x		x		
50974	794514	83838	PRO			x				X		x		
50976	794605	84126	SIL							x		X		
50977	794598	84113	ARG	x		X						x	x	
50978	794517	83843	ARG	X	x	x						x		
50979	794950	83466	ARG	X	x							x	x	
50980	795117	83938	ARG	X	x							x		
50981	798819	84747	PRO							x	X	x		
50982	797769	87182	PRO							X	x			
50983	797885	87152	PRO			x				X	x			
50984	797943	87141	PRO							X				
50985	798030	87158	PHY					X		x				
50986	798622	86611	PRO			x				X				
50987	798747	86425	PRO							X				
50988	795772	88319	ARG				X							
50989	796310	89450	ARG	x		X						X	x	
50990	795855	87644	SIL									X		
50991	795926	87625	PRO							X	x	x		
50992	797356	88749	SIL							x		X		
50993	798280	87921	PRO							X	x			
FO-003	797837	85552	PRO			x				X				

N° Muestra	Norte	Este	Alteración	Caolinita	Dickita	Illita	Illita /Esmectita	Moscovita	Esmectita	Clorita	Epidota	Sílice	Goethita	Hematita
FO-010	797517	85201	PRO			x				X	x			
FO-012	797467	85128	SIL									X		
FO-017	797155	84614	PRO			x				X				
FO-023	797772	87186	PRO			x				X				
FO-027	797979	87155	PRO			x				X	x			
FO-030	798039	87170	PHY					X		x	x			
FO-034	798614	86634	PRO							X	x			
FO-037	795805	87648	SIL	x								X		
FO-041	797371	85027	SIL											
FO-042	797371	85027	PRO			x				X	x			
FO-043	797221	84719	ARG				X							
FO-046	796869	87152	ARG			x								
FO-048	795857	86522	PRO			x				X				
FO-053	798635	84911	PRO			x				X	x		X	
FO-057	797349	83326	PRO			x				X	x			
FO-061	797392	83514	ARG	X		x						X		
FO-062	797427	83528	ARG			X				t				

PRO = Propilítica

ARG = Argílica

PHY = Fílica

SIL = Sílicea

X= Mineral principal

x= Mineral secundario

t = traza del mineral

ANEXO 4:

Fichas de descripción petrográfica de
láminas delgadas de la concesión Cascabel

MUESTRA:	FO-003		
UBICACIÓN:	NORTE	797837	ESTE 85552
TEXTURA:	Brechosa: Fragmentos de líticos y plagioclasa enc una matriz vítrea.		
COMPOSICIÓN			
N°	MINERAL	%	CARACTERISTICAS
1	Vidrio	50	Se presenta como parte de la matriz fina y presenta rasgos fluidales.
2	Plagioclasa	20	Se presenta como fenocristales euhedrales que se encuentran siendo alterados a sericita.
3	Líticos máficos	10	Se presentan como fragmentos de rocas de composición máfica de distintos tamaños.
4	Opacos	10	Al parecer sulfuros en especial pirita cúbica diseminada por la matriz y precipitados en las venillas.
5	Cuarzo	5	Presente tanto en la matriz así como en venillas y en fases intersticiales
6	Muscovita	3	Muscovita fina (sericita) producto de alteración de máficos y plagioclasas.
7	Arcillas	2	Producto de desvitrificación del vidrio volcánico.
OBSERVACIONES:			
Venillas de cuarzo y plagioclasa con sulfuros diseminados, presenta un fragmento máfico de aproximadamente 4cm y algunas hojas de biotita.			
NOMBRE DE LA ROCA:	Brecha volcanoclástica		

MUESTRA:	FO-010		
UBICACIÓN:	NORTE	797517	ESTE 85201
TEXTURA:	Tobácea: Fragmentos de líticos máficos y plagioclasa en una matriz vítrea.		
COMPOSICIÓN			
N°	MINERAL	%	CARACTERISTICAS
1	Vidrio	30	Se presenta como parte de la matriz fina y presenta rasgos fluidales.
2	Plagioclasa	20	Se presenta como cristales euhedrales en la matriz y como fenocristales sueltos alterados a sericita.
3	Clorita	15	Producto de alteración, se presenta como halo en venillas y por la matriz.
4	Líticos máficos	10	Se presentan como fragmentos de rocas de composición máfica de distintos tamaños.
5	Opacos	10	Al parecer sulfuros en especial pirita cúbica diseminada por la matriz y precipitados en las venillas.
6	Muscovita	10	Sericita producto de alteración de máficos y plagioclasas.
7	Cuarzo	5	Presente tanto en la matriz así como en venillas.
OBSERVACIONES:			
Venillas de cuarzo un poco argilizado, clorita por los alrededores de los cristales máficos y plagioclasas, relictos de titanomagnetita alterada a rutilo y clorita.			
NOMBRE DE LA ROCA:	Toba lítica		

MUESTRA:	FO-012			
UBICACIÓN:	NORTE	797467	ESTE	85128
TEXTURA:	Porfídica: Fenocristales de Plagioclasa y máficos en un fondo de microcristales.			
COMPOSICIÓN				
N°	MINERAL	%	CARACTERÍSTICAS	
1	Plagioclasa	40	Se presenta como cristales euhedrales en la matriz y como fenocristales sueltos microfracturados.	
2	Líticos máficos	20	Se presentan como fragmentos de rocas de composición máfica de distintos tamaños.	
3	Magnetita	15	Se presentan como agregados y diseminada por toda la lámina.	
4	Actinolita	12	Producto de la alteración de piroxenos y se presenta como fenocristales sueltos.	
5	Vidrio	8	Se presenta como parte de la matriz fina	
6	Piroxeno	5	Cristales como relictos alterándose a actinolita y en muy poca cantidad a clorita.	
OBSERVACIONES:				
Roca al parecer subvolcánica, cristales alterados de plagioclasa a illita, plagioclasa microfracturada, relictos de piroxeno, muestra no presenta vetillas, presenta alteración potásica.				
NOMBRE DE LA ROCA:	Pórfido andesítico			

MUESTRA:	FO-017			
UBICACIÓN:	NORTE	797155	ESTE	84614
TEXTURA:	Seriada: Cristales forman un rango continuo de tamaños sin predominancia.			
COMPOSICIÓN				
N°	MINERAL	%	CARACTERÍSTICAS	
1	Cuarzo	35	Presente tanto en la matriz así como en venillas y en fases intersticiales probablemente por alteración silíceo.	
2	Plagioclasa	25	Se observa cristales euhedrales en la matriz y siluetas de plagioclasas reemplazadas por cuarzo con sericita.	
3	Muscovita	15	Sericita producto de alteración de plagioclasas, generalmente rodeando a los sulfuros.	
4	Arcillas	15	Producto de alteración de la sericita y plagioclasas.	
5	Opacos	10	Al parecer sulfuros, en especial pirita cúbica diseminada por la matriz y precipitados en las venillas.	
OBSERVACIONES:				
Muestra bastante alterada en un 80%, cuarzo se presenta casi en toda la muestra, venillas con cuarzo y sulfuros.				
NOMBRE DE LA ROCA:	Veta de cuarzo.			

MUESTRA:	FO-023		
UBICACIÓN:	NORTE	797772	ESTE 87186
TEXTURA:	Brechosa: Fragmentos de líticos y plagioclasa en una matriz vítrea.		
COMPOSICIÓN			
N°	MINERAL	%	PROPIEDADES
1	Plagioclasa	30	Se observa cristales euhedrales en la matriz y fenocristales de plagioclasa alterándose a sericita.
2	Líticos	20	Se presentan como fragmentos de rocas de composición andesítica de diversos tamaños.
3	Vidrio	15	Se presenta como parte de la matriz fina y presenta rasgos fluidales.
4	Cuarzo	10	Presente tanto en la matriz como cemento y en venillas probablemente por alteración silícea.
5	Clorita	10	Producto de alteración, se presenta como halo en venillas y por la matriz.
6	Opacos	10	Al parecer sulfuros diseminados por la matriz y precipitados en las venillas.
7	Epidota	5	Producto de alteración de los líticos a clorita con epidota.
OBSERVACIONES:			
Muestra silicificada, presenta venillas con cuarzo, hacia el centro de las fracturas se encuentran acumulaciones de epidota con clorita y sulfuros (2-4mm).			
NOMBRE DE LA ROCA:	Brecha volcanoclástica		

MUESTRA:	FO-027		
UBICACIÓN:	NORTE	797979	ESTE 87155
TEXTURA:	Brechosa: Fragmentos de piroxenos y plagioclasa en una matriz vítrea.		
COMPOSICIÓN			
N°	MINERAL	%	PROPIEDADES
1	Plagioclasa	30	Se observa fragmentos liberados de plagioclasa como fenocristales.
2	Líticos	20	Se presentan como fragmentos de rocas de composición andesítica de diversos tamaños.
3	Vidrio	15	Se presenta como parte de la matriz fina y presenta rasgos fluidales.
4	Piroxeno	10	Se observa relictos y fenocristales de piroxeno alterándose a actinolita
5	Opacos	10	Al parecer sulfuros diseminados por la matriz y precipitados en las venillas.
6	Magnetita	5	Se presentan como agregados y diseminada por toda la lámina.
7	Hornblenda	5	Producto de la alteración de piroxenos
8	Actinolita	5	Producto de la alteración de piroxenos.
OBSERVACIONES:			
Venillas de cuarzo cortan la lamina			
NOMBRE DE LA ROCA:	Brecha volcanoclástica		

MUESTRA:	FO-030		
UBICACIÓN:	NORTE	798039	ESTE 87170
TEXTURA:	Brechosa: Fragmentos de piroxenos y plagioclasa en una matriz vítrea.		
COMPOSICIÓN			
N°	MINERAL	%	PROPIEDADES
1	Plagioclasa	30	Se observa fragmentos liberados de plagioclasa como fenocristales, alterándose a sericita.
2	Líticos	20	Se presentan como fragmentos de rocas de composición andesítica de diversos tamaños.
3	Vidrio	15	Se presenta como parte de la matriz fina y presenta rasgos fluidales.
4	Piroxeno	10	Se observa relictos y fenocristales de piroxeno alterándose a clorita con opacos.
5	Opacos	10	Al parecer sulfuros diseminados por la matriz y precipitados en las venillas.
6	Muscovita	10	Sericita producto de alteración de plagioclasas, generalmente rodeando a los sulfuros.
7	Magnetita	5	Se presentan como agregados y diseminada por toda la lámina.
OBSERVACIONES:			
Similar a la FO-027, venillas de cuarzo con sulfuros			
NOMBRE DE LA ROCA:	Brecha volcanoclástica		

MUESTRA:	FO-034		
UBICACIÓN:	NORTE	798614	ESTE 86634
TEXTURA:	Tobácea: Fragmentos de líticos máficos y plagioclasa en una matriz vítrea.		
COMPOSICIÓN			
N°	MINERAL	%	PROPIEDADES
1	Vidrio	30	Se presenta como parte de la matriz fina y presenta rasgos fluidales.
2	Plagioclasa	15	Se observa fragmentos liberados de plagioclasa como fenocristales microfracturados.
3	Piroxeno	15	Se observa relictos y fenocristales de piroxeno alterándose a clorita con opacos.
4	Epidota	15	Producto de alteración de los líticos a clorita con epidota.
5	Clorita	15	Producto de alteración presente tanto en la matriz así como en venillas.
6	Líticos	10	Se presentan como fragmentos de rocas de composición andesítica de diversos tamaños.
OBSERVACIONES:			
Venillas de cuarzo y sericita, algunos cristales de piroxeno se encuentran totalmente alterados a clorita y epidota.			
NOMBRE DE LA ROCA:	Toba		

MUESTRA:	FO-037		
UBICACIÓN:	NORTE	795805	ESTE 87648
TEXTURA:	Intersertal: Cristales de plagioclasas sin orientación con vidrio de matriz.		
COMPOSICIÓN			
N°	MINERAL	%	PROPIEDADES
1	Vidrio	40	Se presenta como parte de la matriz fina y se presenta alterándose a clorita.
2	Plagioclasa	20	Se observa fragmentos liberados de plagioclasa como cristales microfracturados.
3	Piroxeno	20	Se observa relictos y fenocristales de piroxeno alterándose a clorita con opacos.
4	Clorita	10	Producto de alteración de piroxenos presente tanto en la matriz así como en venillas.
5	Olivino	10	Cristales relictos ovalados que se encuentran alterándose.
OBSERVACIONES:			
Venillas de cuarzo y calcita, también se observan venillas de laumontita.			
NOMBRE DE LA ROCA:	Basalto		

MUESTRA:	FO-041		
UBICACIÓN:	NORTE	797371	ESTE 85027
TEXTURA:	Porfídica: Fenocristales de Plagioclasa y máficos en un fondo de microcristales.		
COMPOSICIÓN			
N°	MINERAL	%	PROPIEDADES
1	Plagioclasa	25	Se observa fragmentos liberados de plagioclasa como cristales microfracturados.
2	Piroxeno	25	Se observa relictos y fenocristales de piroxeno alterándose a actinolita.
3	Opacos	10	Al parecer sulfuros diseminados por la matriz y precipitados en las venillas.
4	Actinolita	10	Producto de la alteración de piroxenos y se presenta como fenocristales sueltos.
5	Feldespato K	15	Se observa cristales finogranulares liberados en la matriz
6	Clorita	5	Producto de alteración de piroxenos y biotita, estando presente tanto en la matriz así como en venillas.
7	Epidota	5	Producto de alteración de los piroxenos a clorita con epidota.
8	Biotita	5	Hojas de biotita alterándose a clorita.
OBSERVACIONES:			
Venillas en forma de stockwork con cuarzo y feldespato K, relictos de fenocristales de piroxeno, alterados a actinolita fina que pueden contener sobreimposición de clorita y epidota.			
NOMBRE DE LA ROCA:	Pórfido andesítico		

MUESTRA:	FO-042		
UBICACIÓN:	NORTE	797371	ESTE 85027
TEXTURA:	Porfídica: Fenocristales de hornblenda en un fondo de microcristales.		
COMPOSICIÓN			
N°	MINERAL	%	PROPIEDADES
1	Plagioclasa	35	Se observa fragmentos liberados de plagioclasa como fenocristales y microcristales en la matriz.
2	Hornblenda	20	Presente como fenocristales y relictos alterándose con un grado variable a clorita y epidota.
3	Cuarzo	10	Presente tanto en la matriz como cemento así como en venillas.
4	Feldespato K	10	Se observa cristales finogranulares liberados en la matriz y en venillas
5	Clorita	10	Producto de alteración de hornblenda y biotita, estando presente tanto en la matriz así como en venillas.
6	Opacos	10	Al parecer sulfuros diseminados por la matriz y precipitados en las venillas.
7	Biotita	5	Hojas de biotita alterándose a clorita.
OBSERVACIONES:			
Fenocristales orientados de hornblenda, venillas de cuarzo y feldespato, alteración potásica.			
NOMBRE DE LA ROCA:	Diorita hornbléndica		

MUESTRA:	FO-043		
UBICACIÓN:	NORTE	797221	ESTE 84719
TEXTURA:	Brechosa: Fragmentos de plagioclasa y líticos en una matriz vítrea.		
COMPOSICIÓN			
N°	MINERAL	%	PROPIEDADES
1	Vidrio	35	Se presenta como parte de la matriz fina y se presenta alterándose a clorita.
2	Líticos	20	Se presentan como fragmentos de rocas de composición máfica de distintos tamaños.
3	Plagioclasa	15	Se observa fragmentos liberados de plagioclasa como fenocristales y microcristales en la matriz.
4	Opacos	15	Al parecer sulfuros diseminados por la matriz y precipitados en las venillas.
5	Arcillas	10	Producto de desvitrificación del vidrio volcánico.
6	Cuarzo	5	Presente como cemento así como en venillas.
OBSERVACIONES:			
Venillas hidrotermales de cuarzo, presentan ciertos óxidos alrededor de los sulfuros al parecer hematita.			
NOMBRE DE LA ROCA:	Brecha volcanoclástica		

MUESTRA:	FO-046		
UBICACIÓN:	NORTE	796869	ESTE 87152
TEXTURA:	Porfídica: Fenocristales de hornblenda en un fondo de microcristales.		
COMPOSICIÓN			
N°	MINERAL	%	PROPIEDADES
1	Plagioclasa	30	Se observa fragmentos liberados de plagioclasa como fenocristales y microcristales en la matriz.
2	Feldespato K	20	Se observa cristales finogranulares liberados en la matriz y en venillas
3	Hornblenda	15	Presente como fenocristales y relictos alterándose con un grado variable a clorita y epidota.
4	Cuarzo	15	Presente tanto en la matriz como cemento así como en venillas.
5	Biotita	10	Hojas de biotita alterándose a clorita.
6	Clorita	5	Producto de alteración de hornblenda y biotita, estando presente tanto en la matriz así como en venillas.
7	Actinolita	5	Se presenta como fenocristales sueltos.
OBSERVACIONES:			
Se observa un reemplazo pervasivo de hornblenda por agregados de clorita con láminas de plagioclasa y cuarzo.			
NOMBRE DE LA ROCA:	Diorita hornbléndica		

MUESTRA:	FO-048		
UBICACIÓN:	NORTE	795857	ESTE 86522
TEXTURA:	Tobacea: Fragmentos de líticos máficos y plagioclasa en una matriz vítrea.		
COMPOSICIÓN			
N°	MINERAL	%	PROPIEDADES
1	Vidrio	40	Se presenta como parte de la matriz fina y presenta rasgos fluidales.
2	Líticos	20	Se presentan como fragmentos de rocas de composición máfica de distintos tamaños.
3	Plagioclasa	20	Se observa fragmentos liberados de plagioclasa como fenocristales y microcristales en la matriz.
4	Hornblenda	10	Presente como fenocristales y relictos alterándose con un grado variable a clorita y epidota.
5	Piroxeno	5	Se observa relictos y fenocristales de piroxeno alterándose a clorita.
6	Clorita	5	Producto de alteración de piroxenos, estando presente tanto en la matriz como en venillas.
OBSERVACIONES:			
Los líticos tienen formas redondeadas y algunos subangulosos, la matriz presenta fragmentos liberados de cristales de plagioclasa y máficos, alterados a clorita, epidota y opacos.			
NOMBRE DE LA ROCA:	Toba lítica		

MUESTRA:	FO-053		
UBICACIÓN:	NORTE	798635	ESTE 84911
TEXTURA:	Tobácea: Fragmentos de líticos máficos y plagioclasa en una matriz vítrea.		
COMPOSICIÓN			
N°	MINERAL	%	PROPIEDADES
1	Vidrio	30	Se presenta como parte de la matriz fina y presenta rasgos fluidales.
2	Líticos	20	Se presentan como fragmentos de rocas de composición máfica de distintos tamaños.
3	Plagioclasa	15	Se observa fragmentos liberados de plagioclasa como fenocristales y microcristales en la matriz.
4	Anfibol	15	Presente como fenocristales y relictos alterándose con un grado variable a clorita y epidota.
5	Piroxeno	10	Se observa relictos y fenocristales de piroxeno alterándose a clorita.
6	Arcillas	10	Producto de desvitrificación del vidrio volcánico.
7	Opacos	5	Al parecer sulfuros diseminados por la matriz y precipitados en las venillas.
8	Titanomagnetita	5	Remanentes de titanomagnetita, rodeados de gránulos opacos gruesos
OBSERVACIONES:			
Venillas de cuarzo observándose en algunos sectores limonitas rojas y algunos óxidos de cobre.			
NOMBRE DE LA ROCA:	Toba		

MUESTRA:	FO-057		
UBICACIÓN:	NORTE	797349	ESTE 83326
TEXTURA:	Tobácea: Fragmentos de líticos máficos y plagioclasa sobre una matriz vítrea.		
COMPOSICIÓN			
N°	MINERAL	%	PROPIEDADES
1	Vidrio	30	Se presenta como parte de la matriz fina y presenta rasgos fluidales.
2	Arcillas	20	Producto de desvitrificación del vidrio volcánico.
3	Plagioclasa	15	Se observa fragmentos liberados de plagioclasa como fenocristales y microcristales en la matriz.
4	Líticos	10	Se presentan como fragmentos de rocas de composición máfica de distintos tamaños.
5	Piroxeno	10	Se observa relictos y fenocristales de piroxeno alterándose a clorita.
6	Opacos	10	Al parecer sulfuros diseminados por la matriz y precipitados en las venillas.
7	Titanomagnetita	5	Remanentes de titanomagnetita, rodeados de gránulos opacos gruesos
OBSERVACIONES:			
Los líticos máficos están totalmente alterados a una mezcla fina de clorita con arcillas.			
NOMBRE DE LA ROCA:	Toba		

MUESTRA:	FO-061		
UBICACIÓN:	NORTE	797392	ESTE 83514
TEXTURA:	Tobácea: Fragmentos de líticos máficos y plagioclasa en una matriz vítrea.		
COMPOSICIÓN			
N°	MINERAL	%	PROPIEDADES
1	Arcillas	30	Producto de desvitrificación del vidrio volcánico y alteraciones.
2	Vidrio	20	Se presenta como parte de la matriz fina y presenta rasgos fluidales.
3	Opacos	15	Al parecer sulfuros diseminados por la matriz y precipitados en las venillas.
4	Calcita	15	Abundante calcita oscura debido a la alteración.
5	Titanomagnetita	10	Remanentes de titanomagnetita, rodeados de gránulos opacos gruesos
6	Cuarzo	5	Presente en venillas.
OBSERVACIONES:			
Roca bastante alterada argilicamente.			
NOMBRE DE LA ROCA:	Toba argilizada		

MUESTRA:	FO-062		
UBICACIÓN:	NORTE	797427	ESTE 83528
TEXTURA:	Seriada: Cristales forman un rango continuo de tamaños sin predominancia.		
COMPOSICIÓN			
N°	MINERAL	%	PROPIEDADES
1	Cuarzo	70	Cristales anhedrales ocupan gran porcentaje de la lamina, forma una red intersticial conectada entre los granos.
2	Opacos	20	Al parecer sulfuros diseminados por la matriz y precipitados en las venillas.
3	Arcillas	10	Producto de desvitrificación del vidrio volcánico y alteraciones.
OBSERVACIONES:			
Contiene arcillas intersticiales (caolinita) de aspecto muy fino, con trazas de clorita y abundantes sulfuros.			
NOMBRE DE LA ROCA:	Veta de cuarzo		

ANEXO 5:

Fichas de descripción calcográfica de
secciones pulidas de la concesión Cascabel

MUESTRA:	FO-010			
UBICACIÓN:	NORTE	797517	ESTE	85201
COMPOSICIÓN				
N°	MINERAL	GRANULOMETRIA	CARACTERISTICAS	
1	Pirita	0.1 a 0.3mm	Cristales cúbicos y anhedrales de pirita de aspecto puro o con inclusiones de rutilo gris.	
2	Calcopirita	5 a 15mm	Agregados muy gruesos de calcopirita, con inclusiones de pirita blanca de hábito cúbico (0.2-0.4mm).	
3	Esfalerita	0.2mm	Cristal gris de esfalerita asociado a calcopirita.	
PARAGENESIS Y OBSERVACIONES:				
Pirita (diseminada); pirita-calcopirita y esfalerita (en la matriz y venillas).				
NOMBRE DE LA ROCA:	Toba lítica			

MUESTRA:	FO-017			
UBICACIÓN:	NORTE	797155	ESTE	84614
COMPOSICIÓN				
N°	MINERAL	GRANULOMETRIA	CARACTERISTICAS	
1	Pirita	0.1-0.5mm	Pirita cúbica y trazas de rutilo.	
PARAGENESIS Y OBSERVACIONES:				
Abundancia de pirita en la muestra: 12%.				
NOMBRE DE LA ROCA:	Veta de cuarzo.			

MUESTRA:	FO-041			
UBICACIÓN:	NORTE	797371	ESTE	85027
COMPOSICIÓN				
N°	MINERAL	GRANULOMETRIA	PROPIEDADES	
1	Pirita	0.1 a 0.3mm	Pirita blanca cúbica.	
2	Calcopirita	0.1-0.5mm	La calcopirita está bastante fresca, de color amarillo dorado y en general de granulometría fina	
3	Bornita	0.1-0.2mm	La bornita es de color rosado pálido y puede presentarse en algunos cristales aislados con láminas de calcopirita.	
4	Magnetita	0.1 a 0.4mm y hasta 1mm	Magnetita granular parcialmente martitizada.	
PARAGENESIS Y OBSERVACIONES:				
Magnetita-pirita-calcopirita-bornita y con una abundancia relativa de magnetita > calcopirita (2-3%) > trazas de pirita y bornita (<0.5%).				
NOMBRE DE LA ROCA:	Pórfido andesítico			

MUESTRA:	FO-042			
UBICACIÓN:	NORTE	797371	ESTE	85027
COMPOSICIÓN				
N°	MINERAL	GRANULOMETRIA	PROPIEDADES	
1	Pirita	0.1-0.3mm	Cristales cúbicos de pirita de aspecto puro.	
2	Calcopirita	0.1-0.3mm	La calcopirita es fresca, de color amarillo dorado y en general de granulometría fina.	
3	Magnetita	0.5-1mm	Abundante magnetita granular diseminada.	
PARAGENESIS Y OBSERVACIONES:				
Magnetita- pirita-calcopirita y con una abundancia relativa magnetita (3-4%) > calcopirita (<1%) > pirita (trazas) y relictos de titanomagnetita del intrusivo original.				
NOMBRE DE LA ROCA:	Diorita hornblendica			

MUESTRA:	FO-043			
UBICACIÓN:	NORTE	797221	ESTE	84719
COMPOSICIÓN				
N°	MINERAL	GRANULOMETRIA	PROPIEDADES	
1	Pirita	0.1 a 0.5mm	Pirita de color blanco, muestra buen pulimiento con granulometría muy variable.	
PARAGENESIS Y OBSERVACIONES:				
Abundancia de pirita en la muestra: 8 a 10%				
NOMBRE DE LA ROCA:	Brecha volcanoclástica			

MUESTRA:	FO-046			
UBICACIÓN:	NORTE	796869	ESTE	87152
COMPOSICIÓN				
N°	MINERAL	GRANULOMETRIA	PROPIEDADES	
1	Pirita	0.1-0.4mm	Pirita de color blanco, muestra buen pulimiento con granulometría muy variable.	
2	Calcopirita	0.1-0.3mm	La calcopirita es fresca, de color amarillo dorado y en general de granulometría fina.	
3	Magnetita	0.1 a 0.4mm	Magnetita pura de color beige oscuro.	
PARAGENESIS Y OBSERVACIONES:				
Paragénesis de Magnetita-pirita-calcopirita (diseminada) y pirita-calcopirita (en venillas de cuarzo) y con una abundancia relativa Calcopirita (2%) > pirita > magnetita y relictos de titanomagnetita alterada a rutilo.				
NOMBRE DE LA ROCA:	Diorita hornbléndica			

MUESTRA:	FO-048			
UBICACIÓN:	NORTE	795857	ESTE	86522
COMPOSICIÓN				
N°	MINERAL	GRANULOMETRIA	PROPIEDADES	
1	Pirita	0.2 hasta 4mm	Cristales y acumulaciones de pirita cúbica de color blanco.	
PARAGENESIS Y OBSERVACIONES:				
Abundancia de pirita en la muestra: 4 a 5%, algunos cristales de pirita de mayor tamaño, presentan inclusiones micrométricas de pirrotina rosada.				
NOMBRE DE LA ROCA:		Toba lítica		

MUESTRA:	FO-053			
UBICACIÓN:	NORTE	798635	ESTE	84911
COMPOSICIÓN				
N°	MINERAL	GRANULOMETRIA	PROPIEDADES	
1	Pirita	0.1 a 1mm	Pirita cúbica bien cristalizada alterandose a limonitas grises.	
2	Calcopirita	2 a 3mm	Calcopirita pura levemente oxidada, de aspecto bronceado.	
PARAGENESIS Y OBSERVACIONES:				
Pirita-calcopirita (diseminadas y en venilla) y con una abundancia relativa de pirita > calcopirita (diseminada) y calcopirita > pirita (en la venilla) En sectores se aprecian limonitas rojas y malaquita.				
NOMBRE DE LA ROCA:		Toba		

MUESTRA:	FO-061			
UBICACIÓN:	NORTE	797392	ESTE	83514
COMPOSICIÓN				
N°	MINERAL	GRANULOMETRIA	PROPIEDADES	
1	Pirita	0.1-0.3mm	Pirita de color blanco, muestra buen pulimiento con granulometría muy variable.	
2	Calcopirita	0.1 hasta 0.4mm	La calcopirita pura, de color amarillo dorado y en general de granulometría fina.	
3	Magnetita	0.1-0.5mm	Magnetita martitizada, muy alterada.	
PARAGENESIS Y OBSERVACIONES:				
Paragénesis de magnetita (alterada)- pirita-calcopirita (en la venilla de cuarzo) y con una abundancia relativa de calcopirita > pirita.				
NOMBRE DE LA ROCA:		Toba argilizada		

MUESTRA:	FO-062		
UBICACIÓN:	NORTE	797427	ESTE 83528
COMPOSICIÓN			
N°	MINERAL	GRANULOMETRIA	PROPIEDADES
1	Pirita	1 a 3mm	Pirita de color blanco, muestra buen pulimiento con cristales alargados.
2	Calcopirita	0.5 a 1mm	La calcopirita pura, de color amarillo dorado y en general de granulometría fina.
3	Calcosina	-----	Se reconoce una película delgada de calcosina gris, poco desarrollada.
4	Bornita	30 a 40 micrones	Cristales pequeños de bornita de tono rosado, reemplazando a la calcopirita.
5	Esfalerita	0.1mm	Inclusiones de esfalerita gris.
6	Oro	30 micrones	Dos granos de oro nativo encapsulado en calcopirita
PARAGENESIS Y OBSERVACIONES::			
Paragénesis de pirita-calcopirita, con inclusiones de bornita y oro y otra de pirita-calcopirita-calcosina gris e inclusiones de esfalerita con una abundancia relativa de calcopirita (3-4%) > pirita > calcosina > trazas de bornita y oro (encapsulado en calcopirita).			
NOMBRE DE LA ROCA:	Veta de cuarzo		