

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CATAMARCA  
FACULTAD DE TECNOLOGÍA Y CIENCIAS APLICADAS  
DOCTORADO EN GEOLOGIA

TESIS DOCTORAL

**“Geología y Génesis del Pórfido de Au-Cu de Bajo El Durazno, Provincia de  
Catamarca, República Argentina”**



Doctorando: JULIO M. BRUNA NOVILLO

Director: MARÍA FLORENCIA MÁRQUEZ ZAVALÍA

Co-Director: CHRISTOPH A. HEINRICH

Año de Presentación: 2018

---

Nombre y Apellido: Julio M. Bruna Novillo

Título del trabajo: “Geología y Génesis del Pórfido de Au-Cu de Bajo El Durazno, Provincia de Catamarca, República Argentina”

Tesis de Doctorado

U)

V) La reproducción total o parcial de este libro en forma idéntica o modificada, escrita a máquina o por el sistema “multigraph”, mimeógrafo, impreso, etc., no autorizada por los editores, viola derechos reservados.

Cualquier utilización debe ser previamente solicitada.

© 2018 by Editorial Científica Universitaria  
Universidad Nacional de Catamarca.

Hecho el depósito que marca la ley.  
I.S.B.N. N° 978-987-661-340-8

## DEDICATORIA

*A mi familia: Claudia,  
Matteo y Francesco,  
mis guías y maestros  
en el camino de la vida.*

*En memoria de  
mi madre,  
mi primer maestra.*

## AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo de tesis es la culminación de un largo y difícil proceso de trabajo, formación y aprendizajes, en el cual muchas personas e instituciones contribuyeron. Les agradezco muy sinceramente a todas ellas por haberme ayudado.

A mi Director, María Florencia Márquez Zavalía por su apoyo incondicional y alentarme para finalizar el proceso de tesis, por ayudarme a desarrollar todos los pasos de la tesis aplicando correctamente los mejores recursos teóricos y metodológicos disponibles, a concretar todos los objetivos planteados desde el inicio de esta investigación y por sus enseñanzas, compromiso, dedicación y participación a mejorar y enriquecer el manuscrito.

A mi Codirector Christoph Heinrich, por sus contribuciones, *feedback* y participación en enriquecer el trabajo de tesis.

A Yacimientos Mineros Agua de Dionisio (YMAD), propietaria de la concesión minera Bajo El Durazno, por permitirme desarrollar este trabajo, en especial a Nicolás Montenegro (Superintendente de la Mina Farallón Negro) quién realizó la gestión del permiso. A Minera Alumbreira Ltd. (MAA), empresa responsable de las exploraciones desarrolladas; por el financiamiento, la logística y la autorización para publicar los datos.

Al Departamento de Geología Aplicada de la Universidad Nacional de Córdoba y al Departamento de Mineralogía, Petrografía y Geoquímica del IANIGLA, CCT Mendoza, CONICET, por permitirme realizar las tareas de laboratorio.

También agradezco a los profesores integrantes de la comisión examinadora, Dra. Viviana Martínez, Dr. Ricardo Etcheverry y al Dr. Ing. Fernando Torres por sus aportes y correcciones, los que incrementaron la calidad de este trabajo.

A Mario Rossi y José Bassan por sus aprendizajes y aportes durante las revisiones y auditorías técnicas en diferentes proyectos (Argentina, Perú y Chile), incluyendo a Bajo El Durazno.

A Luis Rivera Ruiz y Steve Brown por las enseñanzas y aprendizajes y darme la oportunidad de crecer profesionalmente.

A Julio Ríos Gómez por las enseñanzas y aprendizajes compartidos durante largas charlas sobre proyectos de exploración.

A todos los los geólogos de Exploración de MAA que participaron de alguna manera durante los programas de perforación 2009, 2010 y 2011 y pusieron su grano de arena para el conocimiento e interpretación del proyecto BED: A. Carrazana, S. Gregorat, N. Montenegro, V. Simon, M. Garcia, F. Villavicencio, M. Barrionuevo y E. Pavetti.

Al personal técnico del área de Exploración de MAA: M. Cruz, R. Alvarez, V. Acosta, R. Silva, A. Fabian, C. Alvarez, S. Cajal, R. Cancino y L. Franco; y al departamento de Topografía: J. Corra, H. Cruz, J. Nieva y M. Agüero.

Finalmente agradezco a mi esposa y mis hijos por tener la paciencia y apoyarme incondicionalmente en todo lo que se refiriera a este trabajo de investigación.

## RESUMEN

El proyecto Bajo El Durazno (BED) pertenece al distrito minero de Agua de Dionisio; está ubicado a 5 km al NNE del depósito Bajo de la Alumbreira y a 2 km de la planta concentradora de Minera Alumbreira. El yacimiento está localizado dentro del complejo volcánico Farallón Negro (CVFN), el cual está erosionado, deformado por fallas y mineralizado, resultando en una "depresión geomorfológica" con alteración hidrotermal conocida como "bajo".

El área presenta un sistema estructural con dos familias principales de fracturas asociadas a lineamientos regionales: NO-SE y NE-SO y estructuras menores de orientación E-O y N-S. La inclinación general del fallamiento del área se encuentra entre los 68° y 80°.

La mineralogía y zonación de las facies de alteración corresponde a: 1) formación de las zonas de alteración cuarzo-magnetita en vetillas, y por sectores en forma masiva (restringida al pórfido P2 en el sector central del depósito), seguida por alteración potásica (Bt±Fk±Mag), y epidoto-clorita (Ep-Chl±Cb); 2) desarrollo de la alteración ADF (Alteración Destructiva de Feldespatos), formada por las alteraciones fílica (Qz-Ser±Py) y argílica intermedia (hacia fuera y arriba en la parte superior), por sectores en forma escasa a moderada, sobrepuesta a la alteración potásica; y 3) formación de facies de alteración argílica avanzada en la parte superior del sistema.

La zona de oxidación en la parte superior producto de la meteorización, es ocasionada por agua meteórica, fue interpretada desde la quebrada principal hasta una profundidad promedio de 30 m., es de intensidad débil a moderada y está representada por alteración supergénica, con lixiviación de sulfuros, pátinas de limonita-goethita sobre sulfuros en vetillas, hematita sobre magnetita y óxidos de Cu (malaquita) y en algunos casos de Mn (neotocita).

Se interpretaron dos tipos de mineralización: uno asociado a un sistema tipo pórfido y otro a brechas. En el primero, el emplazamiento del magma y su posterior actividad hidrotermal ha causado una moderada fracturación generando *stockwork*, principalmente en los pórfidos P1 y P2 y la mineralización de Au-Cu ocurre en finas vetillas, en vetas y en forma diseminada, para la diorita de caja (P0), disminuye en leyes como también los pórfidos dioríticos más jóvenes, de los cuales el pórfido post-mineralización (P4), es prácticamente estéril.

En el segundo tipo, la mineralización está asociada a las brechas ígneas o intrusivas, posteriores a todos los intrusivos, denominadas Bx1, Bx2 y Bx3 y que se atribuyen a la inyección a presión de magma desde los *stocks* en enfriamiento, produciendo fracturamiento hidráulico en rocas pre-existentes y brechas con matriz ígnea. Asociado a la alteración argílica por falla (Arg) en las estructuras principales post-minerales, se reconoce un evento posterior al emplazamiento de las brechas con valores promedios anómalos de Au-Cu-Mo y Ag.

Existe una buena correlación positiva entre las concentraciones de Au y Cu con un coeficiente de correlación de 0,82 y una relación entre Au:Cu  $\approx$  4:1. La correlación entre las concentraciones de Au y Ag también es positiva pero con un coeficiente mas bajo (0,50) y una relación entre Ag:Au  $\approx$  1,2:1.

El proyecto BED presenta una ley media de 0,33 gpt para el Au y de 0,12 % para el Cu y tiene una relación Au/Mo  $\geq$  80.

La distribución de la mineralización del molibdeno está espacialmente bien definida y representada por valores de leyes bajas  $\leq$  0,010% Mo. Las estimaciones cuantitativas y cualitativas de los minerales, indican que las brechas (Bx1-Bx2-Bx3) y el pórfido diorítico P0 contiene concentraciones de Mo ligeramente superiores a las intrusiones P1 y P2 mineralizadas con Au y Cu, evidenciando que la deposición de la molibdenita fue ligeramente posterior y más periférica con respecto que la del Au y el Cu, coincidiendo con el modelo de Cu, Au y Mo de Bajo de la Alumbrera.

Todas las muestras se encuentran en el campo de la serie shoshonítica y presentan composiciones químicas típicas de las rocas ígneas potásicas relacionadas con la subducción y se presentan en el campo para los arcos continentales y post-colisionales.

Considerando el modelo de génesis aceptado para BLA, y su nivel de erosión, en forma preliminar se interpreta que el depósito BED se encuentra en un nivel superior, entre unos 200 a 250 m, dependiendo del fallamiento del sector. La secuencia de exposición relativa de los diferentes niveles erosivos de otros depósitos/prospectos del CVFN con respecto a BLA desde el menos expuesto hasta el más erosionado, sería: 1- Bajo Agua Tapada; 2- Bajo Las Pampitas; 3- BED; 4- BLA y 5- Bajo San Lucas. La hipótesis presentada se fundamenta en los resultados exploratorios obtenidos de diferentes programas de perforación DDH realizados y sus respectivas descripciones, interpretaciones y evidencias geológicas.

## ABSTRACT

The Bajo El Durazno project (BED) belongs to the mining district of Agua de Dionisio; it is located 5 km to the NNE of the Bajo de la Alumbra deposit and 2 km from Minera Alumbra's concentrator plant. The deposit, which is located within the Farallón Negro volcanic complex (CVFN), is eroded, deformed by faults and mineralized, resulting in a geomorphological depression with hydrothermal alteration known as "bajo".

The area presents a structural system with two main sets of fractures associated with the regional lineaments: NO-SE and NE-SO and associated minor structures oriented E-O and N-S and a general inclination of 68° to 80°.

The mineralogy and zonation of the alteration facies is: 1) formation of quartz-magnetite alteration zones (mainly in veins, restricted in porphyry P2 in the central sector of the deposit), followed by potassic (Bt±Fk±Mag), and epidote-chlorite (Ep-Chl±Cb) alterations; 2) development of the ADF (Feldspar Destructive Alteration), formed by the phyllic (Qz-Ser±Py) and intermediate argillic alterations (outward and above), weak to moderate depending on the area, and overprinting the potassic alteration; and 3) formation of an advanced argillic alteration facies, in the upper part of the system.

The oxidation zone, product of weathering by meteoric waters, reaches an average depth of 30 m. It is weak to moderate in intensity and is represented by supergene alteration, with leaching of sulfides, limonite-goethite patinas, hematite on magnetite, and oxides of Cu (malachite) and, in some cases, of Mn (neotocite).

Two types of mineralization were interpreted: one associated to a porphyry type system and another to breccias. In the first, the location of the magma and its subsequent hydrothermal activity has caused a moderate fracturing generating stockwork, mainly in the P1 and P2 porphyries. The mineralization of Au-Cu occurs in thin veinlets, in veins and disseminated, decreasing in its degree from the early porphyries to the younger ones until finally the post-mineralization porphyry (P4) is practically barren.

In the second type, the mineralization postdates all the previous intrusives and is associated to the igneous or intrusive breccias (Bx1, Bx2 and Bx3), which are ascribed to pressure magma injection from the cooling stocks, generating hydraulic fracturing in pre-existing rocks and



breccias with igneous matrix. Associated with the fault-related argillic alteration (Arg), in the main post-mineral structures, it is recognized an event after the emplacement of the breccias, which has anomalous average values of Au-Cu-Mo and Ag.

There is a good positive correlation between Au and Cu concentrations with a correlation coefficient of 0,82 and a Au: Cu ratio  $\approx$  4:1. The correlation Au:Ag is also positive but with a coefficient lower (0,50) and a Ag:Cu ratio  $\approx$  1.2:1.

The BED project has an average grade of 0,33 gpt Au and 0,12% Cu and has a Au/Mo ratio  $\geq$  80.

The distribution of Mo mineralization is spatially well defined and is represented by low grades  $\leq$  0,010% Mo. Quantitative and qualitative mineral estimates indicate that the breccias Bx1-Bx2-Bx3 and the dioritic porphyry P0 contain Mo concentrations slightly higher than the intrusions P1 and P2, which have Au and Cu mineralization, showing that the deposition of molybdenite was slightly later and more peripheral than the Au and Cu mineralization, coinciding with the Cu, Au and Mo Bajo de la Alumbrera model.

All the chemical compositions of the BED samples are typical of the igneous rocks related to subduction and found in the field for continental and post-collisional arcs and plot in the field of the shoshonitic series.

Considering the BLA genetic model and the level of erosion of the same deposit, it is preliminary interpreted that the BED deposit is at a higher level than BLA, between 200 and 250 m, depending on the fault system of the sector.

The sequence of relative exposure of the different erosive levels of the other deposits/prospects of the CVFN with respect to BLA, from the least exposed to the most eroded, would be: 1- Bajo Agua Tapada; 2- Bajo Las Pampitas; 3- BED; 4- BLA and 5- Bajo San Lucas. The present hypothesis is based on the exploratory results obtained from different DDH drilling programs carried out through the course of time and their respective descriptions, interpretations and geological evidences.

## RESUMO

O projeto Bajo El Durazno (BED) pertence ao distrito de mineração de Agua de Dionisio; está localizado a 5 km para o NNE do depósito Bajo de la Alumbreira e a 2 km da usina de concentração da Minera Alumbreira. A jazida está localizada dentro do complexo vulcânico Farallón Negro (CVFN), o qual está erodido, deformado por falhas e mineralização, resultando em uma "depressão geomorfológica" com alteração hidrotermal conhecida como "bajo".

A área apresenta um sistema estrutural com duas famílias principais de fraturas associadas a alinhamentos regionais: NO-SE e NE-SO e estruturas menores de orientação E-O e N-S. A inclinação geral da área de falha está entre 68° e 80°.

A mineralogia e zonação das fácies de alteração corresponde a: 1) formação das zonas de alteração quartzo-magnetita em filões, e por setores de forma maciça (restrita ao pórfiro P2, no setor central do depósito), seguida por alteração potássica (Bt±Fk±Mag), e epidoto-clorita (Ep-Chl±Cb); 2) desenvolvimento da alteração ADF (Alteração Destrutiva de Feldspatos), formada pelas alterações fílica (Qz-Ser±Py) e argílica intermediária (para fora e em cima na parte superior), por setores de forma escassa a moderada, sobreimposta à alteração potássica; e 3) formação de fácies de alteração argílica avançada na parte superior do sistema.

A zona de oxidação, produto da meteorização ocasionada por água meteórica, chega até uma profundidade média de 30 m, é de intensidade fraca a moderada, e está representada por alteração supergênica, com lixiviação de sulfuretos, pátinas de limonita-goethita sobre sulfuretos em filões, hematita sobre magnetita e óxidos de Cu (malaquite) e em alguns casos de Mn (neotocita).

Foram interpretados dois tipos de mineralização: um associado a um sistema tipo pórfiro e outro a brechas. No primeiro, a localização do magma e sua posterior atividade hidrotermal causou um fraturamento moderado, gerando "*stockwork*", principalmente nos pórfiros P1 e P2 e a mineralização de Au-Cu ocorre em filões finos, em veias e disseminada diminuindo em grau dos pórfiros precoces aos mais jovens, até que finalmente o pórfiro pós-mineralização (P4) é praticamente estéril.

No segundo tipo, a mineralização está associada às brechas ígneas ou intrusivas, posteriores a todos os intrusivos, denominadas Bx1, Bx2 e Bx3, e que são atribuídas à injeção sob pressão

de magma dos “*stocks*” em resfriamento, produzindo fraturamento hidráulico em rochas preexistentes e brechas com matriz ígnea. Associado à alteração argílica por falha (Arg) nas estruturas principais pós-minerais, é reconhecido um evento posterior à localização das brechas com valores médios anômalos de Au-Cu-Mo e Ag.

Existe uma boa correlação positiva entre as concentrações de Au e Cu com um coeficiente de correlação de 0,82 e uma relação entre Au:Cu  $\approx$  4:1. A correlação entre as concentrações de Au e Ag também é positiva, mas com um coeficiente mais baixo (0,50) e uma relação entre Ag:Au  $\approx$  1,2:1.

O projeto BED apresenta uma concentração média de 0,33 gpt para o Au e de 0,12% para o Cu, e tem uma relação Au/Mo  $\geq$  80.

A distribuição da mineralização do molibdênio está espacialmente bem definida e representada por valores de concentrações baixas  $\leq$  0,010% Mo. As estimativas quantitativas e qualitativas dos minerais indicam que as brechas (Bx1-Bx2-Bx3) e o pórfiro diorítico P0 contêm concentrações de Mo ligeiramente superiores às intrusões P1 e P2 mineralizadas com Au e Cu, evidenciando que a deposição da molibdenita foi levemente posterior e mais periférica a respeito da do Au e do Cu, coincidindo com o modelo de Cu, Au e Mo de Bajo de la Alumbrera.

Todas as amostras se encontram no campo da série shoshonítica e apresentam composições químicas típicas das rochas ígneas potássicas relacionadas com a subducção e se encontram no campo para os arcos continentais e pós-colisionais.

Considerando o modelo de gênese aceito para BLA, e seu nível de erosão, de forma preliminar interpreta-se que o depósito BED se encontra em um nível superior, entre 200 a 250 m, dependendo do falhamento do setor. A sequência de exposição relativa dos diferentes níveis erosivos de outros depósitos/prospectos do CVFN em relação a BLA, desde o menos exposto até o mais erodido, seria: 1- Bajo Agua Tapada; 2- Bajo Las Pampitas; 3- BED; 4- BLA e 5- Bajo San Lucas. A hipótese apresentada é baseada nos resultados exploratórios obtidos de diferentes programas de perfuração DDH realizados e suas respectivas descrições, interpretações e evidências geológicas.

## INDICE DE CONTENIDOS

<b>1</b>	<b>Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Objetivos</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Plan de Trabajo</b>	<b>5</b>
3.1	Trabajos de Campo	5
3.2	Trabajos de Gabinete	5
3.3	Trabajos de Laboratorio	5
3.3.1	Análisis de Testigos de Perforación	5
3.3.2	Análisis de Datos Geoquímicos	6
3.3.3	Estudio de Alteraciones Hidrotermales y Mineralizaciones Asociadas	6
3.3.4	Nivel de Erosión e Interpretación del Modelo Genético del Yacimiento	7
<b>4</b>	<b>Ubicación y Accesos – Descripción de la Propiedad</b>	<b>8</b>
4.1	Ubicación y Accesos	8
4.2	Descripción de la Propiedad	10
<b>5</b>	<b>Geomorfología, Clima, Recurso Local e Infraestructura</b>	<b>12</b>
5.1	Geomorfología	12
5.2	Clima	14
5.3	Recurso Local	15
5.4	Infraestructura	16
<b>6</b>	<b>Antecedentes</b>	<b>18</b>
6.1	Exploratorios	18
6.1.1	Geología Local	26
6.1.2	Mineralización Local	28
<b>7</b>	<b>Marco Geológico</b>	<b>32</b>
7.1	Geología Regional	32
7.2	Complejo Volcánico Farallón Negro	33
7.2.1	Historia Magmática y Petrogénesis	33
7.2.2	Evolución Tectónica	39
<b>8</b>	<b>Geología Local</b>	<b>41</b>
8.1	Base de Datos	42
8.2	Estructura	45
8.3	Litología	47
8.3.1	Interpretación Litológica y Descripción de la Sección 50	51
8.3.2	Pórfido Diorítico Pre-Mineralización (P0)	55
8.3.3	Pórfidos Dioríticos Sin-Mineralización (P1 y P2)	56
8.3.4	Pórfido Diorítico Post-Mineralización (P4)	60
8.3.5	Brechas Ígneas o Intrusivas	61
8.3.5.1	Brecha Bx1	66
8.3.5.2	Brecha Bx2	70
8.3.5.3	Brecha Bx3	73
8.4	Alteración	76
8.4.1	Interpretación Alteración y Descripción de la Sección 50	78
8.4.2	Alteración Potásica (K)	82
8.4.3	Alteración Destructiva de Feldespatos (ADF)	83

8.4.3.1	Alteración Fílica	83
8.4.3.2	Alteración Argílica Intermedia	84
8.4.4	Alteración Epidoto-Clorita (Ep-Cl)	84
8.4.5	Alteración Cuarzo-Magnetita (Qz-Mag)	84
8.5	Oxidación	86
<b>9</b>	<b>Mineralización</b>	<b>88</b>
9.1	Mineralización Regional	88
9.2	Mineralización Local	89
9.3	Secuencia de Vetillas y Mineralización	98
9.4	Distribución de la Mineralización	102
9.5	Contenido de Magnetita	111
9.6	Estadísticas Elementales	116
<b>10</b>	<b>Geoquímica</b>	<b>123</b>
10.1	Elementos Mayoritarios	125
10.2	Elementos Traza y Tierras Raras	132
10.3	Implicaciones Tectónicas	138
<b>11</b>	<b>Evaluación y Análisis de Variables Geomecánicas en Testigos de Rocas</b>	<b>141</b>
11.1	Introducción	141
11.2	Densidad	141
11.3	Índices Geomecánicos	145
11.4	Recuperación de Muestras	151
11.5	Carga Puntual y Compresión Uniaxial	153
11.6	Susceptibilidad Magnética	156
<b>12</b>	<b>Nivel de Erosión</b>	<b>158</b>
<b>13</b>	<b>Tipo de Depósito</b>	<b>160</b>
13.1	Pórfidos de Cobre Ricos en Oro	160
13.2	Modelo Geológico y Conceptos	164
13.3	Características Geológicas	165
<b>14</b>	<b>Interpretación y Génesis del Depósito</b>	<b>167</b>
14.1	Introducción	167
14.2	Génesis y Evolución del Yacimiento	167
<b>15</b>	<b>Consideraciones Finales y Conclusiones</b>	<b>173</b>
15.1	Estructura	173
15.2	Litología	174
15.3	Alteración	174
15.4	Oxidación	175
15.5	Mineralización	176
15.6	Geoquímica	179
15.7	Variables Geomecánicas en Testigos de Rocas	181
15.8	Nivel de Erosión	182
15.9	Génesis y Evolución del Yacimiento	182
<b>16</b>	<b>Bibliografía</b>	<b>184</b>
<b>17</b>	<b>Anexos</b>	<b>202</b>

## INDICE DE FIGURAS

Figura 4-1: Mapa político y detalle con vías de acceso desde San Fernando del Valle de Catamarca (Capital) hacia Bajo de la Alumbrera ( <i>Google Earth</i> ).	9
Figura 4-2: Imagen tomada de <i>Google Earth</i> mostrando el acceso (línea discontinua) al proyecto BED, desde oficinas de Geología de Exploración de BLA.	10
Figura 4-3: Imagen satelital del distrito minero Agua de Dionisio, área de mensura Abel Peirano (línea roja) y área mina Bajo de la Alumbrera (línea celeste). Posición del proyecto Bajo El Durazno en relación con otros proyectos dentro la propiedad.	11
Figura 5-1: Ubicación geomorfológica del proyecto Bajo El Durazno.	13
Figura 5-2: Ubicación de infraestructura perteneciente a MAA adyacente a Bajo El Durazno.	17
Figura 6-1: Planos de litología bosquejados por Sasso, 1997 (modificado de Meldrum, 2000).	19
Figura 6-2: Planos de alteración bosquejados por Sasso, 1997 (modificado de Meldrum, 2000).	20
Figura 6-3: Mapa de litología realizado por S. Meldrum para MIMEX (modificado de Meldrum, 2000).	22
Figura 6-4: Mapa de alteraciones realizado por S. Meldrum para MIMEX (modificado de Meldrum, 2000).	23
Figura 6-5: Sección con tipo de rocas, mineralización y oxidación en MS3D interpretados originalmente con perforaciones históricas (modificado de Coward, 2006). DTM: Modelo Digital del Terreno.	25
Figura 6-6: Plano litológico de Meldrum (2000) con análisis geoquímicos de oro en superficie, realizado por MIMEX (modificado de MIMEX, 2001).	29
Figura 6-7: Plano litológico de Meldrum (2000) con análisis geoquímicos de cobre en superficie, realizado por MIMEX (modificado de MIMEX, 2001).	30
Figura 7-1: Mapa geológico del CVFN (simplificado de Llambías, 2011).	38
Figura 8-1: Mecanismos para desarrollo de fracturas. Emplazamiento de intrusión, convergencia oblicua (modificado de Corbett y Leach, 1997).	46
Figura 8-2: Fotografías de ½ testigos diámetro HQ, de diferentes contactos litológicos.	49
Figura 8-3: Plano litológico según Meldrum 2000, modificado y generado en <i>MineSight 3D</i> . Sección 50 según grilla N 70° E.	52
Figura 8-4: Sección 50, según grilla N 70° E, con sólidos de litología interpretada, sondeos con leyes y modelo de bloques de leyes de Au (gpt) y Cu (%), en formato “ <i>grade shell</i> ” generado en <i>MineSight 3D</i> .	53
Figura 8-5: Fotografías de muestras de mano <i>in situ</i> , en las que se observan características texturales, mineralógicas y de las diferentes zonas de	

- alteración que afectan al intrusivo diorítico P0, interpretado y descrito en la tabla 8-6. 55
- Figura 8-6: Fotomicrografías (n x) de secciones delgadas de muestras pertenecientes a P0. A) Textura porfírica. Fenocristales de plagioclasa (Pl) con leve alteración a sericita, biotita secundaria (Bt), minerales opacos diseminados en matriz de grano fino. B) Vetillas de cuarzo (Vn Qz) y biotita secundaria (Vn Qz+Bt) con minerales opacos. Barra de escala: 0,5 mm. 56
- Figura 8-7: Fotografías de muestras de mano *in situ*, en las que se observan características texturales, mineralógicas y de las diferentes zonas de alteración que afectan al intrusivo diorítico P1, interpretado y descrito en la tabla 8-7. 57
- Figura 8-8: Fotomicrografías (n x) de secciones delgadas de muestras pertenecientes a P1. A) Textura porfírica. Fenocristales de plagioclasa (Pl) levemente sericitizados. Biotita secundaria (Bt) en parches en matriz de grano fino. B) Minerales opacos en vetilla de cuarzo secundario (VnQz). Barra de escala: 0,5 mm. 58
- Figura 8-9: Fotografías de muestras de mano *in situ*, en las que se observan características texturales, mineralógicas y de las diferentes zonas de alteración que afectan al intrusivo diorítico P2, interpretado y descrito en la tabla 8-8. 59
- Figura 8-10: Fotomicrografías (n x) de secciones delgadas de muestras pertenecientes a P2. A) Textura porfírica con fenocristales de biotita (Bt) y plagioclasa (Pl), biotita secundaria (Bt), cuarzo anhedral (Qz) y opacos diseminados en matriz de grano fino. B) Vetilla de cuarzo con minerales opacos (Vn). Biotita secundaria y sericita (Ser) dispersas en la matriz. Barra de escala: 0,5 mm. 60
- Figura 8-11: A) Relación de contacto entre P4 y P2. B) Resalto topográfico del dique, debido a su mayor dureza frente a la erosión diferencial, matriz de grano muy fino y débil alteración. 60
- Figura 8-12: Fotografías de muestras de mano *in situ*, en las que se observan características texturales, mineralógicas y de las diferentes zonas de alteración que afectan al intrusivo diorítico P4, interpretado y descrito en la tabla 8-9. 61
- Figura 8-13: Fotografías de testigos diámetro HQ, de las variaciones texturales de las brechas ígneas y los contactos con los distintos pórfidos. 62
- Figura 8-14: Brecha ígnea o intrusiva aflorante ( $\approx 45 \times 55$  m) en el sector central del depósito, hacia el NNE del *stock* principal P2. Contiene clastos de pórfido P1 (grano fino oscuro) y P2 (grano grueso oscuro) y fragmento de cuarzo redondeado. 63
- Figura 8-15: Fotografías de testigos diámetro HQ, de las variaciones en profundidad de la brecha ígnea o intrusiva, Bx1. 68
- Figura 8-16: Fotografías de testigos diámetro HQ, de las variaciones en profundidad de la brecha ígnea o intrusiva, Bx1. 69

- Figura 8-17: Fotomicrografías (A: n x, B: n //) de secciones delgadas de muestras pertenecientes a Bx1. Matriz fina con cuarzo (Qz) secundario anhedral, biotita secundaria (Bt) y plagioclasa (Pl) fuertemente alterada a sericita. Minerales opacos diseminados en la matriz y en las vetillas de cuarzo y biotita secundaria (Vn). Barra de escala: 0,5 mm. 70
- Figura 8-18: Fotografías de testigos diámetro HQ, de las variaciones en profundidad de la brecha ígnea o intrusiva, Bx2. 72
- Figura 8-19: Fotomicrografías (A: n x, B: n //) de secciones delgadas de muestras pertenecientes a Bx2. Minerales opacos diseminados en matriz de grano fino con biotita secundaria (Bt) y en vetilla de cuarzo (Vn) y sericita fibrosa. 73
- Figura 8-20: Fotografías de testigos diámetro HQ, de las variaciones en profundidad de la brecha ígnea o intrusiva, Bx3. 75
- Figura 8-21: Fotomicrografías (A: n x, B: n //) de secciones delgadas de muestras pertenecientes a Bx3. Matriz de textura fina con biotita secundaria (Bt) y minerales opacos anhedrales diseminados y en vetillas (Vn). Fragmentos de fenocristales de plagioclasa (Pl) alterados a sericita y de biotita primaria alterada a biotita secundaria. Barra de escala: 0,5 mm. 75
- Figura 8-22: Fotografías de ½ testigos diámetro HQ, presentando distintas alteraciones. 77
- Figura 8-23: Plano de alteración según Meldrum (2000), modificado y generado en *MineSight 3D*. Sección 50 según grilla N70°E. 78
- Figura 8-24: Plano de alteración según Meldrum (2000) y generado en *MineSight 3D*. Sección 50 según grilla N70°E (adaptado y modificado por Bruna Novillo, 2009). 80
- Figura 8-25: Sección 50, según grilla N 70° E, con sólidos de alteración interpretados y modelo de bloques de leyes de Au (gpt) y Cu (%), en formato “*grade shell*”, generado en *MineSight 3D*. 81
- Figura 8-26: Fotografías de testigos diámetro HQ, sondeo 47.0-51.4. Intrusivo P2 con fuerte intensidad de vetillas cuarzo-magnetita (25-30%). 85
- Figura 8-27: Fotografías de afloramientos con minerales de oxidación. 86
- Figura 9-1: Fotografías de testigos diámetro HQ, con mineralización y diferentes tipos de vetillas. 91
- Figura 9-2: Fotografías de testigos diámetro HQ, reflejando la mineralización de calcopirita. 92
- Figura 9-3: Fotografías de testigos diámetro HQ, sondeo 53.0-42.4; 85,70 m a 95,10 m. Alt ADF moderada a fuerte sobrepuesta sobre alteración K, con >>Ser-arcilla-Cb sobre Pl; Qz-Ser en matriz parcial Ser-Chl sobre mafitos y en halos en vn tipo D. Vn tipo D cortan a 40-50° con respecto al eje del testigo. Vetillas de Gp entre 7% y 10%. 93
- Figura 9-4: Fotografías de testigos diámetro HQ, sondeo 47.0-51.4: 267 m a 274,50 m. Intrusivo P2, con alteración K dominante de moderada a fuerte con



Bt+Mag fina en matriz. Sil parcial sobre Pl y parcial en matriz. Alt. ADF sobreimpuesta con traza de Ser-arcillas sobre Pl y Chl sobre mafitos. Vetillas de Gp-Qz-Cb+Py variable entre 3% y 5%.	94
Figura 9-5: Paragénesis de vetillas basadas en las relaciones de corte, observadas en muestras de testigos de perforación.	99
Figura 9-6: Fotografías de testigos diámetro HQ, de diferentes secuencias de vetillas en pórfidos y su relación temporal.	101
Figura 9-7: Correlación positiva de leyes de Au vs. Cu en los diferentes intrusivos dioríticos y brechas ígneas o intrusivas.	103
Figura 9-8: Gráficos de leyes media de oro y cobre por dominios litológicos.	104
Figura 9-9: Gráficos de leyes media de oro y cobre por dominios de alteración.	105
Figura 9-10: Gráficos de dispersión Au vs. Cu. A) Intrusivos; B) Brechas y C) Intrusivos + Brechas.	106
Figura 9-11: Gráficos de leyes media de molibdeno y plata por dominios de litología.	107
Figura 9-12: Gráficos de leyes media de molibdeno y plata por dominios de alteración.	109
Figura 9-13: Gráficos de dispersión Au vs. Ag. A) Intrusivos; B) Brechas y C) Intrusivos + Brechas.	110
Figura 9-14: Leyes de Au y Cu en el sondeo 51.0-44.2 comparando vetillas de cuarzo, magnetita diseminada, litología y alteración.	112
Figura 9-15: Leyes de Au y Cu en el sondeo 47.0-51.4 comparando vetillas de cuarzo, magnetita diseminada, litología y alteración.	113
Figura 9-16: Resumen estadístico y gráficos de leyes de Au-Cu vs. Susceptibilidad magnética en profundidad del sondeo 51.0-44.2.	115
Figura 9-17: Resumen estadístico y gráficos de leyes de Au-Cu vs. Susceptibilidad magnética en profundidad del sondeo 45.0-51.0.	116
Figura 9-18: Secciones E-O y N-S cada 30 m y en planta cada 15 m en el proyecto, generadas en MS 3D.	119
Figura 9-19: Sección E-O según grilla con influencia $\pm 15$ m, sondeos con leyes y modelo de bloques de leyes de Au (gpt) y Cu (%), en formato “ <i>grade shell</i> ” generado en <i>MineSight 3D</i> .	120
Figura 9-20: Sección N-S según grilla con influencia $\pm 15$ m, sondeos con leyes y modelo de bloques de leyes de Au (gpt) y Cu (%), en formato “ <i>grade shell</i> ” generado en <i>MineSight 3D</i> .	121
Figura 9-21: Sección planta en cota 2185 m, según grilla con influencia $\pm 7,5$ m, sondeos con leyes y modelo de bloques de leyes de Au (gpt) y Cu (%), en formato “ <i>grade shell</i> ” generado en <i>MineSight 3D</i> .	122
Figura 10-1: A) Clasificación Modal de muestras según diagrama QAP (Le Maitre <i>et al.</i> , 1989). B) Clasificación de cationes R1-R2 (De la Roche <i>et al.</i> , 1980).	126

Figura 10-2: Diagramas TAS, Na <sub>2</sub> O/K <sub>2</sub> O vs. SiO <sub>2</sub> para los diferentes intrusivos. A) Le Maitre <i>et al.</i> , 1989 y B) Cox <i>et al.</i> , 1979.	127
Figura 10-3: Diagrama de alcalinidad-aluminosidad (Shand, 1943).	128
Figura 10-4: Diagrama de Harker para elementos mayores.	129
Figura 10-5: A) Diagrama K <sub>2</sub> O vs. SiO <sub>2</sub> en % en peso (Peccerillo y Taylor 1976); B) Diagrama TiO <sub>2</sub> vs. Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (% en peso, Müller <i>et al.</i> , 1992); C) Diagrama triangular de TiO <sub>2</sub> /100-La-Hfx10; (Müller <i>et al.</i> , 1992). D) Diagrama Ce/P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> vs. Zr/TiO <sub>2</sub> (Müller <i>et al.</i> , 1992), Ce y Zr están expresados en ppm y P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> y TiO <sub>2</sub> en % en peso.	131
Figura 10-6: Diagramas de Zr respecto a: a) La, b) Nb y c) Sr (Kwelwa <i>et al.</i> , 2013).	133
Figura 10-7: Diagrama de Harker para elementos traza y tierras raras.	134
Figura 10-8: Diagrama Biaxial de Ce/Yb versus Hf/Yb (Pearce, 1982; Müller y Forrestal, 1998).	135
Figura 10-9: A) Diagrama de tierras raras normalizadas respecto al condrito de Sun y McDonough (1989). B) Diagrama de elementos traza normalizados respecto al manto primitivo de McDonough y Sun (1995). Las áreas sombreadas (FAR) corresponden a análisis químicos de rocas provenientes del área del CVFN (Sasso, 1997).	137
Figura 10-10: Diagramas de discriminación para granitos (Pearce <i>et al.</i> , 1984). Las líneas de trazos corresponden al límite para granitos de dorsales anómalas.	139
Figura 10-11: Diagrama Hf-Rb/10-Ta x3 para discriminación de granitos (Harris <i>et al.</i> , 1986).	140
Figura 11-1: Análisis de frecuencia de los valores de densidad.	143
Figura 11-2: Variación de mediciones de densidad versus profundidad de sondeos.	144
Figura 11-3: Variaciones de densidad con respecto a la litología y alteración.	145
Figura 11-4: Análisis de frecuencia de los valores de RQD% y GSI.	150
Figura 11-5: Variaciones de % RQD con respecto a la litología y la alteración.	151
Figura 11-6: Variaciones de GSI con respecto a la litología y la alteración.	151
Figura 11-7: Gráfico de frecuencias de recuperación de muestras testigos de roca cada 2,00 m.	152
Figura 11-8: Análisis de frecuencia de los valores de PLT y UCS.	154
Figura 11-9: Variaciones de PLT con respecto a la litología y la alteración.	156
Figura 11-10: Variaciones de UCS con respecto a la litología y la alteración.	156
Figura 11-11: Gráfico de Estadística básica y Frecuencias de Susceptibilidad Magnética.	157
Figura 12-1: Sección final de la historia geológica temprana de Bajo de la Alumbrera (modificado de Proffett, 2003). Historia de emplazamiento de los pórfidos de Bajo de la Alumbrera, basado en la sección 49, mirando al NNO.	

Interpretación de diferentes niveles erosivos en otros depósitos del CVFN.

159

Figura 14-1: Serie esquemática sobre la génesis de Bajo El Durazno, con sus diferentes etapas de intrusión y alteración.

168

## INDICE DE TABLAS

Tabla 5-1: Infraestructura perteneciente a MAA adyacente a Bajo El Durazno	16
Tabla 8-1: Volúmenes y tonelajes obtenidos a partir de <i>Minesight 3D</i> .	43
Tabla 8-2: Abreviaturas utilizadas en el logeo y en las interpretaciones geológicas.	44
Tabla 8-3: Códigos de litología, alteración y mineralización, usados en el logeo y base de datos.	45
Tabla 8-4: Referencias que presentan las asociaciones minerales, y sus equivalencias de litologías interpretadas en secciones (adaptado y modificado por Bruna Novillo, 2009).	47
Tabla 8-5: Muestras de testigos de rocas con cortes delgados y secciones pulidas estándar.	50
Tabla 8-6: Descripción petrológica del intrusivo diorítico P0.	56
Tabla 8-7: Descripción petrológica del intrusivo diorítico P1.	58
Tabla 8-8: Descripción petrológica del intrusivo diorítico P2.	59
Tabla 8-9: Descripción petrológica del intrusivo diorítico P4.	61
Tabla 8-10: clasificación de los 5 tipos principales de brechas, con algunos subtipos (modificado de Sillitoe, 1985).	64
Tabla 8-11: Descripción de la brecha ígnea o intrusiva, Bx1.	67
Tabla 8-12: Descripción de la brecha ígnea o intrusiva, Bx2.	71
Tabla 8-13: Descripción de la brecha ígnea o intrusiva, Bx3.	74
Tabla 8-14: Referencias que presentan las asociaciones minerales, y sus equivalentes de alteraciones interpretadas en secciones (adaptado y modificado por Bruna Novillo, 2009).	79
Tabla 9-1: Estadística básica y global por litología.	117
Tabla 9-2: Estadística básica y global por alteración.	117
Tabla 10-1: Análisis químicos de elementos mayoritarios.	123
Tabla 10-2: Análisis químicos de elementos traza y tierras raras.	124
Tabla 10-3: Composición normativa de intrusivos. Norma CIPW.	125
Tabla 11-1: Resumen de estadística básica y frecuencias de densidad.	142
Tabla 11-2: Estimación del GSI, basado en observaciones geológicas. Modificado de Hoek <i>et al.</i> , 2002.	147
Tabla 11-3: Estimación del GSI, modificado posteriormente para ser utilizado en testigos de rocas.	148
Tabla 11-4: Valores de referencia y utilizados en el logeo geotécnico.	149
Tabla 11-5: Resumen de estadística básica y frecuencias de RQD%.	149
Tabla 11-6: Resumen de estadística básica y frecuencias de GSI.	150

Tabla 11-7: Resumen de estadística básica de recuperación de muestras testigos de roca cada 2,00 m.	152
Tabla 11-8: Resumen de estadística básica y frecuencias de PLT.	154
Tabla 11-9: Resumen de estadística básica y frecuencias de UCS.	154
Tabla 11-10: Clasificación de las rocas a partir de UCS.	155
Tabla 11-11: Resumen de estadística básica de susceptibilidad magnética y frecuencias.	157
Tabla 13-1: Características geológicas de las principales áreas diseminadas del CVFN. Abreviaturas usadas de la Tabla 8.1.	166

## NOMENCLATURA

≈	aproximado
ADF	alteración destructiva de feldespatos
And	andesita
Arg	argílica por falla
Ag	plata
Anh	anhidrita
As	arsénico
Au	oro
BED	Bajo El Durazno
Bx	brecha
BLA	Bajo de la Alumbreira
Bn	bornita
Bt	biotita
Cal	calcita
Cb	carbonato
Ccp	Calcopirita
Chl	clorita
Cu	cobre
CV	coeficiente de variación
CVFN	Complejo Volcánico Farallón Negro
Dio	diorita
dis	diseminado
Ep	epidoto
Fk	feldespato potásico
Fm	formación
Fx	falla
Gp	yeso
gpt	gramos por toneladas
GSI	índice de resistencia geológica
HFSE	cationes pequeños de alta carga
Hem	hematita
ICP	espectrometría con plasma acoplado inductivamente
ky.	miles de años
LILE	cationes grandes con pequeña carga
Lm	limonita
LOI	pérdida por ignición
MAA	Minera Alumbreira Ltd.
Ma	Millones de años
Mag	magnetita
Mn	manganeso
Mol	molibdenita
m s. n. m.	metros sobre el nivel del mar
MS 3D	Minesight 3D
NaCl	cloruro de sodio
n //	nicoles paralelos
n x	nicoles cruzados

Op	minerales opacos
OxFe	óxidos de hierro
p	nivel de probabilidad
pH	potencial hidrógeno
Pl	plagioclasa
ppm	partes por millón
Ps	pseudomorfo
Py	pirita
Qz	cuarzo
r	coeficiente de correlación de Pearson
r <sup>2</sup>	coeficiente de determinación
REE	elementos de tierras raras
sec	secundaria
Ser	sericita
Vn	vetilla
Vcp	vetilla capilar
Vms	vetilla masiva
YMAD	Yacimientos Mineros Agua de Dionisio
ZFx	zona de falla

**Nota:** las abreviaturas de minerales se realizaron, siempre que fue posible, siguiendo a Whitney & Evans, 2010.

---

## 1 Introducción

El Complejo Volcánico Farallón Negro (CVFN), del cual Bajo El Durazno (BED) forma parte, alberga dos depósitos de pórfidos de clase mundial intensamente estudiados: Bajo de la Alumbra y Agua Rica, varios prospectos de pórfidos de menor tamaño con intensa alteración: Agua Tapada, El Espanto, San Lucas y Filo Colorado y depósitos epitermales asociados: Farallón Negro-Alto de la Blenda, Cerro Atajo y Mina Capillitas.

El cluster minero de CVFN presenta potenciales “puntos de interés” a ser explorados en detalle con visión e interpretación, utilizando todas las herramientas exploratorias disponibles, permitiendo obtener beneficios de nuevas oportunidades y sinergias y obtener una rentabilidad superior al costo de capital. Para esto debe neutralizar amenazas, corregir debilidades, aprovechar oportunidades y explotar fortalezas. Las sinergias que optimizan el conjunto permiten:

- Generación de valor social, ambiental y económico.
- Un mejor aprovechamiento de los recursos económicos.
- Ahorro de inversión.
- Disminución de costos indirectos.
- Capacidad de mayor negociación.
- Estrategia agregada común.
- Economías de escala.

El proyecto Bajo El Durazno (27°17'18.15"S; 66°34'58.77"O) aflora en un bajo topográfico, formado por la erosión diferencial de los distintos halos de alteración que componen el depósito. El área, enmarcada por rocas de composición andesítica del CVFN, resalta por su anomalía de color producto de una alteración argílica que se extiende hacia fuera, a lo largo de estructuras estrechas más allá de los límites del bajo, presentando una superficie de 2.200 m en dirección noreste-suroeste por 1.200 m en dirección noroeste-sureste, y una elevación central promedio de 2.450 m s.n.m. Estructuras de dilatación, en un ambiente principalmente compresivo, permitieron la intrusión de una serie de pórfidos de composición diorítico-andesítica a dacítica a este complejo, generando la circulación de fluidos hidrotermales que alteraron y mineralizaron tanto a las fases intrusivas como a las rocas volcánicas de caja del CVFN.



En la actualidad, la industria minera se está enfocando en la búsqueda de nuevos recursos minerales en el interior de minas y en áreas cercanas a estas (*brownfield*). El descubrimiento de nuevas zonas de alto potencial minero, así como el incremento de las reservas conocidas de los yacimientos que se explotan actualmente, constituyen una prioridad para las empresas mineras, no sólo porque las zonas donde se desarrollan las minas presentan características geológicas con altas perspectivas, sino porque al disponer de toda la infraestructura minera, permiten un mejor aprovechamiento de sus recursos económicos. El objetivo principal de explorar estos ambientes es el de la generación de valor social, ambiental y económico a través de la extensión de los recursos y de la vida útil de las minas, aumentando el flujo de caja y maximizando el valor presente neto.

La exploración geológica es una actividad de inversión que se desarrolla en un área geográfica con el fin de descubrir y evaluar cuerpos mineralizados de interés para el desarrollo de futuros proyectos mineros. Los proyectos de exploración geológica, así como cualquier otro proyecto de inversión, deben ser preparados, analizados y aprobados aplicando conceptos técnicos y económicos que maximicen el retorno de la inversión (Bruna Novillo *et al.*, 2009).

Durante el desarrollo de un trabajo de exploración son muchas las decisiones de inversión que se toman y que van a determinar el rumbo a seguir. No obstante esta característica, por razones prácticas de orden administrativo, al trabajo de exploración se lo ha dividido en tres etapas que se denominan:



Cada una de estas etapas constituye un proyecto de inversión de decisión superior. En la etapa I de exploración básica, el objetivo es determinar “blancos” (*targets*), de interés geológico en el área, que podrán ser motivo de proyectos separados en la siguiente etapa de exploración geológica.

En la etapa II de exploración geológica intermedia, el proyecto está constituido por cada blanco de interés geológico en el área geográfica cubierta por la exploración básica. El objetivo de cada uno de los proyectos, es determinar si existe un cuerpo o depósito mineralizado en el blanco.

La etapa III de exploración avanzada, que también se denomina de evaluación o delineación, es donde al proyecto lo constituye cada cuerpo mineralizado descubierto durante la exploración intermedia efectuada a los “blancos” identificados. El objetivo del proyecto en esta etapa es efectuar una primera estimación del potencial de tonelaje-ley de mineral existente en el cuerpo mineralizado, para llegar a determinar si el depósito mineral es o no económicamente explotable. El objetivo se cumplirá cuando se dimensione el cuerpo mineralizado en volumen, profundidad, tonelaje y ley, a un nivel de detalle suficiente para efectuar un estudio de prefactibilidad y factibilidad técnico-económico para su explotación minera (Bruna Novillo *et al.*, 2014).

---

## 2 Objetivos

El *objetivo general* del proyecto es el estudio, análisis e interpretación de la geología del proyecto Bajo El Durazno. Para esto, se definieron *objetivos específicos* a desarrollar:

- 1) Cumplimentar los requisitos reglamentarios vigentes en la Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas de la Universidad Nacional de Catamarca, para optar al título de Doctor en Geología. El tema de tesis elegido se titula: “*Geología y génesis del pórfido de Au-Cu de Bajo El Durazno, provincia de Catamarca, República Argentina*”.
- 2) Contribuir al conocimiento detallado del proyecto Bajo El Durazno a escala de mina, considerando como soporte los fundamentos del modelo de recursos recuperables: el muestreo de los diferentes dominios geológicos (litología, alteración, mineralización y estructuras) y el modelo geológico mediante el reconocimiento y la interpretación geológica del área de estudio.
- 3) Aportar información mineralógica y geoquímica actualizada de origen académico, que sirva para complementar el estudio de estos tipos de pórfidos, más ricos en oro que en cobre y permita construir una línea de base adecuada, que podría ser utilizada durante el estudio de análisis de impacto ambiental de los procesos de explotación-beneficio, que oportunamente llevarían a cabo los organismos pertinentes.
- 4) Determinar la vinculación espacial, temporal y genética de las mineralizaciones con las unidades geológicas presentes en el área de estudio.
- 5) Determinar el nivel de erosión mediante el uso y análisis de evidencias geológicas como: alteración, mineralización, datos geoquímicos, etc., y realizar la correlación con BLA y otros proyectos del CVFN.
- 6) Comparar el modelo evolutivo de BED con el de BLA y el de otros sistemas de cobres porfídicos similares.
- 7) Generar valor social, ambiental y económico en la región, mediante el re-análisis y conocimiento de la información para un mejor aprovechamiento de sus activos mineros.

---

### **3 Plan de Trabajo**

Los trabajos se realizaron en tres etapas: de campo, de gabinete y de laboratorio.

#### **3.1 Trabajos de Campo**

Los trabajos de campo se realizaron en la zona de BED, contando con el apoyo de las instalaciones y materiales provistos por Minera Alumbrera Ltd. (MAA). En esta etapa, que se realizó en aproximadamente 120 días, repartidos en varias campañas, se llevó a cabo el reconocimiento y la interpretación geológica del área de estudio, el control con mapeos existentes, tanto geológicos como de alteraciones hidrotermales y el muestreo de campo para el estudio de rocas, alteraciones y mineralización.

#### **3.2 Trabajos de Gabinete**

Los trabajos de gabinete se desarrollaron en las instalaciones de MAA. Estos trabajos incluyeron la evaluación y el análisis de la información preexistente, realizando la recopilación de los antecedentes bibliográficos del sector y analizando la información aportada por la empresa MIM Argentina Exploraciones S.A. en el año 2000, sobre el área de BED.

#### **3.3 Trabajos de Laboratorio**

Las tareas de laboratorio se llevaron a cabo en MAA, en el Departamento de Geología Aplicada de la Universidad Nacional de Córdoba y en el Departamento de Mineralogía, Petrografía y Geoquímica del IANIGLA, CCT Mendoza, CONICET. Esta etapa incluyó:

##### **3.3.1 Análisis de Testigos de Perforación**

El total de datos analizados corresponde a 6.626 muestras, que provienen de las campañas de perforación con diamantina, llevadas a cabo en los años 2009, 2010 y 2011. Durante 2009 y 2010, se perforaron 15 sondeos de diamantina (DDH - *Diamond Drill Hole*) con un total de 4.752,00 m de testigos de rocas. La campaña 2011 consistió en 8.644,10 m distribuidos en 19 sondajes DDH.

El logueo geológico de testigos de perforación (perforaciones realizadas por MAA y por MIM), incluye la descripción de la litología, mineralogía, alteraciones, y condiciones de oxidación; elaboración de secciones y sólidos 3D a escala 1:2.000 para la interpretación del modelo geológico.

Se realizó la evaluación, análisis y presentación de datos obtenidos a partir de la determinación de parámetros geomecánicos en testigos de perforación con diamantina (sobre testigos de perforaciones realizadas por MAA), que incluyeron: densidad, recuperación, susceptibilidad magnética, carga puntual, resistencia a la compresión uniaxial, calidad de la roca (RQD - *Rock Quality Designation*) e índice de resistencia geológica (GSI - *Geological Strength Index*).

### **3.3.2 Análisis de Datos Geoquímicos**

En el laboratorio se seleccionaron cuidadosamente las 11 muestras representativas de las rocas intrusivas mineralizadas de BED que se enviaron para realizar análisis químicos de roca total al laboratorio *Acme Analytical Laboratories Ltd. (Vancouver, Canadá)*, determinándose roca total, por espectrometría con plasma acoplado inductivamente (ICP, *Inductively Coupled Plasma*) y de elementos traza y tierras raras por espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS, *Inductively Coupled Plasma Mass*).

A partir de los datos recibidos se procedió a la evaluación, análisis y presentación de los datos geoquímicos de elementos de interés económico y elementos trazas, mediante procesamiento estadístico de la información y al análisis de la distribución espacial de los elementos considerados y de sus relaciones con los diferentes dominios litológicos y de alteraciones.

### **3.3.3 Estudio de Alteraciones Hidrotermales y Mineralizaciones Asociadas**

Se realizó la selección de las muestras de las diferentes litologías y paragénesis para estudios petro-calcográficos y geoquímicos de muestras de testigos de perforación.

El estudio de las secciones delgadas se realizó con un microscopio de polarización petro-calcográfico e involucró el estudio de cada tipo de alteración y de mineralización

tendiente a la caracterización de las diferentes paragénesis asociadas a cada evento de la mineralización y la determinación de la secuencia paragenética de la mineralización.

La identificación de los minerales se realizó mediante métodos ópticos.

#### **3.3.4 Nivel de Erosión e Interpretación del Modelo Genético del Yacimiento**

La determinación del nivel de erosión se infirió en función de la alteración, mineralización y datos geoquímicos y posteriormente se realizó la correlación con BLA y otros proyectos del CVFN y la comparación del modelo evolutivo de BED con el de BLA y el de otros sistemas de cobres porfídicos similares.

Todos estos trabajos condujeron a la elaboración y rendición de este informe final de Tesis Doctoral, para obtener el título de Doctor en Geología en la Universidad Nacional de Catamarca.

---

## **4 Ubicación y Accesos – Descripción de la Propiedad**

### **4.1 Ubicación y Accesos**

El proyecto Bajo El Durazno (BED), se localiza en el Complejo Volcánico Farallón Negro (CVFN) ubicado en el noroeste de Argentina, en el Departamento Belén, Distrito Hualfín de la provincia de Catamarca. Se sitúa aproximadamente a 5 km al NNE de la mina Bajo de la Alumbraera, a 2 km de la planta concentradora de MAA (Minera Alumbraera Ltd.) y en línea recta a 10 km al E-NE de la mina Farallón Negro.

BED se encuentra a 400 km al NO de San Fernando del Valle de Catamarca y a 320 km al SO de San Miguel de Tucumán. La ruta que posibilita el acceso a la zona (Fig. 4-1), es la Ruta Nacional N° 40 que une las localidades de Belén, Los Nacimientos y Santa María.

Para llegar al proyecto BED, se puede acceder por la ciudad de Belén desde San Fernando del Valle de Catamarca por RN N° 38 partiendo hacia el SO, luego empalmando con la RN N° 60 ingresando en la provincia de La Rioja y pasando por Tinogasta, hasta la RN N° 40 que lleva a la ciudad de Belén. La distancia entre la capital de Catamarca y la ciudad de Belén es de 285 km. También se puede acceder desde la ciudad de Andalgalá por RP N° 46, atravesando la cuesta de Belén por camino consolidado recorriendo una distancia de 87 km, o ingresar por quebrada de Vis-Vis hasta puesto N°2 de MAA.

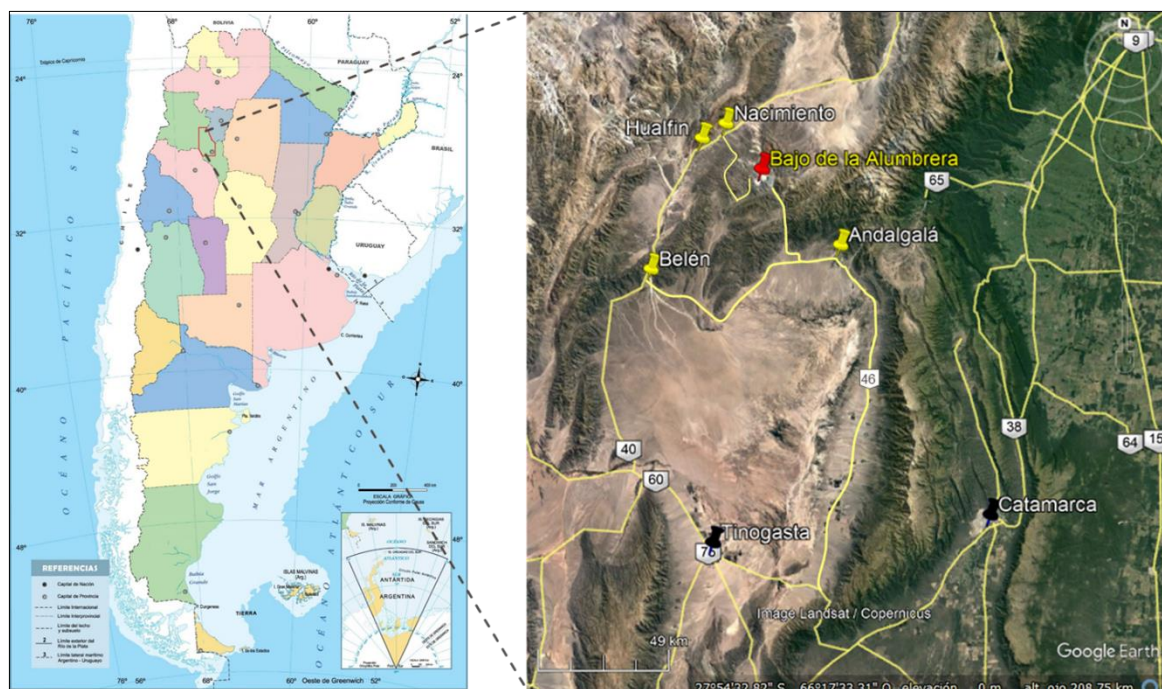


Figura 4-1: Mapa político y detalle con vías de acceso desde San Fernando del Valle de Catamarca (Capital) hacia Bajo de la Alumbraera (*Google Earth*).

Desde Bajo de la Alumbraera se accede por el campamento temporario, continuando por la antigua huella que conduce al norte de las instalaciones (Fig. 4-2) por la quebrada del Durazno (Alderete, 1999).



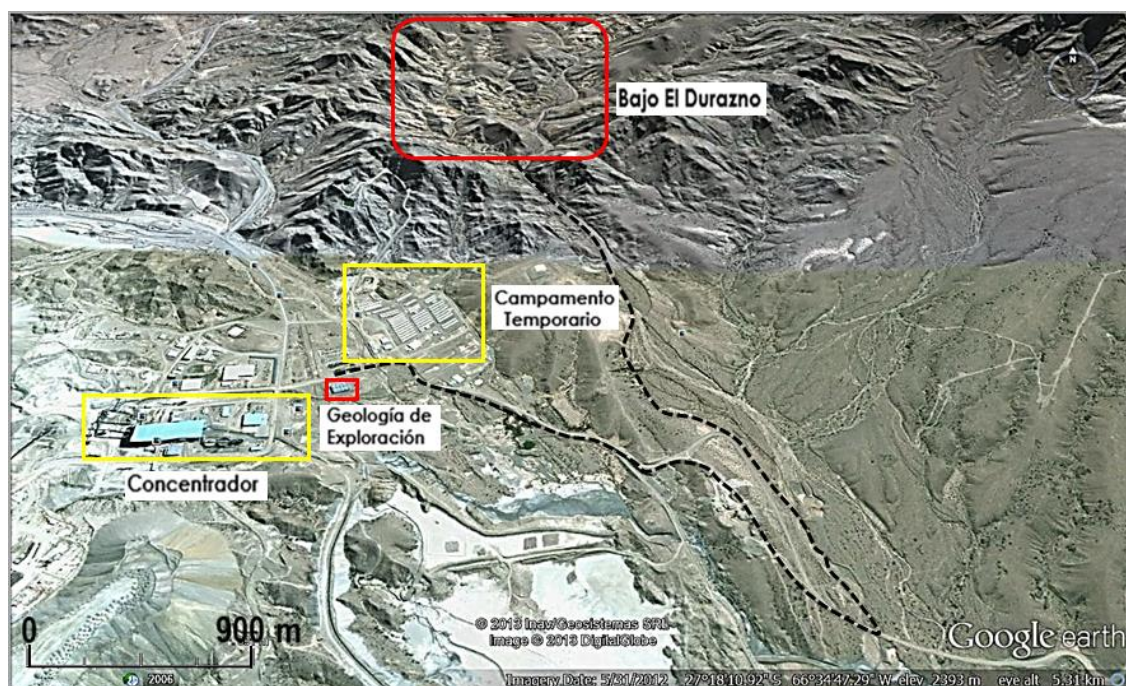


Figura 4-2: Imagen tomada de *Google Earth* mostrando el acceso (línea discontinua) al proyecto BED, desde oficinas de Geología de Exploración de BLA.

## 4.2 Descripción de la Propiedad

Las propiedades mineras de BED (Fig. 4-3) pertenecen a la empresa Yacimientos Mineros de Agua de Dionisio (YMAD) y están localizadas en el distrito minero conocido como Aguas de Dionisio o Farallón Negro (Peirano, 1944; Angelelli, 1984).

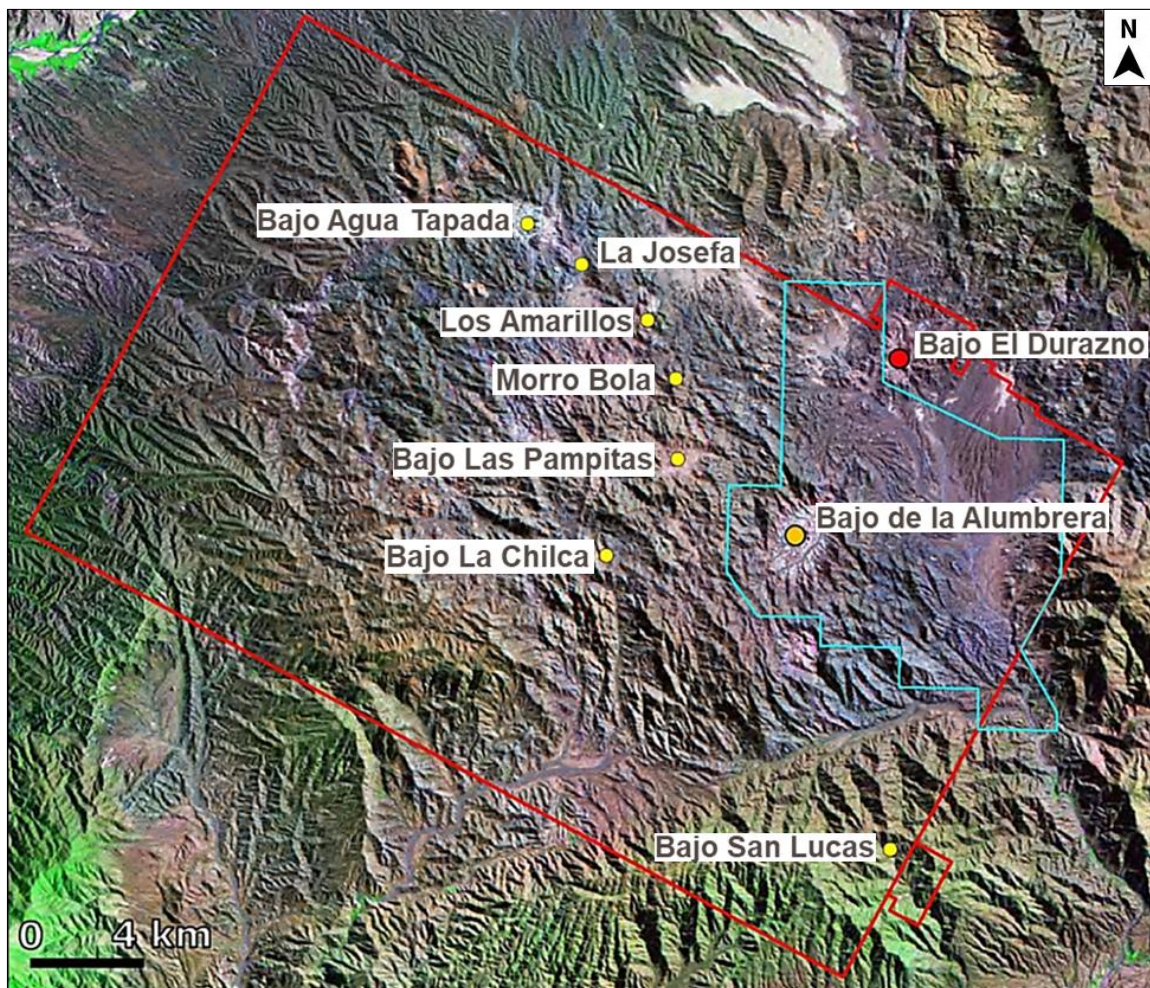


Figura 4-3: Imagen satelital del distrito minero Agua de Dionisio, área de mensura Abel Peirano (línea roja) y área mina Bajo de la Alumbreira (línea celeste). Posición del proyecto Bajo El Durazno en relación con otros proyectos dentro la propiedad.

La tenencia del área fue establecida en el marco del contrato de exploración y determinación técnica-económica y financiera, como consecuencia de la licitación pública nacional e internacional N° 08/BA/06 “Resto del área de YMAD”, donde YMAD otorgó el derecho a completar trabajos de prospección y exploración en el área. Las pertenencias mineras de Bajo El Durazno son 28 en total, y cubren una superficie total de 2,97 km<sup>2</sup>.

---

## 5 Geomorfología, Clima, Recurso Local e Infraestructura

### 5.1 Geomorfología

El proyecto Bajo El Durazno, a escala regional, se encuentra ubicado en la provincia geológica de las Sierras Pampeanas Occidentales (Ramos, 2000), en territorio de la provincia de Catamarca, caracterizada por grandes bloques montañosos, fallados y basculados que generan importantes depresiones y valles de orientación aproximada norte-sur. Estos macizos corresponden a sectores parciales de la sierra de Belén y Aconquija que continúan en el sector con las sierras de Capillitas. Hacia el norte, las sierras de Hualfín son el primer escalón de ascenso al *plateau* puneño. Entre estos bloques se presenta la caldera volcánica de Farallón Negro (Fig. 5-1) que termina de conformar los principales rasgos positivos de la fisiografía del territorio.

El proyecto Bajo El Durazno se encuentra ubicado morfo-estructuralmente dentro de la caldera del estrato volcán de Farallón Negro; el mismo está erosionado, deformado por fallas y mineralizado, dando como resultado entre otras, a las “unidades geomorfológicas deprimidas” con alteración hidrotermal, conocidas como “bajos”, donde se pueden citar a los principales: Alumbraera, San Lucas, Las Pampitas, Agua Tapada y el que nos ocupa, El Durazno.

La unidad geomorfológica Bajo El Durazno se ubica en el sector noreste del Distrito Minero de Aguas de Dionisio, donde conforma un área deprimida con presencia de alteración hidrotermal. Los principales elementos geomorfológicos presentes en esta unidad (SMGA, 2009) que caracterizan la fisiografía local, corresponden a:

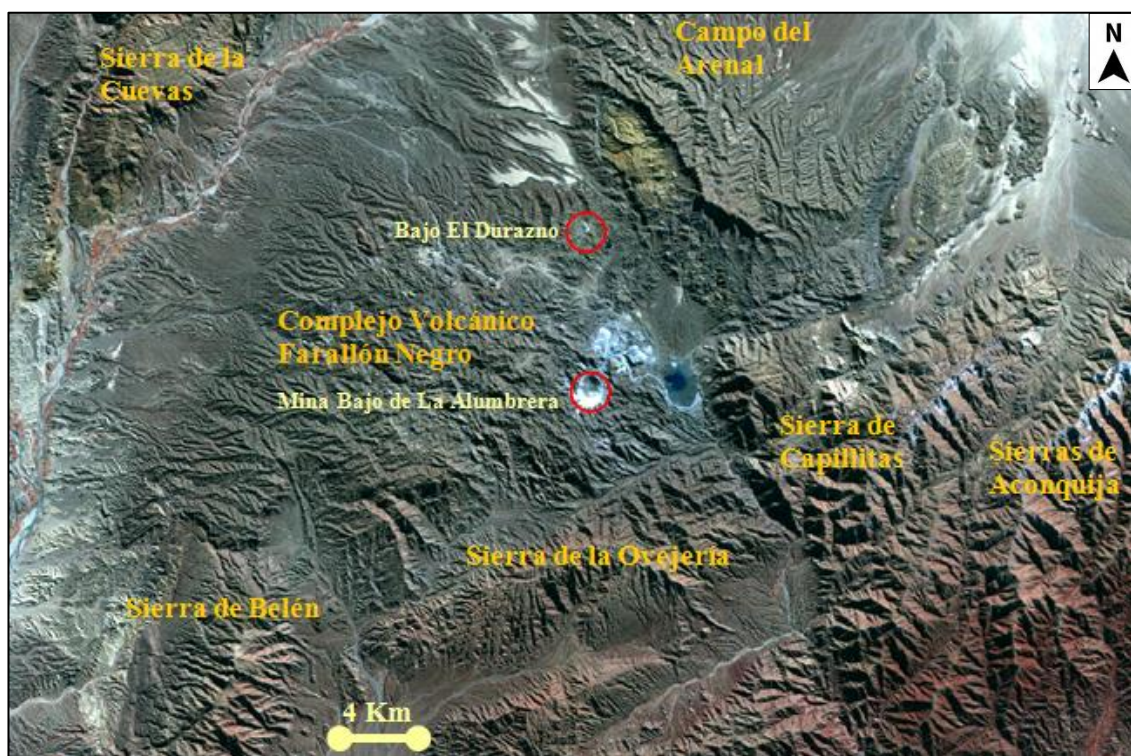


Figura 5-1: Ubicación geomorfológica del proyecto Bajo El Durazno.

*Lecho de ríos:* corresponde a elementos geomorfológicos vectoriales del sistema fluvial de la cuenca del río Vis Vis, destacándose dos cursos principales de ríos que cruzan la unidad y colectan el drenaje secundario. En ellos pueden identificarse sub-elementos fluviales como el cauce, playa de inundación y escasos depósitos de terrazas sobre sus márgenes.

*Laderas solanas:* bajo esta denominación se identifican aquellos elementos geomórficos de laderas disectadas que por su posición reciben mayor insolación diaria. Esta situación, generalmente, condiciona las características del suelo y de la vegetación. Predomina un afloramiento rocoso con muy baja a nula cobertura vegetal. La pendiente de estas laderas es de moderada a alta (30-40%).

*Laderas umbrías:* elementos geomórficos de vertientes algo disectadas que por su posición geográfica reciben pocas horas de insolación. Esto permite que algunos parámetros climáticos se comporten diferencialmente, lo que favorece el desarrollo de los suelos y de la vegetación presente en el área de estudio. La pendiente de las mismas es

mayor al 40%. Se destacan los afloramientos escarpados de rocas dioríticas intensamente diaclasadas.

*Áreas cumbresales y filos:* corresponden a los elementos geomórficos más elevados dentro de la depresión del Bajo El Durazno, son formas elongadas, ligeramente onduladas; la diferencia entre áreas y filos es el grado de disección fluvial que ha alcanzado el relieve local. Presentan en superficie una cubierta detrítica, producto de las condiciones de intemperismo del área de estudio.

## **5.2 Clima**

Dentro de la clasificación general, el área de estudio se halla dentro del denominado clima Árido de Sierras y Bolsones, con variedad de climas (Köppen, 1900), cuyos caracteres generales son impresos por la conformación topográfica de la zona. El área corresponde a una zona desértica inter-montana con un clima árido a semiárido. El índice de aridez de Martonne (de carácter agroclimático) determinado para el sector resultó de 0,40, lo que indica una acentuada aridez, gran ausencia de precipitaciones líquidas, un importante déficit de agua con períodos de sequías de duración variable y precipitaciones de régimen periódico estival, lo que se condice con la escasa cobertura biostásica observada en el lugar y suelos sin desarrollo edafológico. La temperatura anual promedio en la zona es de 17°C a 18°C (SMGA, 2009). Las medias de las temperaturas mínimas y máximas son 8°C a 10°C y 22°C a 27°C respectivamente, sin embargo, en los meses de invierno se registraron temperaturas de -10°C y; en los meses de verano la temperatura puede llegar a 40°C.

Las precipitaciones anuales promedio ascienden a 160 mm. La mayoría se produce en forma de lluvias torrenciales durante los meses de diciembre a marzo. Las precipitaciones sólidas y nevadas son ocasionales y leves durante el mes de julio. El régimen promedio anual de evaporación se estima en 1.400 mm y el régimen estimado de evapotranspiración de 6.0 mm/día. El índice de enfriamiento de Siple del sector de estudio es 1.500 K aproximadamente (SMGA, 2009), lo cual implica un alto riesgo de congelamiento para seres humanos en el área, particularmente en la época de invierno; precisamente en el mes de julio en el cual se registraron temperaturas mínimas de -10° C y vientos de hasta 35 km/h.

### 5.3 Recurso Local

El proyecto Bajo El Durazno se encuentra ubicado en el distrito Hualfín, perteneciente al departamento Belén, provincia de Catamarca. Los centros poblacionales y de salud más cercanos al área del proyecto se encuentran localizados en:

*Campamento permanente de Mina Bajo de la Alumbreira:* distante a 1 km de BED y con 9 módulos de 540 habitaciones. Tiene áreas de recreación, cine, gimnasio y un comedor con certificación ISO 22.000 con capacidad de 300 comensales.

También presenta un campamento temporario con 700 habitaciones ubicado aproximadamente a 1 km de BED.

El centro médico de mina de Minera Alumbreira Ltd. (MAA) cuenta con sala de consulta, sala de Rayos X, sala de *shock room*, dos salas de internación, sala de fisioterapia, sala colérica, sala de archivo de historia clínica, dispensario de insumos y medicamentos. Cuenta con atención médica las 24 horas y asistencia médica básica a comunidades cercanas. El personal encargado está formado por médicos, enfermeros, técnico radiólogo y chofer de ambulancia.

*Campamento de Mina Farallón Negro:* se localiza a 15 km de BED. En él residen 958 personas (INDEC, 2001), y cuenta con: viviendas (con agua, gas y energía eléctrica), centro asistencial de atención permanente (totalmente equipado ante cualquier emergencia y con suministros de medicamentos), comedor para empleados, establecimiento escolar con enseñanza primaria y secundaria, iglesia y polideportivo, entre otros.

*Localidad de Los Nacimientos:* esta localidad cuenta con un total de 239 habitantes (INDEC, 2001), encontrándose localizada a 25 km de BED, y a 75 km de la ciudad de Belén. El Hospital ubicado en la localidad de Hualfín cubre sus necesidades sanitarias.

*Localidad de Hualfín:* se encuentra 35 km distante de BED y a 63 km de la ciudad de Belén. Cuenta con un 993 habitantes (INDEC, 2001), y posee un mini-hospital con equipamiento mínimo (sala de internación, de parto, equipo de rayos), una posta sanitaria que recibe visitas periódicas de odontólogos, una iglesia y una hostería.

*Ciudad de Belén:* esta localidad, cabecera departamental, se encuentra a 100 km aproximadamente de BED y cuenta con 25.475 habitantes (INDEC, 2001). En ciudad cuenta con el hospital zonal, que presta servicios de clínica médica, pediatría, cirugía médica, ginecología, radiología, epidemiología, y servicios básicos para diagnóstico y tratamiento. En esta cabecera departamental existen dos sanatorios de similares características, y numerosos centros educativos de todos los niveles, incluyendo una sede de la Universidad Nacional de Catamarca.

#### 5.4 Infraestructura

El proyecto BED cuenta con la infraestructura perteneciente a la Mina de Bajo de la Alumbra (Tabla 5-1, Fig. 5-2) que desarrolla sus actividades a 3 km de distancia. A continuación se enumeran los puntos más importantes:

Tabla 5-1: Infraestructura perteneciente a MAA adyacente a Bajo El Durazno

PUNTOS	INFRAESTRUCTURA
1	Mineraloducto (316 km). Planta de Filtro - Ferrocarril - Puerto.
2	Tendido eléctrico de 202 km de longitud desde la estación El Bracho (Tucumán, hasta la mina para el transporte de energía eléctrica de 220 kV).
3	Camino de acceso consolidado de 22 km desde la ruta 40 hasta el yacimiento para los insumos.
4	Aeropuerto ubicado en la zona de Campo El Arenal. Pista de 1.920 m de longitud con una aeroestación con capacidad para 100 personas. Camino privado de 25 km pavimentado hasta la mina para transporte del personal.
5	Campamento temporal de 700 habitaciones.
6	Campamento permanente con 9 módulos de 540 habitaciones y comedor con capacidad para 300 comensales. Area de recreación, cine y gimnasio.
7	Accesos por rutas nacionales.
8	Planta Concentradora para Cobre y Oro (sulfuros primarios).
9	Planta Concentradora para Molibdeno.
10	Taller de camiones y vehículos livianos.
11	Estación de servicio para carga de combustible.
12	Flota de camiones (41).
13	Palas Bucyrus 4 y cargadores frontales 4.
14	Triturador primario y Triturador móvil.



Figura 5-2: Ubicación de infraestructura perteneciente a MAA adyacente a Bajo El Durazno.



---

## 6 Antecedentes

### 6.1 Exploratorios

El proyecto de BED se ha explorado extensivamente durante aproximadamente 40 años desde su descubrimiento en 1968, el cual fue descrito brevemente en varios informes regionales y recopilaciones (Romani, 1968; García, 1969; Sillitoe, 1973a; Bassi y Rochefort, 1980 y Alderete, 1999). Allison (1986) y Sasso (1997) han completado la información de este prospecto, a lo que se sumarían varios informes inéditos y confidenciales de geólogos experimentados. Los bosquejos (Figs. 6-1 y 6-2) realizados por Sasso (1997) y modificados por Meldrum (2000) ilustran las características geológicas conocidas en Bajo El Durazno y representan una interpretación simplista de la facies litológicas y de alteraciones trazadas por Allison (1986).

Dentro del proyecto BED se han realizado 54 sondeos, distribuidos en cuatro campañas de perforación. De todos éstos, 9 son sondajes de diamantina (DDH - *Diamond Drill Hole*) y el resto de aire reverso (RC - *Reverse Circulation*).

Fabricaciones Militares perforó los 9 sondeos verticales DDH (833,25 m) en 1976, denominados DDH1 a DDH9, y condujo una campaña extensa de muestreo de roca. Recursos Americanos perforó 37 sondeos de RC (3.932 m) en 1993 denominados AR1 a AR37, y Placer Dome perforó 5 sondeos más profundos de RC (1.173 m) denominados PAR1 a PAR5 en 1994. El conjunto de datos de Placer Dome incluye datos topográficos digitales (intervalo de contorno de 2 m) a partir de los cuales se ha generado un modelo digital más detallado del terreno. Placer Dome también recogió aproximadamente 40 muestras superficiales de roca (Alderete, 1999 y Meldrum, 2000).

## BAJO EL DURAZNO - LITOLOGIA

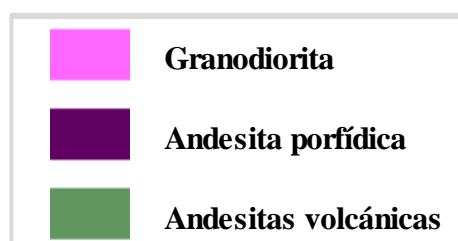
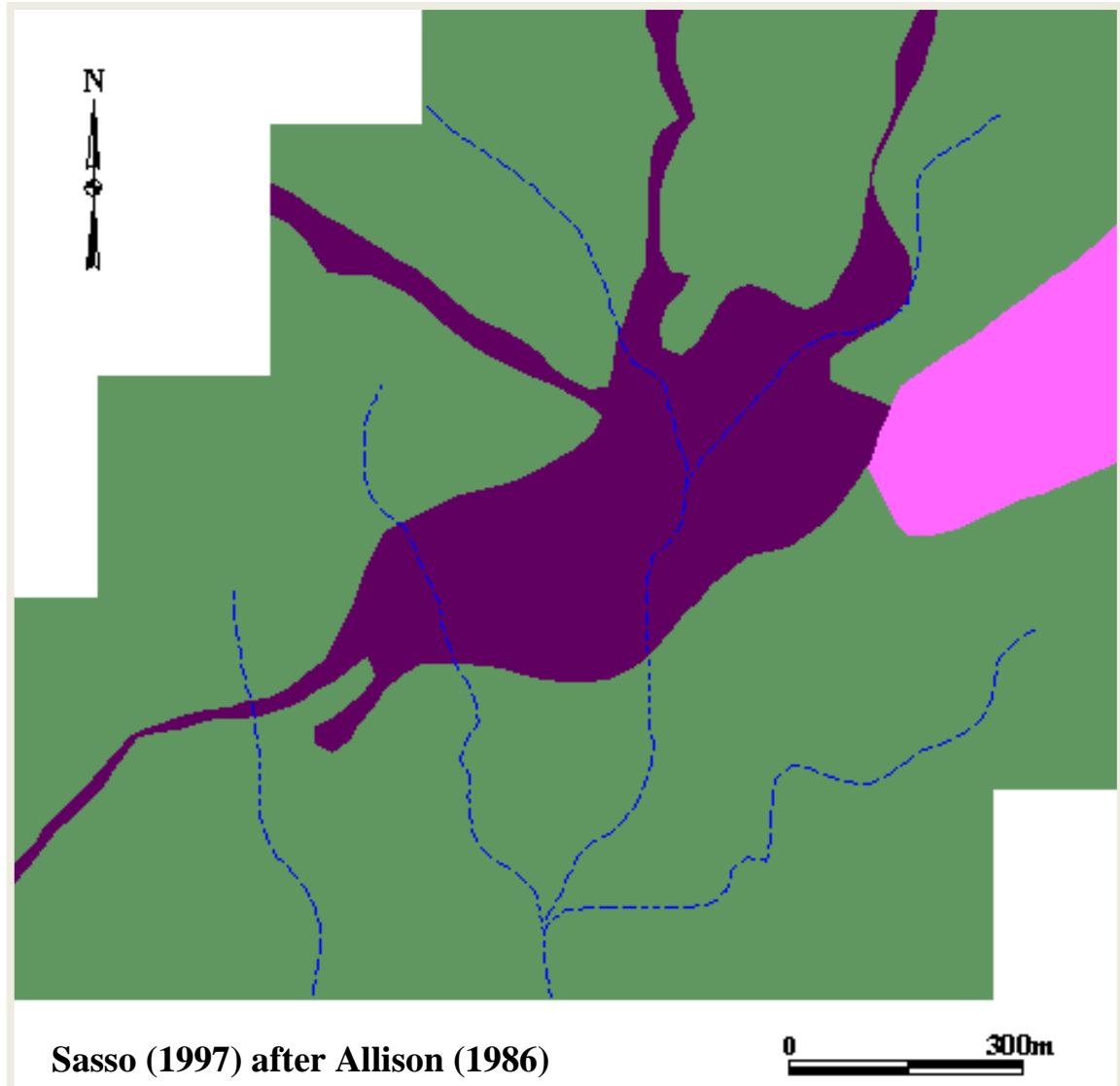


Figura 6-1: Planos de litología bosquejados por Sasso, 1997 (modificado de Meldrum, 2000).

## BAJO EL DURAZNO - ALTERACIÓN

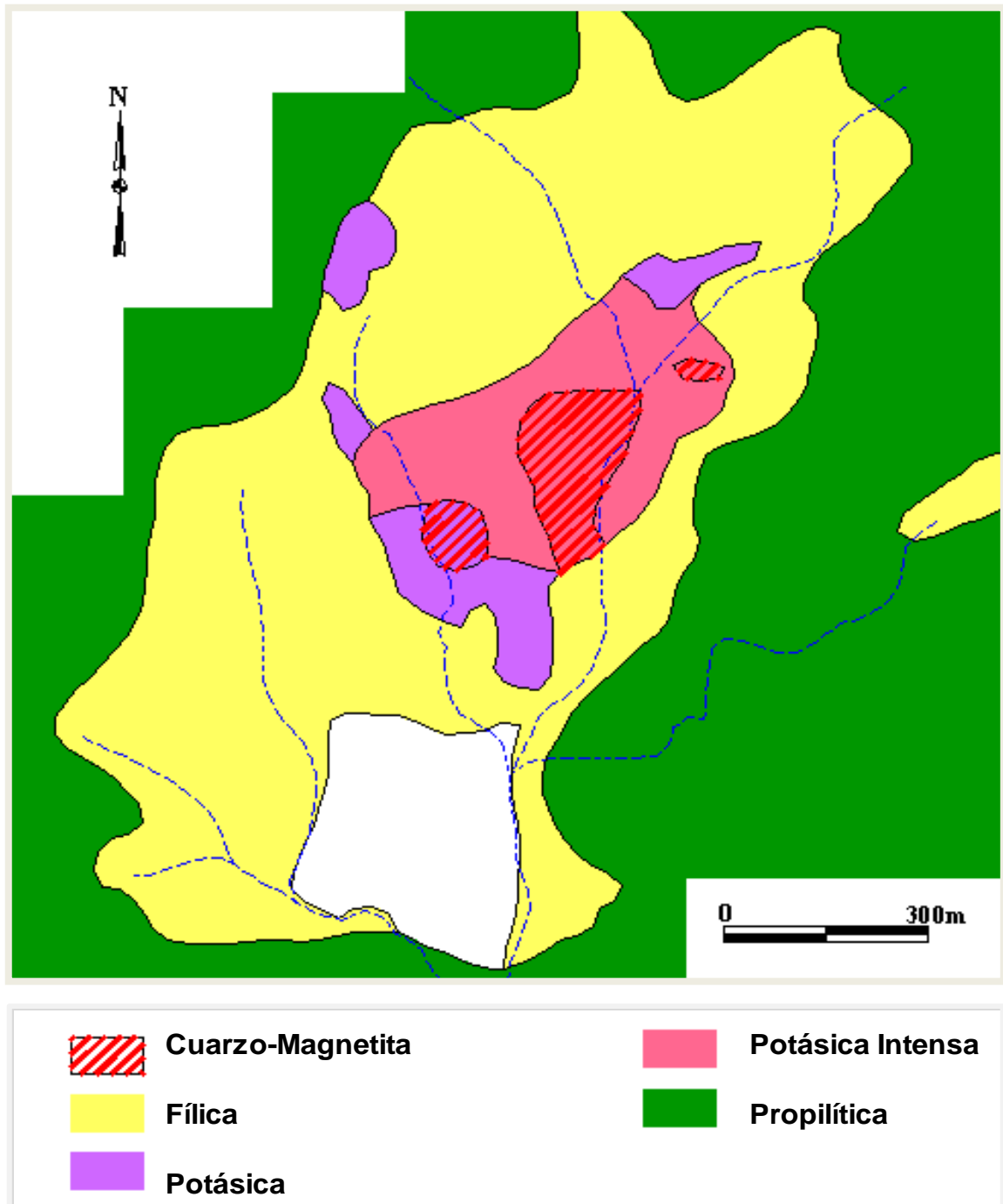


Figura 6-2: Planos de alteración bosquejados por Sasso, 1997 (modificado de Meldrum, 2000).

En 2000 y 2001 MIM Exploraciones Argentina S.A. (MIMEX) condujo varios trabajos de exploración en el área (Coward, 2006). Esto incluyó una revisión preliminar de la geología general e inicial del prospecto Bajo El Durazno realizada por Meldrum (2000).

Dicha revisión incluyó una compilación de todos los planos, análisis químicos e información geofísica disponibles, asociada al mapeo geológico (Figs. 6-3 y 6-4); el mapeo realizado por Meldrum a escala 1:5.000 cuestiona la intensidad de vetillas de cuarzo-magnetita y de la alteración potásica notados en anteriores trabajos, y descuenta la existencia de una gran fase intrusiva porfídica destructiva intra-mineral (Giudici, 2000a, b). Su trabajo se presenta en un informe detallado del proyecto y fue utilizado como base geológica para la revisión reciente de la geología.

En el segundo año de exploración MIMEX realizó una campaña de prospección geoquímica de superficie de 300 muestras de roca cuyos resultados de oro y cobre confirmaron los datos históricos (Giudici, 2001). Además se realizaron 3 sondeos de RC perforados entre el 10 y 14 de Abril de 2001 (DHDZ-01 a 03) totalizando 638 m, cuyo blanco fue específicamente el contacto pórfido-diorita donde se asumió que la mineralización era más importante (Giudici, 2001 y Coward, 2006).

Giudici (2000a, b) en base a las observaciones de Meldrum, deja expresado que las oportunidades de BED son similares a las de otros pórfidos, es decir existe potencial para encontrar zonas que podrían ser selectivamente minadas, pero siempre pensando en el apoyo de la infraestructura de BLA.

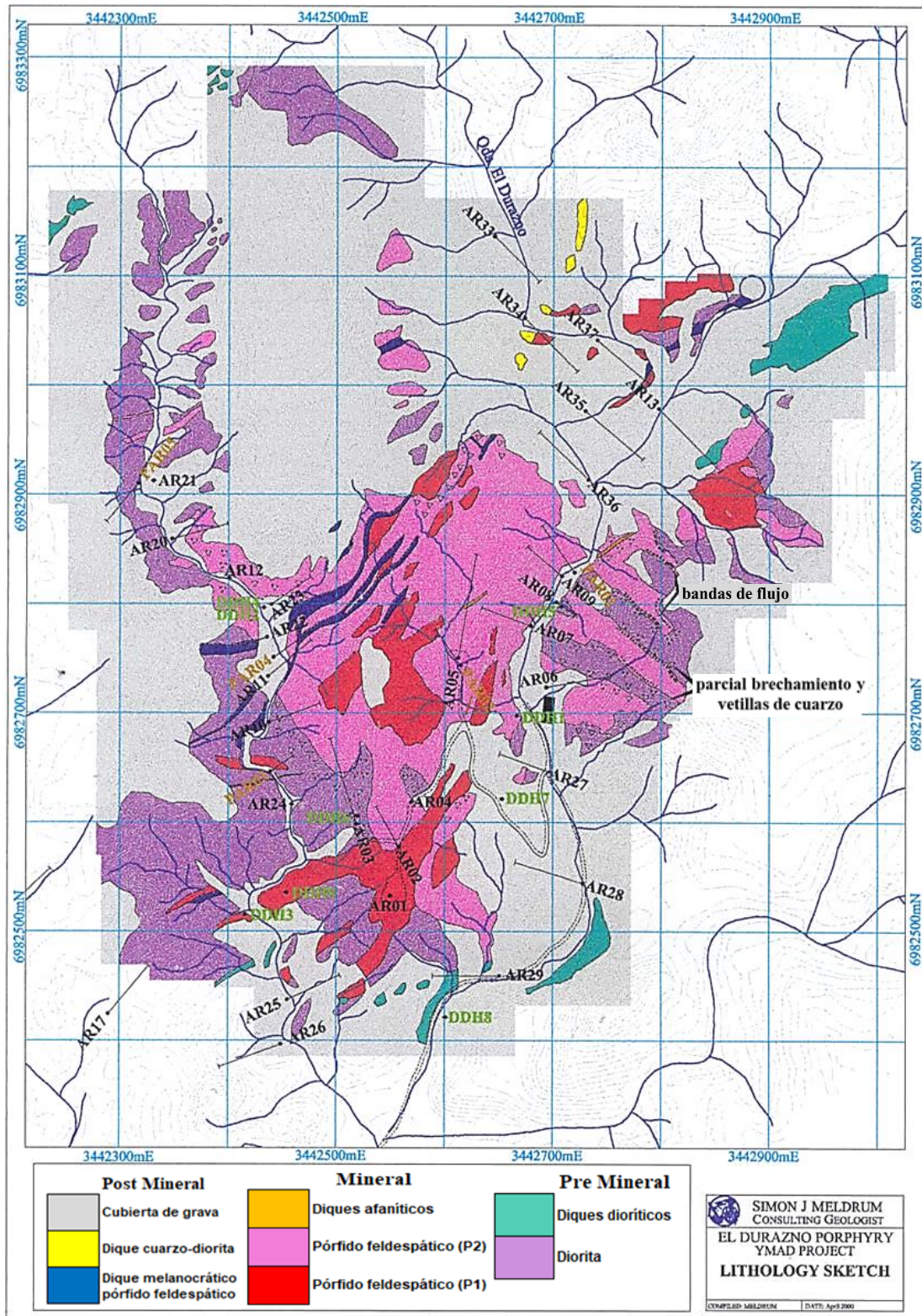


Figura 6-3: Mapa de litología realizado por S. Meldrum para MIMEX (modificado de Meldrum, 2000).

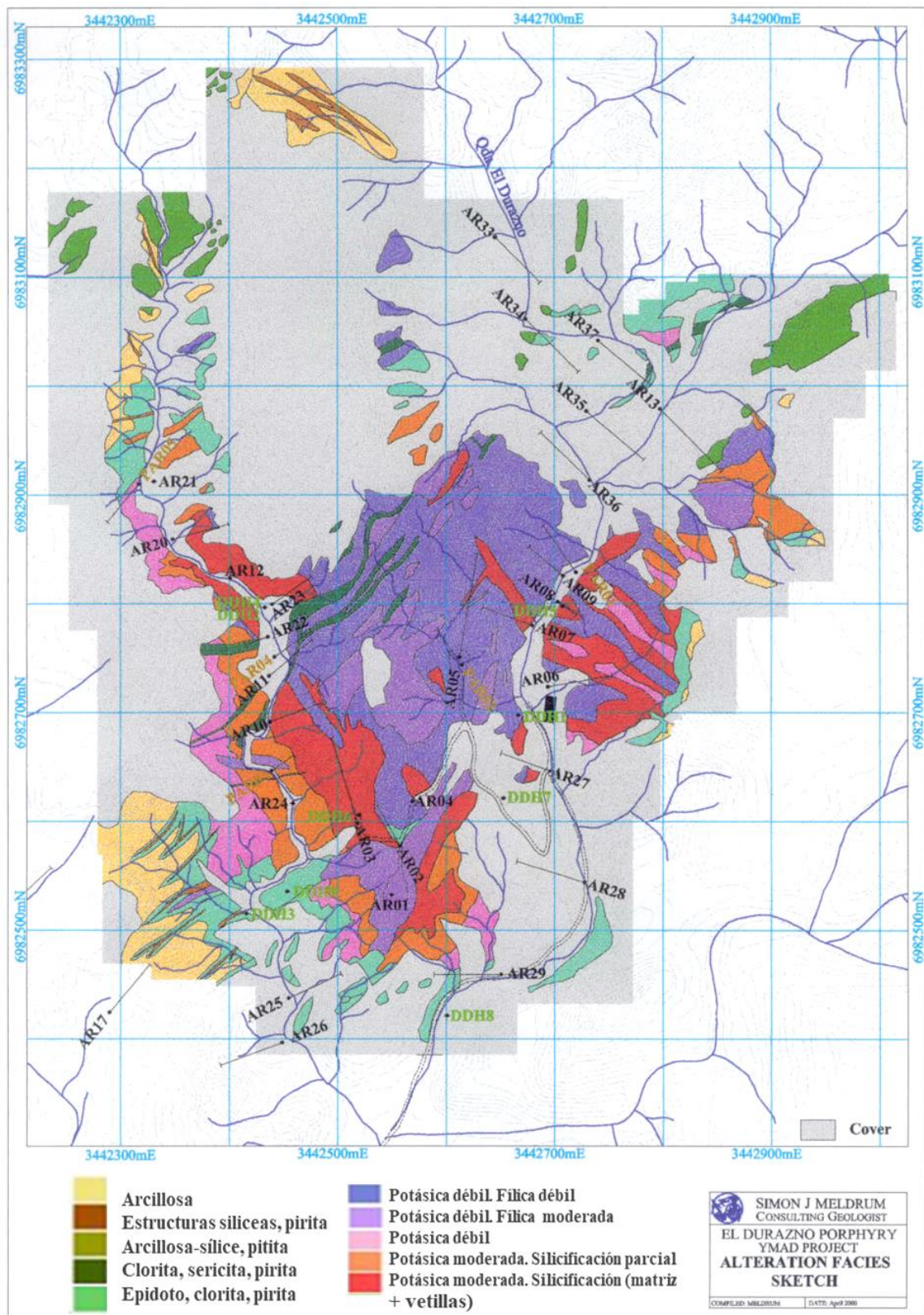


Figura 6-4: Mapa de alteraciones realizado por S. Meldrum para MIMEX (modificado de Meldrum, 2000).

Los resultados de la campaña de perforación de abril del 2001 coincidieron con los datos históricos, es decir confirmó que la mineralización se dispone en forma de delgado anillo alrededor principalmente de la fase porfídica P2 cerca del contacto con la roca de caja diorítica. También el mapeo geológico de MIM en BED ha destacado un complejo y sutil sistema de alteración estilo pórfido, que se ha desarrollado alrededor de un complejo intrusivo emplazado en un alto nivel. La naturaleza de la mineralización en BED (rica en oro y pobre en cobre) combinada con sutiles efectos de alteración sugiere una fuente más alcalina que la que tuvieron los pórfidos de BLA y Las Pampitas. Algunos trabajos fueron retomados durante el año 2006 y estuvieron a cargo de Coward por solicitud de MAA, quien realizó una recopilación y compaginación de los datos disponibles de los trabajos previos, para luego cargarlos en la base de datos de *MineSight 3D* que permitió realizar un análisis estadístico incluyendo histogramas y secciones preliminares (Fig. 6-5) y luego interpretaciones 3D facilitando el modelado de tres dominios litológicos separados, basados en la clasificación de Meldrum (2000).

Con los datos de leyes de los sondajes se modelaron además 2 fajas mineralizadas con leyes superiores a 0,30 gpt Au.

La superficie topográfica modelada que se ha empleado es un compuesto del examen detallado sobre el área principal de BED, cuya exactitud ha sido definida en la escala de los 2 m (curvas de nivel) por *Eagle Mapping*, después de tratar de nuevo los datos de las fotografías aéreas originales. Estos nuevos datos topográficos se han convertido a los archivos compatibles de *MapInfo* y de *MineSight*.

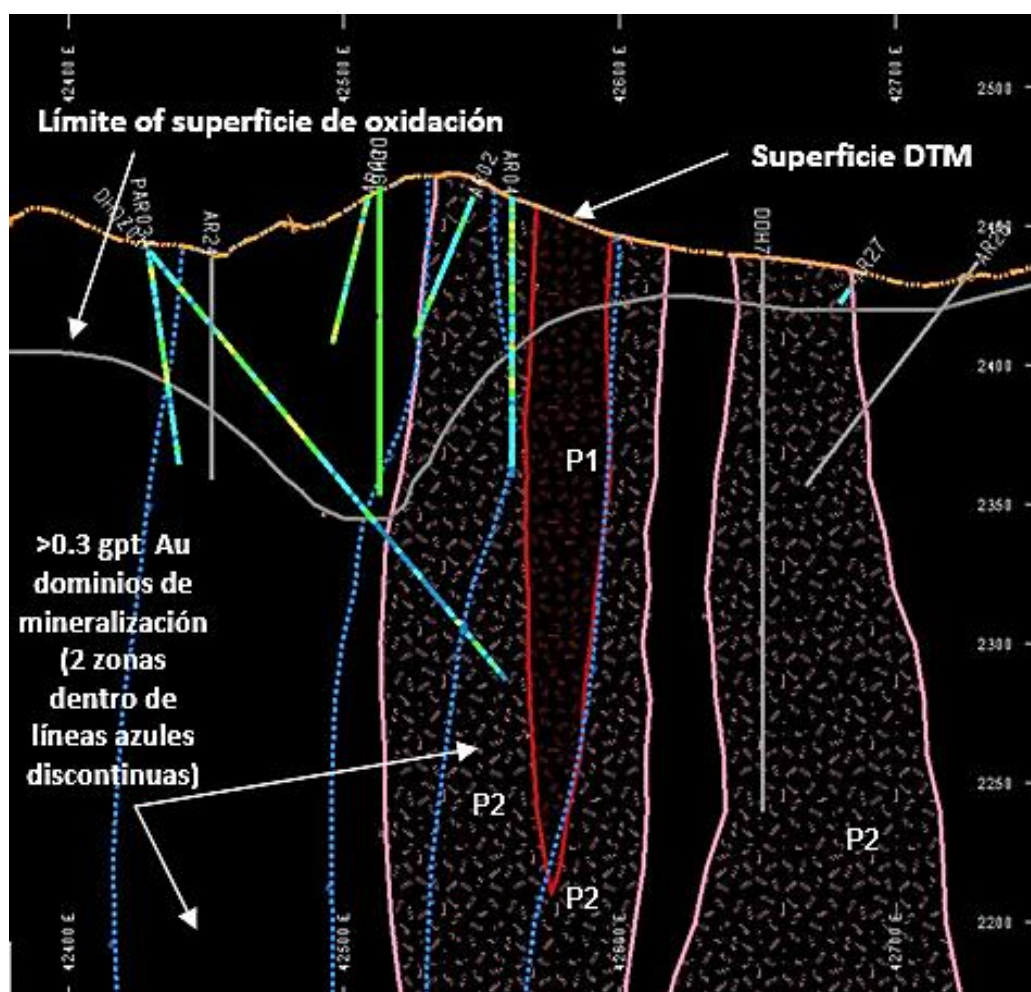


Figura 6-5: Sección con tipo de rocas, mineralización y oxidación en MS3D interpretados originalmente con perforaciones históricas (modificado de Coward, 2006). DTM: Modelo Digital del Terreno.

Coward (2006) realizó un programa de mapeo a escala 1:2.500 en el área para complementar el trabajo de Meldrum (2000), concentrando en la identificación de controles estructurales importantes en el proyecto. Este mapeo tenía como objetivos constituirse en la base para: (a) trazar en mayor detalle los parámetros fundamentales, (b) realizar una perforación adicional en BED y (c) definir el grado y la orientación de las diferentes vetillas que se reconocen como la fuente posible de algunos valores anómalos de Au. En base a esto, Coward (2006) definió un nuevo programa de perforación compuesto de 10 sondeos de diamantina, totalizando 3.000 m cuyo fin consistía en interceptar a las zonas mineralizadas y completar la información de las campañas anteriores.



Madrid (2007), a solicitud de MAA, retomó el programa propuesto por Coward (2006) y revisó nuevamente la información, modificando algunos puntos de los 3.000 m propuestos. Según sus observaciones geológicas propuso un programa de 12 perforaciones de diamantina, totalizando 2.600 m, con el objetivo principal de controlar la presencia de mineralización cupro-aurífera a lo largo de la zona de contacto entre el *stock* diorítico compuesto por las fases P1 y P2 y la diorita que constituye la roca encajante. Ninguno de estos programas de perforación (Coward, 2006 y Madrid, 2007) fue realizado.

En agosto de 2007 MAA ofreció una propuesta técnico-económica dentro del marco de la Licitación Pública Nacional e Internacional N° 08/BA/06 “Resto del Área de YMAD” para la exploración de las áreas diseminadas, incluyendo el prospecto BED. En este marco se presentó un plan de exploración dividido en tres fases. La licitación fue adjudicada mediante firma de contrato entre YMAD y MAA, en setiembre de 2008.

### **6.1.1 Geología Local**

El pórfido cupro-aurífero Bajo El Durazno se desarrolla a partir de la intrusión de un stock porfídico de composición diorítica compuesto por dos fases (P1 y P2), de similar composición y sutiles diferencias texturales, emplazadas en un stock pre-mineral también de composición diorítica emplazado a su vez en andesitas (Madrid, 2007) del Complejo Volcánico Farallón Negro (González Bonorino, 1950).

Según las observaciones de Madrid (2007), asociado a la intrusión se desarrolla un sistema de alteración-mineralización que muestra las características más representativas del sistema de tipo pórfido de cobre.

*Alteración Potásica:* se desarrolla sobre los intrusivos porfíricos dioríticos (P1 y P2) y sobre la roca de caja (diorita) adyacente a los mismos. Esta alteración constituye el centro del sistema y es claramente diferenciable en el campo y en imágenes satelitales por su color gris verdoso oscuro. La alteración potásica desarrollada sobre los pórfidos dioríticos es débil, consistente en biotitización de hornblenda, débil silicificación en matriz, magnetita finamente diseminada y aislada y finas vetillas de cuarzo-magnetita-calcopirita-pirita. Sobre el contacto de los pórfidos dioríticos con la roca de caja (diorita)

se intensifica la alteración potásica consistiendo en una moderada a fuerte biotitización+ moderada silicificación asociada a una moderada intensidad de vetillas cuarzo±magnetita± calcopirita±pirita. Esta alteración se desarrolla más claramente sobre el contacto occidental del intrusivo porfírico. La interpretación más probable para explicar este desarrollo de la alteración potásica puede ser que al producirse la misma, la mayor fracturación (permeabilidad secundaria) se encontraba en el contacto con la roca de caja intensificándose allí la circulación de fluidos mineralizantes mientras que el interior del intrusivo se presentaba más compacto y débilmente fracturado.

*Alteración Fílica y Argílica Intermedia:* se desarrolla formando un halo de color amarillento rodeando la alteración potásica central. En la parte más interna de ese halo se observa alteración cuarzo-sericítica con fuerte intensidad de vetillas cuarzo-pirita-limonita (jarosita-goethita por oxidación de pirita). Esta sericitización grada rápidamente a argilización hacia fuera con una paulatina disminución de vetillas de cuarzo-pirita-limonita.

*Alteración Propilítica:* se desarrolla más externamente y consiste en clorita-epidoto-pirita-magnetita, presentando un color gris verdoso.

Estructuralmente, el depósito de BED se encuentra al NE, y fuera del principal corredor estructural NO-SE, que corta transversalmente el CVFN. Algunos diques tienen orientación NO-SE, pero esto no es una orientación estructural dominante. Por lo tanto, el principal stock porfídico andesítico y el halo alteración asociado están alargados según una dirección NE-SO, coincidiendo con la dirección de alargamiento de BLA. Los dos depósitos se encuentran a lo largo de una línea con tendencia N 30° E (Sasso, 1997).

Madrid (2007) observó que si bien no se han mapeado, estructuras mayores que indiquen importantes desplazamientos de las zonas de alteración-mineralización, se observa en el sector NO de la zona de alteración potásica una fuerte orientación NE-SO de diques post-minerales. Estos diques podrían estar indicando estructuras post-minerales y producir el desplazamiento de la zona mejor mineralizada ubicada sobre el borde occidental de la alteración potásica.

### 6.1.2 Mineralización Local

Allison (1986), postula que la mineralización en BED es de Cu y Au con menor cantidad de Ag y Mo. Los sulfuros no son abundantes en superficie y están extensamente diseminados; aunque ausentes en algunas partes marginales de la alteración potásica. El mayor volumen mineralizado se encuentra en las vetas y vetillas entre el stock y sus paredes con cuarzo, calcita, magnetita, pirita y calcopirita, con menos proporción de sericita, clorita, ortoclasa, biotita, siderita, molibdenita, bornita, esfalerita, galena, tetraedrita-tenantita y oro nativo (Alderete, 1999).

Sillitoe (1973a, b), observa que parte del oro y la plata se encuentran en solución sólida en los sulfuros. Una estrecha zona de brecha hidrotermal silicificada, con calcopirita y bornita intersticial, se presentan en el borde oeste del núcleo potásico. El enriquecimiento supergénico está ausente, las limonitas están dispersas y la oxidación se extiende hasta los 26 m de profundidad. La malaquita y delafosita son comunes en superficie. La mineralización está confinada a la zona de alteración potásica y cuarzo-magnetita. El más alto nivel geoquímico en superficie está asociado a la intensa alteración cuarzo-magnetita (Alderete, 1999).

Según Meldrum (2000), existe una mineralización de Au-Cu de baja ley que acompaña el emplazamiento de la segunda fase porfídica con mejores valores desarrollados en los márgenes de la intrusión, resultando un caparazón mineralizado con limitado potencial en profundidad. Los valores de oro han sido aumentados por un tardío evento de oro-sílice ambos alrededor de los márgenes del pórfido y dentro del corazón de la intrusión. El impacto de las tardías y fuertes estructuras auríferas en el potencial tonelaje del depósito no ha sido completamente estudiado por los programas de trabajos anteriores. A su vez, los sondeos perforados anteriormente indican una oxidación superficial de aproximadamente 20 m, y los análisis indican que efectivamente en el depósito domina el oro, con débiles posibilidades para cobre. Se menciona también que se observa una correlación posible entre el oro y un último acontecimiento de silicificación (Giudici, 2000a, b).

Los patrones geoquímicos en las rocas de superficie (Figs. 6-6 y 6-7) representan un halo de Au-Cu desarrollado alrededor de la fase porfídica P2 coincidente con una mayor

intensidad de la alteración potásica y de las vetillas de cuarzo, cuarzo-magnetita y silicificación. Las zonas de más intensa mineralización (0,40 a 0,60 gpt Au y 0,20 a 0,40 % Cu) observada en los sondajes están asociadas principalmente al contacto entre el pórfido P2 con la roca de caja diorítica. La mineralización se presenta en forma de finas vetillas de pirita±calcopirita, asociadas a vetillas de cuarzo de hasta 2 cm de ancho (Giudici, 2000a, b).

### BAJO EL DURAZNO - GEOLOGIA & ORO (MIMEX) - SETIEMBRE 2001

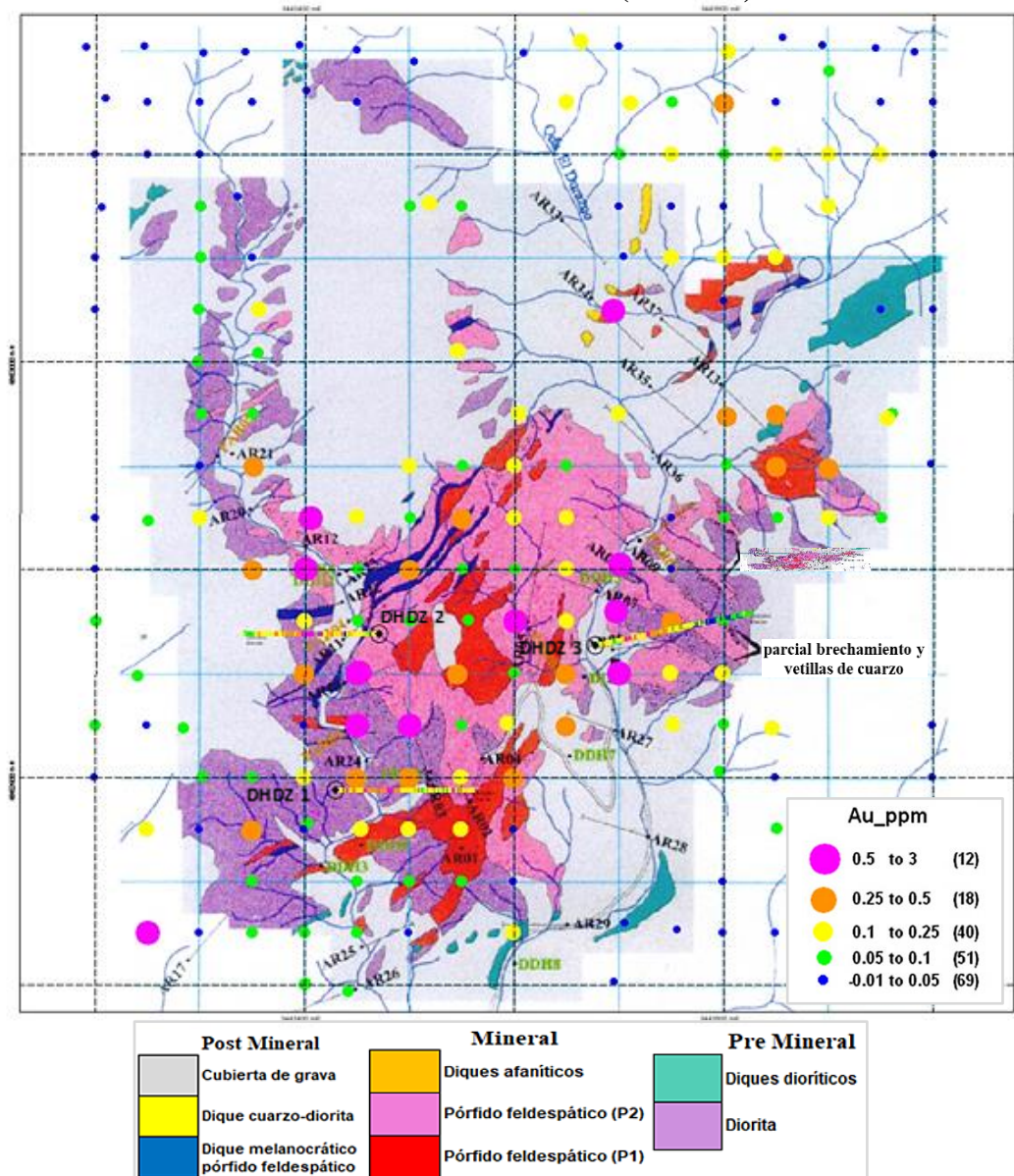


Figura 6-6: Plano litológico de Meldrum (2000) con análisis geoquímicos de oro en superficie, realizado por MIMEX (modificado de MIMEX, 2001).

**BAJO EL DURAZNO - GEOLOGIA & COBRE (MIMEX) - SETIEMBRE 2001**

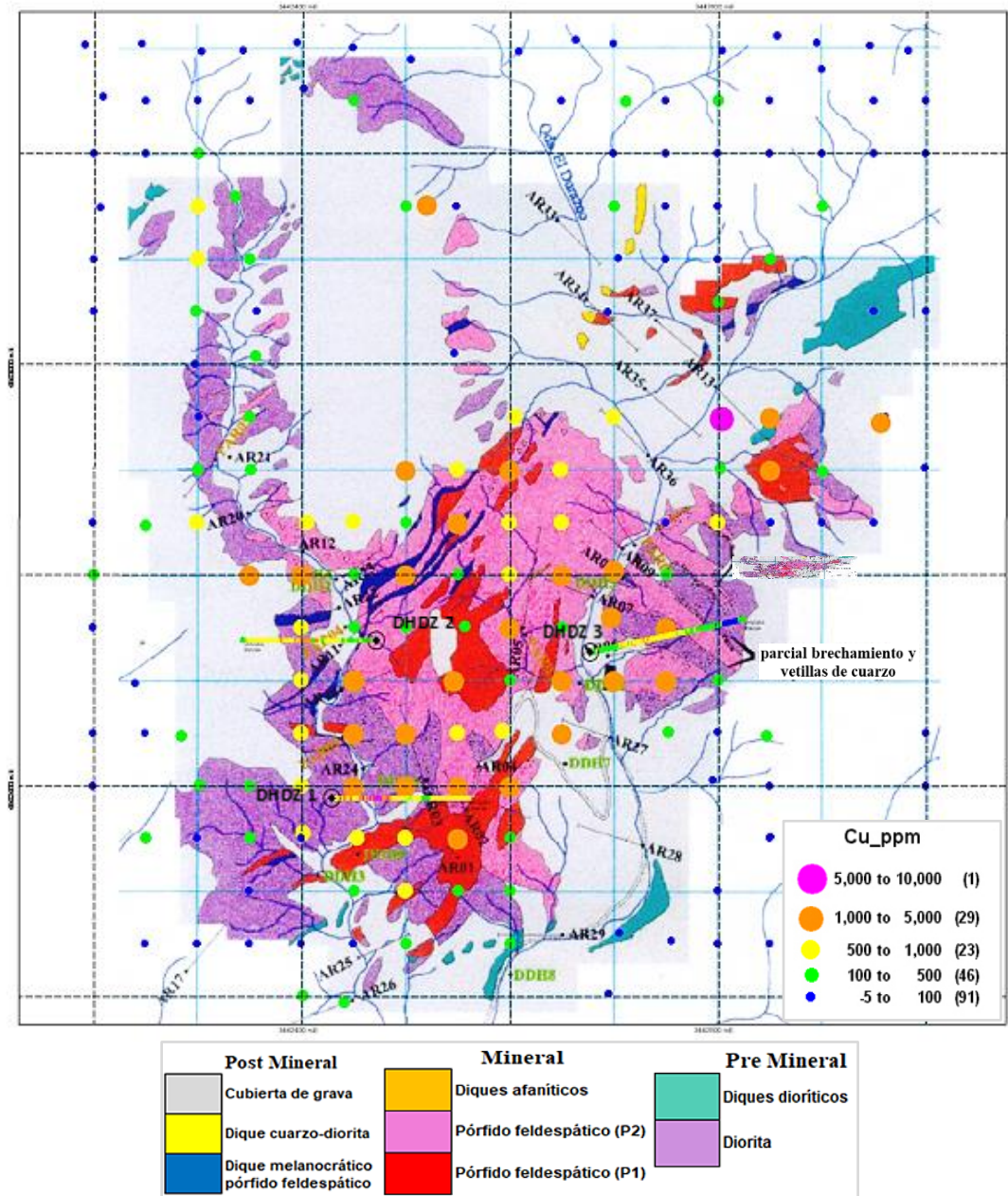


Figura 6-7: Plano litológico de Meldrum (2000) con análisis geoquímicos de cobre en superficie, realizado por MIMEX (modificado de MIMEX, 2001).

Como se mencionó anteriormente, sobre los intrusivos porfíricos se desarrolla una escasa biotitización en la parte central de la alteración potásica, a la cual se asocia una débil mineralización que grada entre 0,2-0,4 gpt Au y 0,10-0,15 % Cu; con tramos cortos de pocos metros de hasta 0,92 gpt Au y 0,39 % Cu.

Madrid (2007) realiza observaciones de campo, análisis de datos de perforaciones de campañas antiguas y concluye que la mineralización cupro-aurífera en BED se asocia a la alteración potásica que se encuentra en el centro del sistema. Aparentemente la mineralización presenta diferencias según las características de la alteración potásica a la que se asocia.

Sobre el contacto occidental de los intrusivos porfíricos con la roca de caja se intensifica la alteración potásica y allí se encuentra una mineralización de 0,20-0,60 gpt Au y 0,15-0,40 % Cu con tramos cortos que superan 1,00 gpt Au y hasta 0,97 % Cu. Esta faja mineralizada alcanza unos 300 m de longitud por unos 80 m de ancho y ha sido interceptada en forma completa por las perforaciones DHDZ-01 y 02 realizadas por MIMEX.

Los efectos meteóricos desarrollados sobre la mineralización cupro-aurífera generan oxidados de cobre (malaquita, tenorita, crisocola) que aparecen en forma frecuente tapizando fracturas. Los oxidados de cobre alcanzan su mayor desarrollo en el halo más externo de la alteración potásica donde la mineralización de cobre es más fuerte y la fracturación es más intensa (principalmente en la roca de caja). Esto se refleja en las buenas anomalías de Cu registradas en la geoquímica de superficie realizada por MIMEX en BED.

La oxidación de sulfuros primarios en superficie es solo un fenómeno parcial en BED ya que es común encontrar calcopirita-pirita en la zona potásica, como así también pirita en la zona de alteración destructiva de feldespatos.

Las perforaciones realizadas en la zona con alteración destructiva de feldespatos y cuyos datos geoquímicos están disponibles, no arrojaron evidencias de mineralización cupro-aurífera.

---

## 7 Marco Geológico

### 7.1 Geología Regional

El área de estudio se encuentra en el sector noroccidental de la Provincia Geológica de Sierras Pampeanas (Caminos, 1979). Según Ramos (1999) pertenece a la provincia geológica de Sierras Pampeanas Occidentales. Las rocas más antiguas están representadas por metamorfitas cámbricas de la Fm. Suncho (Mirré y Aceñolaza, 1972) y por el granito ordovícico Capillitas, que forman el basamento cristalino de la región y constituyen el bloque de la Sierra de la Ovejería y el Cerro Bola del Atajo. En la Sierra de la Ovejería predominan pizarras y filitas de carácter bastante homogéneo mientras que en el Cerro Bola del Atajo las litologías predominantes son gneises, migmatitas y rocas graníticas (González Bonorino, 1950).

Sobre el denudado basamento cristalino se depositaron areniscas de origen continental de coloraciones rojizas, cuya edad se atribuye al Terciario medio superior. Afloran en el ángulo NE, en la zona de las Escaleras y están plegadas en amplios anticlinales. En discordancia angular sobre los depósitos terciarios e intruyéndolos, se encuentra el CVFN de edad Miocena, el cual comprende una gran variedad de rocas ígneas cuya composición varía desde basalto hasta riolita y está constituido por tobas, brechas, diques, filones capas, domos endógenos y *stocks*. Dentro de éste complejo existen varias áreas con alteración hidrotermal relacionadas con mineralización de cobre y oro, asimismo existen depósitos vetiformes portadores de manganeso con oro y plata (González Bonorino, 1950). Este complejo volcánico es la expresión más oriental del magmatismo asociado con la subducción terciaria de la Placa de Nazca bajo la Placa Sudamericana (Isaaks *et al.*, 1982; Jordan *et al.*, 1983). Sobre las rocas eruptivas del CVFN se depositaron, en discordancia angular, areniscas y tobas atribuidas al Terciario superior, las cuales forman gruesos bancos con inclinaciones de pocos grados hacia el oeste. Sobre las formaciones mencionadas anteriormente se asientan depósitos conglomerádicos aterrizados y fluviales de edad Cuartaria (Isaaks *et al.*, 1982; Jordan *et al.*, 1983).

## 7.2 Complejo Volcánico Farallón Negro

### 7.2.1 Historia Magmática y Petrogénesis

El CVFN está ubicado en la zona de transición entre dos segmentos tectonomagmáticos de los Andes, un segmento volcánico activo, donde la zona de Benioff está inclinada unos 30° hacia el este, y un segmento que solo desciende entre 5° y 10°, donde falta el vulcanismo Cuaternario y el magmatismo del Mioceno está confinado a centros aislados desplazados hacia el continente (González Bonorino 1950; Sillitoe, 1973a; Barazangi e Isacks 1976; Sillitoe 1976; Isacks *et al.*, 1982; Allmendinger *et al.*, 1983; Jordan *et al.*, 1983; Bevis y Isacks, 1984; Jordan y Allmendinger, 1986; Sasso y Clark, 1998; Cahill y Isacks, 1992; Coughlin *et al.*, 1998; Kay *et al.*, 1999). El CVFN es uno de estos centros en la parte distal del arco volcánico Mioceno-Reciente. Las rocas más abundantes son andesitas y basandesitas, mientras que los términos extremos, basaltos y riolitas, están relativamente poco representados. En general, la forma del complejo se puede considerar como un óvalo, cuyo eje mayor de 18 km, posee orientación NO-SE y su eje menor de 16 km de largo, tiene una orientación NE-SO, que cubre una superficie de alrededor de 255 km<sup>2</sup>.

La mayoría de los autores interpretan al CVFN como el remanente de un gran estratovolcán andesítico (entre otros: Quartino, 1962; Llambías, 1970, 1972; Sillitoe, 1973a; Ulrich *et al.*, 2002; Proffett, 2003; Halter *et al.*, 2004 y referencias mencionadas ahí), aunque Harris *et al.* (2006) presentan una interpretación alternativa que enfatiza una estructura de graben o fosa tectónica local. Teniendo en cuenta que la altura máxima del volcán habría sido de alrededor de 5.500 m s.n.m. (se calculó para un ángulo de inclinación de las capas de 25° y una distancia de 8 km, que es el radio del área volcánica), es decir 2.500 m por encima del punto más alto actualmente (M° Rincón Grande: 2.954 m s.n.m.), se puede obtener una idea de la importancia de la erosión y de la profundidad de intrusión de los cuerpos ígneos. En la Tabla 7-1 se describen las unidades identificadas para éste complejo, ubicando las más jóvenes en la parte superior (Llambías, 1970).



Unidad	Ocurrencia	Tipo de Intrusión	Estructura	Alteración Deutérica
Riolitas	Diques, domos	Inyección forzada	Fuertemente fluidal	Moderada
Riodacitas de Macho Muerto	Domos endógenos, diques	Inyección forzada	Fluidalidad marcada	Fuerte
Andesitas cuarcíferas Agua Tapada	Domos endógenos, diques	Inyección forzada, relleno	Fluidalidad planar moderada	Mediana
Cuerpos intrusivos del Durazno	Stock, domos, diques	Stoping?, permisiva, relleno?	Fluidalidad poco desarrollada	Mediana
Monzonita de Alto de la Blenda	Stock, diques	Permisiva?	Sin estructura interna	No hay
Basaltos, Basandesitas, Andesitas	Diques, domos	Relleno fracturas	Fluidal	No hay
Andesitas anfibólicas	Domos	?	Estructuras fluidales débiles	Incipiente
Andesitas de la Chilca	Domos, reservorios magmáticos, diques	Inyección forzada pasiva	Fluidal no tiene	Incipiente
Basaltos, Basandesitas, Andesitas	Filones capas, coladas	Relleno?	Fluidal	No hay
Tobas	Bancos		Bien estratificada	No hay
Brechas Intrusivas	Relleno chimenea	Relleno		Incipiente
Brechas	Mantos		Estratificada groseramente	

Tabla 7 1: Unidades que componen el Grupo Volcánico de Farallón Negro (Modificado de Llambías, 1970).

De acuerdo con varios autores (e.g., Quartino, 1962; Llambías, 1970, 1972; Sillitoe, 1973a; Ulrich *et al.*, 2002; Proffett, 2003; Halter *et al.*, 2004), se cree que los afloramientos volcánicos son los remanentes de un vasto campo que comprende varios focos eruptivos. Se concluye que el vulcanismo está centrado en una cuenca sedimentaria extensional. Los datos geocronológicos Ar/Ar demuestran que desde los 12,5 Ma hasta los 8,5 Ma, se produjo la erupción de restringidos volúmenes de basaltos, basandesitas y dacitas desde diversos centros volcánicos discretos, posiblemente canalizados por estructuras que controlaron previamente la formación de la cuenca. Entre los 8,5 y 7,5 Ma (Sasso *et al.*, 1995), estas rocas fueron cubiertas por flujos de dacitas, andesitas y brechas del estratovolcán principal, que se acumularon desde el centro de emisión en el área de Alto de la Blenda (Llambías, 1972). Las edades Ar/Ar en biotita del primer pórfido mineralizado P2 ( $7,10 \pm 0,13$ ) y de un dique post-mineralización ( $6,83 \pm 0,07$  Ma) limitan la edad de la mineralización al Mioceno tardío (Sasso y Clark, 1998). Una actividad menor piroclástica persistió hasta los 6,7 Ma asociada a una erosión mayor del flanco norte del estratocono. La construcción del estratocono estuvo acompañada y

seguida por actividad intrusiva con picos entre los 8,5 Ma y 6,7 Ma y continuó localmente hasta los 5,1 Ma (Tabla 7-2). El emplazamiento de diques de dacitas y riolitas marca la terminación de la actividad magmática de la región (Sasso y Clark, 1998).

Los datos geoquímicos presentados por Sasso (1997), confirman que las unidades volcánicas son subalcalinas y pueden clasificarse como shoshoníticas o como calcoalcalinas rico en K (Jones, 1994 y 1997; Dostal *et al.*, 1977; Caelles, 1979; Viramonte *et al.*, 1984; Allison, 1986; Guilbert, 1995; Müller & Forrester, 1998; Clark & Sasso, 2000; Ulrich & Heinrich, 2001; Ulrich *et al.*, 2002; Halter *et al.*, 2004). Los contenidos de LILE y LREE sugieren que los magmas de Farallón Negro pudieron generarse mediante fusión parcial limitada y la depresión en HFSE permite estimar que no hubieron fuentes profundas de magma astenosférico. Sasso *et al.* (1995) sugieren que las muestras de las rocas volcánicas e intrusivas del CVFN poseen claras afinidades con un arco que primero se ensanchó hacia el este y luego se contrajo hasta el eje volcánico activo actual.

Las áreas de alteración hidrotermal comenzaron a desarrollarse con posterioridad a la intrusión de la monzonita de Alto de La Blenda, probablemente con la intrusión de los domos de la unidad riódacita Macho Muerto (Llambías, 2011).

Se forman depósitos hidrotermales de diferentes estilos durante las etapas finales del magmatismo y pueden ser temporalmente agrupados por relaciones de intersección, contactos ígneos intrusivos y dataciones radiométricas. La formación del pórfido de Cu-Au-Mo de BLA, ubicado aproximadamente a 5 km al sureste del *stock* monzonítico Alto de la Blenda, involucró varios pulsos agrupados en un corto intervalo de tiempo de  $7,216 \pm 0,018$  a  $7,164 \pm 0,057$  Ma (von Quadt *et al.*, 2011) y toda la actividad extrusiva fue datada en  $\approx 0,3$  Ma (Halter *et al.*, 2004). Todos los porfidos dacíticos y el *stockwork* de vetas mineralizadas con Cu-Au de Bajo de la Alumbreira fueron cortados por abruptas fallas normales rellenas por vetillas de carbonato con minerales de metales base y oro en cantidades sub-económicas (Proffett, 2003; Meier, 2008; Meier *et al.*, 2008). Estas últimas fracturas presentan orientación NO-SE y características mineralógicas similares a las vetas epitermales de mayor potencia explotadas en Farallón Negro-Alto de la Blenda y probablemente representan un sistema de vetas continuo.

Cerca del otro extremo de este enjambre de vetas, pequeñas vetas de carbonato con metales base y oro fueron históricamente explotadas en Macho Muerto, las mismas se encuentran alojadas en rocas volcánicas andesíticas cerca del pórfido riodacítico de Macho Muerto (Márquez-Zavalía y Heinrich, 2016).

En contraste con los pórfidos dacíticos en BLA y Agua Tapada, el pórfido riodacítico de Macho Muerto está completamente inalterado con bandas de flujo, matriz vítrea, y contiene plagioclasa fresca y sanidina datada inicialmente de  $6\pm 1$  Ma por Linares y González (1990) y más recientemente a  $6,26\pm 0,15$  Ma ( $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$ , Halter *et al.*, 2004) y  $6,04\pm 0,07$  Ma ( $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$ , Sasso 1997).

Detalladas observaciones de campo confirmaron la ausencia de vetas de carbonato dentro del *stock* de Macho Muerto, mientras que numerosas vetas atraviesan las andesitas en su vecindad, lo que indica que el *stock* de Macho Muerto se emplazó después de las vetas epitermales (Márquez-Zavalía y Heinrich, 2016).

#	ROCA	MUESTRA	LOCALIDAD	MÉTODO	MINERAL	Ma	±	REFERENCIA
166	Veta Mn	s/n	Yac. Farallón Negro CVFN	K/Ar	Otros minerales	2,6	0,8	McBride, 1972 en: Linares y González 1990
268	Pórfido dacítico	AK-1657	C° Pan de Azúcar, Capillitas, CVFN	K/Ar	Roca total	5,0	0,5	Linares y González 1990
269	Riolita	AK-1659	Flo Colorado, Capillitas, CVFN	K/Ar	Roca total	5,0	0,5	Linares y González 1990
314	Andesita	s/n	Yac. Farallón Negro CVFN	K/Ar	Roca total	6,0	0,2	McBride, 1972 en: Linares y González 1990
318	Pórfido riodalítico	AK-1039	Macho Muerto, CVFN	K/Ar	Biotita	6,0	1,0	Linares y González 1990
323	Pórfido dacítico	AK-0667	Agua Tapada, CVFN	K/Ar	Roca total	6,0	2,0	Linares y González 1990
351	Monzoniorita	s/n	Cerro Rico, CVFN	K/Ar	Biotita	6,8	0,4	McBride, 1972 en: Linares y González 1990
352	Pórfido andesítico	AK-0663	Agua Tapada, CVFN	K/Ar	Roca total	6,8	3,0	Linares y González 1990
358	Dique de basalto	AK-1036	Bajo de la Alumbraera, CVFN	K/Ar	Roca total	7,0	1,0	Linares y González 1990
363	Pórfido dacítico	AK-0669	Agua Tapada, CVFN	K/Ar	Roca total	7,0	2,0	Linares y González 1990
366	Pórfido dacítico	AK-0662	Agua Tapada, CVFN	K/Ar	Roca total	7,0	3,0	Linares y González 1990
370	Monzonita	s/n	Bajo San Lucas, CVFN	K/Ar	Biotita	7,1	0,1	Caelles et al., 1971 en: Linares y González 1990
371	Pórfido andesítico	s/n	Bajo El Durazno, CVFN	K/Ar	Biotita	7,1	0,1	Caelles et al., 1971 en: Linares y González 1990
390	Riolita	s/n	Agua Tapada, CVFN	K/Ar	Roca total	7,6	0,6	McBride, 1972 en: Linares y González 1990
392	Monzoniorita	s/n	Las Pampilas, CVFN	K/Ar	Roca total	7,7	0,3	McBride, 1972 en: Linares y González 1990
397	Pórfido andesítico	s/n	Bajo El Durazno, CVFN	K/Ar	Roca total	7,9	0,1	Caelles et al., 1971 en: Linares y González 1990
398	Pórfido andesítico	s/n	Bajo El Durazno, CVFN	K/Ar	Roca total	7,9	0,3	McBride, 1972 en: Linares y González 1990
401	Pórfido dacítico	AK-0660	Agua Tapada, CVFN	K/Ar	Roca total	7,9	3,0	Linares y González 1990
424	Pórfido dacítico	AK-0661	Agua Tapada, CVFN	K/Ar	Roca total	8,5	3,0	Linares y González 1990
425	Pórfido dacítico	AK-0666	Agua Tapada, CVFN	K/Ar	Roca total	8,5	4,0	Linares y González 1990
432	Granodiorita	s/n	Bajo El Durazno, CVFN	K/Ar	Biotita	8,7	0,4	McBride, 1972 en: Linares y González 1990
437	Dacita	s/n	Agua Tapada, CVFN	K/Ar	Biotita	8,8	0,3	McBride, 1972 en: Linares y González 1990
497	Pórfido sericitico	AK-0664	Agua Tapada, CVFN	K/Ar	Roca total	10,1	3,0	Linares y González 1990
505	Dacita	s/n	Distrito Farallón Negro, CVFN	K/Ar	Roca total	10,6	0,5	McBride, 1972 en: Linares y González 1990
506	Roca volcánica	s/n	Alto de la Blenda, CVFN	K/Ar	Antibol	10,7	0,3	Caelles et al., 1971 en: Linares y González 1990
538	Pórfido dacítico	AK-1037	Bajo El Durazno, CVFN	K/Ar	Roca total	12,0	2,0	Linares y González 1990
921	Pórfido dacítico	AK-0665	Agua Tapada, CVFN	K/Ar	Roca total	41,0	5,0	Linares y González 1990
1037	Basalto	AK-0672	Agua Tapada, CVFN	K/Ar	Roca total	59,0	5,0	Linares y González 1990
s/n	Andesita	FAR-65	Bajo El Durazno, CVFN	40Ar/39Ar	Homblenda	8,2	0,11	Sasso, 1997
s/n	Andesita	FAR-65	Bajo El Durazno, CVFN	40Ar/39Ar	Biotita	7,89	0,14	Sasso, 1997
s/n	Pórfido andesítico	FAR-244	Bajo de la Alumbraera, CVFN	40Ar/39Ar	Homblenda	6,78	0,15	Sasso, 1997
s/n	Pórfido andesítico	FAR-244	Bajo de la Alumbraera, CVFN	40Ar/39Ar	Biotita	6,48	0,85	Sasso, 1997
s/n	Dique andesítico	FAR-262	Bajo La Chilca, CVFN	40Ar/39Ar	Homblenda	7,88	0,22	Sasso, 1997
s/n	Dique andesítico	FAR-262	Bajo La Chilca, CVFN	40Ar/39Ar	Biotita	9,14	0,13	Sasso, 1997
s/n	Pórfido dacítico sericitizado	FAR-239	Agua Tapada, CVFN	40Ar/39Ar	Sericita	7,81	0,36	Sasso, 1997
s/n	Pórfido dacítico sericitizado	FAR-239	Agua Tapada, CVFN	40Ar/39Ar	Roca total	7,55	0,24	Sasso, 1997
s/n	Unidad sericitizada	FAR-266	Bajo La Chilca, CVFN	40Ar/39Ar	Sericita	6,82	2,01	Sasso, 1997
s/n	Unidad sericitizada	FAR-266	Bajo La Chilca, CVFN	40Ar/39Ar	Roca total	8,01	0,1	Sasso, 1997
s/n	Dique P4	FAR-2	Bajo de la Alumbraera, CVFN	40Ar/39Ar	Biotita	7,1	0,13	Sasso, 1997
s/n	Dacita	FAR-10	Agua Tapada, CVFN	40Ar/39Ar	Biotita	6,84	0,15	Sasso, 1997
s/n	Dacita	FAR-12	Macho Muerto, CVFN	40Ar/39Ar	Biotita	5,95	0,07	Sasso, 1997
s/n	Alunita supergénica	FAR-244	Agua Tapada, CVFN	40Ar/39Ar	Alunita	0,14	0,33	Sasso, 1997
s/n	Andesita	FAR-57	Bajo La Chilca, CVFN	40Ar/39Ar	Homblenda	7,88	0,11	Sasso, 1997
s/n	Andesita	FAR-101	Bajo El Durazno, CVFN	40Ar/39Ar	Roca total	14,04	0,28	Sasso, 1997
s/n	Pórfido dacítico P3	FAR-113	Bajo de la Alumbraera, CVFN	40Ar/39Ar	Biotita	6,98	0,08	Sasso, 1997
s/n	Pórfido dacítico	FAR-147	Bajo San Lucas, CVFN	40Ar/39Ar	Biotita	7,35	0,06	Sasso, 1997
s/n	Monzonita	FAR-169	Qda. de Melcho, CVFN	40Ar/39Ar	Homblenda	8,56	0,48	Sasso, 1997
s/n	Andesita basáltica	FAR-201	Bajo de la Alumbraera, CVFN	40Ar/39Ar	Homblenda	12,56	0,36	Sasso, 1997
s/n	Roca de caja sericitizada	FAR-202	Alto de la Blenda, CVFN	40Ar/39Ar	Roca total	6,55	0,14	Sasso, 1997
s/n	Andesita basáltica	FAR-204	Yac. Farallón Negro CVFN	40Ar/39Ar	Homblenda	8,51	0,35	Sasso, 1997
s/n	Banquita	FAR-206	NO del CVFN	40Ar/39Ar	Biotita	7,49	0,09	Sasso, 1997
s/n	Monzonita	FAR-216	Alto de la Blenda, CVFN	40Ar/39Ar	Homblenda	7,5	0,2	Sasso, 1997
s/n	Andesita	FAR-224	Bajo El Durazno, CVFN	40Ar/39Ar	Homblenda	8,33	0,18	Sasso, 1997
s/n	Andesita sericitizada	FAR-227	Bajo El Durazno, CVFN	40Ar/39Ar	Roca total	11,02	0,13	Sasso, 1997
s/n	Andesita	FAR-229	Bajo El Durazno, CVFN	40Ar/39Ar	Homblenda	8,24	0,1	Sasso, 1997
s/n	Pórfido dacítico	FAR-238	Agua Tapada, CVFN	40Ar/39Ar	Biotita	7,39	0,17	Sasso, 1997
s/n	Pórfido dacítico sericitizado	FAR-239	Agua Tapada, CVFN	40Ar/39Ar	Roca total	7,55	0,24	Sasso, 1997
s/n	Pórfido andesítico	FAR-244	Bajo de la Alumbraera, CVFN	40Ar/39Ar	Homblenda	6,78	0,15	Sasso, 1997
s/n	Dique andesítico	FAR-262	Bajo La Chilca, CVFN	40Ar/39Ar	Homblenda	7,88	0,22	Sasso, 1997
s/n	Unidad sericitizada	FAR-266	Bajo La Chilca, CVFN	40Ar/39Ar	Roca total	8,01	0,1	Sasso, 1997
s/n	Pórfido dacítico sericitizado	FAR-333	Bajo de la Alumbraera, CVFN	40Ar/39Ar	Roca total	6,75	0,09	Sasso, 1997
s/n	Veta de biotita sericitizada	FAR-334	Bajo de la Alumbraera, CVFN	40Ar/39Ar	Biotita	5,78	0,44	Sasso, 1997
s/n	Pórfido dacítico P3	FAR-336	Bajo de la Alumbraera, CVFN	40Ar/39Ar	Biotita	6,83	0,07	Sasso, 1997
s/n	Dique andesítico	JC-30	Alto de la Blenda, CVFN	40Ar/39Ar	Roca total	6,3	0,11	Sasso, 1997
s/n	Dique de riolita	JC-31a	Macho Muerto, CVFN	40Ar/39Ar	Roca total	6,91	0,25	Sasso, 1997
s/n	Flijo dacítico	JC-33	Bajo de la Alumbraera, CVFN	40Ar/39Ar	Homblenda	8,09	0,22	Sasso, 1997
s/n	Dique de dacita	JC-41	Agua Tapada, CVFN	40Ar/39Ar	Biotita	6,9	0,12	Sasso, 1997
s/n	Muestra con alteración hidrotermal	JC-42a	Bajo El Durazno, CVFN	40Ar/39Ar	Roca total	8,95	0,1	Sasso, 1997
s/n	Granodiorita	JC-47b	Bajo El Durazno, CVFN	40Ar/39Ar	Biotita	8,46	0,1	Sasso, 1997
s/n	Monzoniorita	JC-77a	Alto de la Blenda, CVFN	40Ar/39Ar	Roca total	7,02	0,22	Sasso, 1997
SR73	Toba (nivel estratigráfico 360m)	CA-ID-TMS	Agua de Dionisio, CVFN	206Pb/238Zr	Zircón	6,4615	0,0081	Buret et al., 2017.
SR65	Toba (nivel estratigráfico 270m)	CA-ID-TMS	Agua de Dionisio, CVFN	206Pb/238Zr	Zircón	6,5188	0,0060	Buret et al., 2017.
SR73	Toba (nivel estratigráfico 250m)	CA-ID-TMS	Agua de Dionisio, CVFN	206Pb/238Zr	Zircón	6,5337	0,0077	Buret et al., 2017.
SR73	Toba (nivel estratigráfico 220m)	CA-ID-TMS	Agua de Dionisio, CVFN	206Pb/238Zr	Zircón	7,0560	0,0100	Buret et al., 2017.
SR65	Toba (nivel estratigráfico 130m)	CA-ID-TMS	Agua de Dionisio, CVFN	206Pb/238Zr	Zircón	7,0524	0,0098	Buret et al., 2017.
SR43	Toba (nivel estratigráfico 45m)	CA-ID-TMS	Agua de Dionisio, CVFN	206Pb/238Zr	Zircón	7,0712	0,0089	Buret et al., 2017.
YB42	Pórfido (Qz-fsp) sin mineralización	CA-ID-TMS	Alto de la Blenda, CVFN	206Pb/238Zr	Zircón	7,0532	0,0069	Buret et al., 2017.
s/n	Pórfido dacítico P4	CA-ID-TMS	Bajo de la Alumbraera, CVFN	206Pb/238Zr	Zircón	7,0897	0,0082	Buret et al., 2017.
s/n	Pórfido dacítico P2	CA-ID-TMS	Bajo de la Alumbraera, CVFN	206Pb/238Zr	Zircón	7,1021	0,0069	Buret et al., 2017.

Tabla 7 2: Dataciones radimétricas del CVFN, Catamarca.

La composición de las rocas varía con el tiempo desde andesitas y andesitas basálticas hasta riolitas (Fig. 7-1).

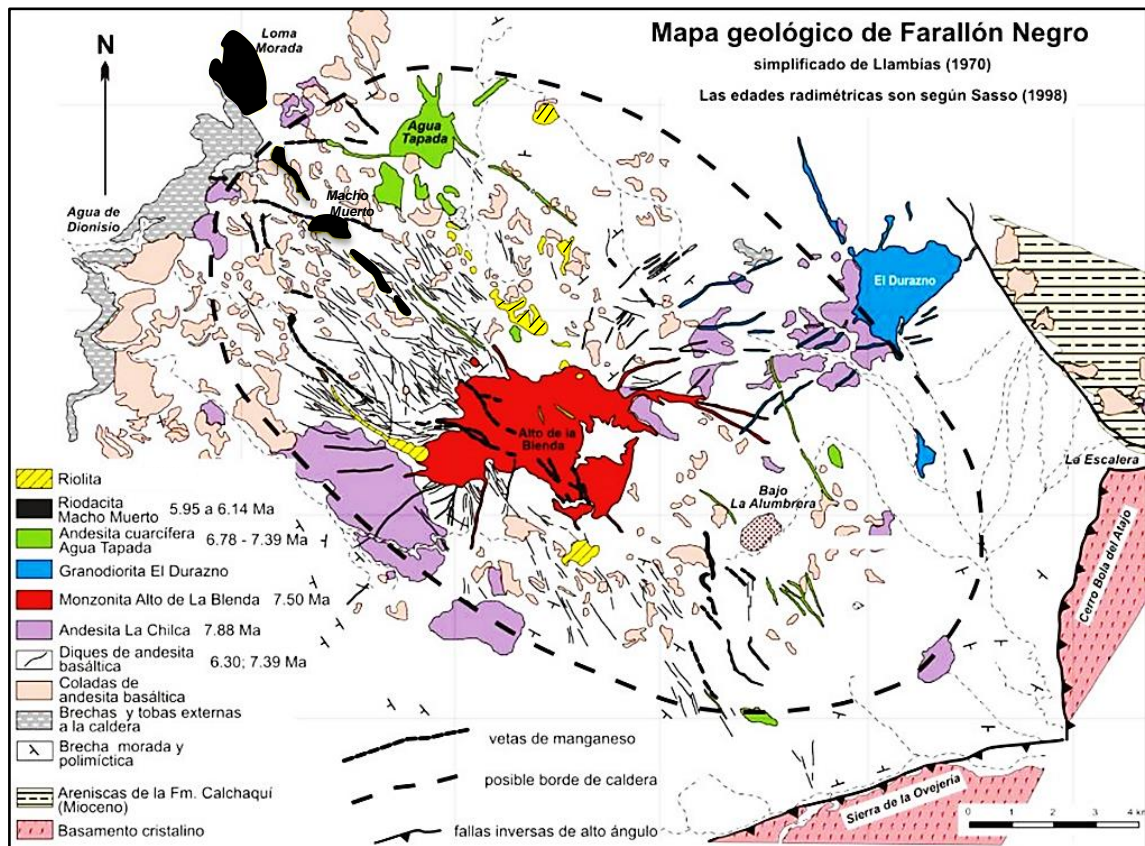


Figura 7-1: Mapa geológico del CVFN (simplificado de Llambías, 2011).

El sistema más antiguo de diques tiene la misma orientación que el eje mayor de la caldera. Un segundo sistema de diques, más joven que el anterior, tiene orientación NNE. Además, se reconocen diques radiales respecto a los cuerpos intrusivos mayores. Tanto los diques como los cuerpos están emplazados en brechas ígneas con intercalaciones de coladas de andesitas basálticas y de depósitos de facies tobáceas, posiblemente originadas de oleadas piroclásticas. El cuerpo intrusivo de El Durazno es externo a la caldera y posiblemente al mismo volcán. Un conjunto de diques NNE conecta al Durazno con Alto de La Blenda y BLA. El grupo volcánico de Farallón Negro se apoya e intruye al basamento cristalino de Sierras Pampeanas y a las sedimentitas rojizas de la Fm. Calchaquí (Llambías, 2011).

### 7.2.2 Evolución Tectónica

El CVFN se superpone al límite postulado entre dos dominios de basamento (Ramos, 1986), el cratón Arequipa-Antofalla (rocas metamórficas) hacia el norte y el terreno de Precordillera (rocas sedimentarias) hacia el sur (Tosdal, 1996). Los autores consideran que el contraste de competencia entre los terrenos puede haber influenciado su respuesta a la compresión este-oeste durante la convergencia ortogonal neógena de las placas de Nazca y Sudamericana, el bloque norte fue más resistente a la deformación por contracción, generando un acortamiento diferencial a lo largo del rumbo del orógeno. Este comportamiento resultó en una extensión localizada noreste-suroeste, que se inició con una cizalla dextral a lo largo de la Zona de Transferencia de Tucumán y que se propone creó una cuenca extensional en la latitud de Farallón Negro (Urreiztieta *et al.*, 1996; Aubry *et al.*, 1996).

Se infiere que el estiramiento cortical asociado permitió alto flujo calórico y magmatismo. La historia volcánica temprana del área se caracterizó por eventos extrusivos aislados, posiblemente localizados en intersecciones de estructuras regionales. El período de actividad volcánica, intrusiva y extrusiva, e hidrotermal, se extendió entre los 8,5 y 5,5 Ma (Sasso *et al.*, 1995) coincidiendo con un desvío en la compresión regional al noroeste-sureste. Este modelo expone que los centros mineralizados fueron controlados por fracturas tensionales generadas por movimientos dextrales a lo largo de los lineamientos del paralelo de Tucumán y Hualfín.

Buret *et al.* (2016 y 2017) utilizando una técnica más precisa y confiable a nivel de depósito y mediante la combinación de geología de campo, geocronología U-Pb de zircón de alta precisión usando metodología CA-ID-TIMS (*Chemical Abrasion-Isotope Dilution-Thermal Ionization Mass Spectrometry*) y geoquímica de elementos traza de zircón obtenidas por LA-ICP-MS (*Laser Ablation-Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry*), muestran que la formación de un depósito de pórfido de Cu completo como Bajo de la Alumbrera es muy rápida en comparación con la larga vida del volcán. Los resultados indican que el depósito magmático-hidrotermal y el volcanismo explosivo derivaron de un reservorio de magma común que evolucionó durante una duración mínima de  $217 \pm 25$  ky. antes de la erupción final. Este estrecho vínculo temporal y

geoquímico sugiere que la formación de depósitos y la erupción volcánica fueron provocadas por la misma inyección de un magma primitivo saturado de volátiles en la base de la cámara magmática. Un intervalo de tiempo de  $19 \pm 12$  ky. entre la mineralización del pórfido y el inicio del volcanismo explosivo indica una duración mínima del rejuvenecimiento del depósito de magma que condujo a un evento explosivo.

## 8 Geología Local

El proyecto BED aflora en un bajo topográfico formado por la erosión diferencial de los distintos halos de alteración que componen el depósito. El área, enmarcada por rocas de composición andesítica del CVFN, resalta por su anomalía color con una alteración argílica que se extiende hacia fuera a lo largo de estructuras estrechas más allá de los límites del bajo, presentando una superficie de 2.200 m en dirección NE-SO por 1.200 m en dirección NO-SE, y una elevación central promedio 2.450 m s.n.m. El eje alargado de la zona alterada tiende a 30°, paralelamente a la orientación de las anomalías de BLA y Las Pampitas. Estructuras de dilatación en un ambiente principalmente compresivo, permitieron la intrusión de una serie de pórfidos diorítico-andesíticos y dacíticos a este complejo, generando la circulación de fluidos hidrotermales que alteraron y mineralizaron tanto a las fases intrusivas como a las rocas volcánicas de caja del CVFN.

Los estudios isotópicos y de geocronología expresan que las dataciones de roca total por el método K/Ar (Caelles *et al.*, 1971) han mostrado que el intrusivo El Durazno tiene 7,90 Ma. Sasso (1997), hizo determinaciones de cuatro muestras de rocas intrusivas diorítica-andesíticas del *stock* principal y de los intrusivos del este y oeste, que indicaron una edad que varía de 7,89 a 8,33 Ma.

Sillitoe (1973a), menciona que el depósito BED, aunque está aparentemente emplazado a unos 3 km del cono volcánico y atraviesa la estructura de un estratovolcán andesítico relacionado temporalmente, fue emplazado en la estructura volcánica. Este inusual lugar geométrico permite determinar que el emplazamiento del pórfido de cobre fue un evento tardío, durante las etapas terminales de actividad del estratovolcán.

El depósito de BED, se asocia a fases intrusivas de facies intermedia de composición diorítica-andesítica. La mineralogía y zonación de las facies de alteración, presenta un evento de alteración hidrotermal con un núcleo de alteración cuarzo-magnetita (Qz-Mag) que se presenta exiguamente y representada por asociaciones de minerales de cuarzo-magnetita en vetillas y por sectores en forma masiva restringido en el pórfido P2, en el sector central del depósito, seguido por un evento de alteración potásica (biotita±feldespato potásico±magnetita) y epidoto-clorita, luego el desarrollo de la



alteración ADF (Alteración Destructiva de Feldespatos), formada por las alteraciones fílica (Qz-Ser±Py) y argílica intermedia, por sectores en forma escasa a moderada sobreimpuesta a la alteración potásica. En zonas periféricas se encuentran las facies argílicas (intermedia y avanzada) y epidoto-clorita±calcita. La secuencia de alteración es la siguiente: 1) formación de las zonas de alteración cuarzo-magnetita, potásica y epidoto-clorita; 2) desarrollo de la alteración ADF (alteración destructiva de feldespatos), formada por la alteración fílica + alteración argílica intermedia (hacia fuera y arriba en la parte superior); y 3) formación de facies de alteración argílica avanzada, en la parte más superior del sistema.

## 8.1 Base de Datos

La base de datos utilizada en el proyecto de BED fue administrada por el *software* “Acquire” (versión: V.4.0.5.a), que hace de interfase al *software* “Minesight 3D” (versión: 13.0), interactuando principalmente en la interpretación geológica y su relación con los resultados geoquímicos en el desarrollo de secciones y plantas cada 30 metros en sección vertical (N70°E) y plantas cada 15 m en la horizontal. La conexión directa entre *Acquire* y *MineSight 3D* permite agilizar el proceso de gestión de la información, pero también se utilizaron archivos ASCII y Excel para chequear y validar la información.

La base de datos de BED es una recopilación resultante de una serie de trabajos de exploración en el proyecto. Treinta y cuatro sondeos de diamantina (DDH) de diámetro HQ (63,5mm) han sido perforados durante tres campañas de perforación que se realizaron en los años 2009, 2010 y 2011, alcanzando un total de 13.396,10 m (*Anexo I, Tabla de Perforaciones 2009, 2010 y 2011*).

Con los logueos geológicos y los resultados analíticos de los sondeos se realizaron las secciones verticales orientadas N 70° E que están separadas cada 30 m y son paralelas entre sí. En base a los mapeos preexistentes se realizaron 20 secciones, interpretadas inicialmente sobre papel, dibujando con lápiz las geometrías de los cuerpos y zonas de alteración. Durante el procesamiento de la información obtenida durante la campaña 2009, se realizó un agrupamiento y simplificación de la litología y la alteración observada e interpretada, en unidades principales mayores que fueron las que finalmente se modelaron en 3D, generando sólidos que presentan las siguientes características:

- Cumplen con las condiciones estándares de integridad para ser utilizados en estimación de recursos como dominios, es decir que no presentan caras duplicadas, ni superpuestas y todos ellos son volúmenes cerrados.
- Respetan los contactos geológicos de litología y alteración, tanto en los sondajes como en las secciones y cumplen con interceptar el mapeo de afloramientos superficiales, manteniendo una forma interpretativa acorde a conceptos geológicos de intrusión, alteración/mineralización y superposición de eventos.

Los volúmenes y tonelajes obtenidos fueron calculados desde *MineSight 3D*, a partir del corte de cada sólido con la topografía y la envolvente de estimación basada principalmente en la continuidad geológica y sondeos (Tabla 8-1), donde los intrusivos P2 y P0 son los principales litologías representando el 82% del volumen total y la alteración potásica y ADF son los principales alteraciones representando el 99% del volumen total.

SÓLIDOS	CÓDIGOS	VOLUMEN	TONELAJE	%
Litología Cortada por Envolvente de Estimación	Bx1	11.852.857	31.410.072	7,43%
	Bx2	6.826.792	18.090.999	4,28%
	Bx3	2.541.138	6.734.016	1,59%
	P4	636.565	1.686.899	0,40%
	P2	<b>68.542.908</b>	<b>181.638.705</b>	<b>42,98%</b>
	P1	7.342.018	19.456.348	4,60%
	P0	<b>61.725.462</b>	<b>163.572.475</b>	<b>38,71%</b>
	<b>Total</b>	<b>159.467.740</b>	<b>422.589.514</b>	<b>100,00%</b>
Alteración Cortada por Envolvente de Estimación	ADF	74.264.035	196.572.475	46,54%
	K	83.548.131	221.762.946	52,51%
	Arg	454.171	1.203.554	0,28%
	Ep-Chl	1.061.238	2.812.281	0,67%
	<b>Total</b>	<b>159.327.575</b>	<b>422.351.256</b>	<b>100,00%</b>
<b>Densidad 2,65</b>				

Tabla 8-1: Volúmenes y tonelajes obtenidos a partir de *Minesight 3D*.

Las muestras se obtuvieron al cortar el testigo de roca de manera regular cada 2 m, lo que hace un total de 6.626 datos que fueron procesados y analizados para este estudio. Se consideró como base, el mapeo de litología y alteración realizado por Meldrum (2000). Para la descripción, se empleó una tabla de abreviaturas (Tablas 8-2 y 8-3), utilizadas en las planillas de logueo geológico y en las secciones geológicas interpretadas y codificadas (*Anexo IV, Resumen Logueos Geológicos, Programa Perforación 2009*).

LITOLOGIA		UNIDADES		ABREVIATURAS		MINERALOGIA	
<b>And</b>	Andesita	<b>And</b>	Andesita	<b>Cl / Bi</b>	Clorita sobre Biotita	<b>Py</b>	Pirita
<b>AndBx</b>	Andesita Brechada	<b>AndBx</b>	Andesita Brechada	<b>Alt</b>	Alteracion	<b>Cp</b>	Calcopirita
<b>AndTuff</b>	Andesita Tuff	<b>P0</b>	Pórfido diorítico	<b>Fx</b>	Falla	<b>Bn</b>	Bornita
<b>Dio</b>	Porfido diorítico	<b>P1</b>	Pórfido diorítico	<b>ZFx</b>	Zona de Falla	<b>Mb</b>	Molibdenita
<b>Bx</b>	Brecha Hidromagm.	<b>P2</b>	Pórfido diorítico	<b>Fc</b>	Fractura/do	<b>Cc</b>	Calcosina
<b>BxT</b>	Brecha Tectónica	<b>P4</b>	Pórfido diorítico post-mineral	<b>TexRelic</b>	Textura Relictica	<b>Cv</b>	Covelina
<b>Bas</b>	Basamento	<b>Bx1</b>	Brecha oeste	<b>vn</b>	Vetilla	<b>Gn</b>	Galena
<b>?</b>	Indiferenciado	<b>Bx2</b>	Brecha central	<b>dis</b>	Diseminado	<b>Sp</b>	Esfarelita
<b>Relleno</b>	Relleno Aluvial	<b>Bx3</b>	Brecha este	<b>pri</b>	Primario	<b>Mt</b>	Magnetita
COLOR		ALTERACION		<b>sec</b>	Secundario	<b>Spt</b>	Especularita
<b>am</b>	Amarillo	<b>K</b>	Feldespató potásico	<b>fenos</b>	Fenocristales	<b>Mq</b>	Malaquita
<b>ag</b>	Negro	<b>Bio</b>	Biotización. Bi secundaria	<b>&gt;&gt;</b>	Mucho mayor	<b>Lm</b>	Limonita
<b>bo</b>	Blanco	<b>Mag</b>	Cuarzo + Magnetita	<b>cto</b>	Contacto	<b>Gt</b>	Goethita
<b>rs</b>	Rosado	<b>ADF</b>	Destructiva Feldespató:Fil+Arg inter.	<b>perv</b>	Pervasivo	<b>Hm</b>	Hematita
<b>cr</b>	Crema	<b>Chl</b>	Cloritización	<b>Sulf</b>	Sulfuros	<b>Jr</b>	Jarosita
<b>gr</b>	Gris	<b>Sil</b>	Silificación	<b>Spg</b>	Supérgeno	<b>Qz</b>	Cuarzo
<b>vd</b>	Verde	<b>Pr</b>	Epidoto +Clorita	<b>frg</b>	Fragmentos	<b>Ser</b>	Sericita
<b>mr</b>	Marrón	<b>Arg</b>	Argilica por falla	<b>tr</b>	Traza	<b>Fk</b>	Feldespató potásico
<b>ro</b>	Rojo	<b>Arg av</b>	Argilica avanzada	<b>&gt;</b>	más de	<b>Bi</b>	Biotita
<b>gr-vd</b>	gris verdoso	<b>Fres</b>	Roca fresca	<b>&lt;</b>	menos de	<b>Pl</b>	Plagioclasa
<b>gr-mr</b>	gris amarronado	<b>Spg</b>	Supérgeno	MINERALIZACION		<b>Hb</b>	Hornblenda
<b>gr-rs</b>	gris rosado	INTENSIDAD		<b>V</b>	Vetillas	<b>Px</b>	Piroxeno
TONALIDAD		<b>Int</b>	Intensa o pervasiva:afecta toda la roca. No se observa textura.	<b>D</b>	Diseminado	<b>Cl</b>	Clorita
<b>dx</b>	Oscuro	<b>Stg</b>	Fuerte:pervasiva pero se observa relictos de textura.	<b>V&amp;D</b>	Vetillas y Diseminado	<b>Ep</b>	Epidoto
<b>md</b>	Medio	<b>Mod</b>	Moderada: afecta la matrix pero puede no afectar los fenos	<b>V&amp;&gt;&gt;D</b>	Vetillas y >>Diseminado	<b>Cal</b>	Calcita
<b>lt</b>	Claro	<b>Wk</b>	Escasa o débil	<b>Vcp</b>	Vetilla Capilar	<b>Gy</b>	Yeso
<b>bd</b>	Bandeado	<b>Wk-Mod</b>	Débil a moderada	MAGNETITA		<b>Anh</b>	Anhidrita
<b>md-dx</b>	medio oscuro	<b>Mod-Stg</b>	Moderada a fuerte	<b>V</b>	Vetillas	<b>Cb</b>	Carbonato
<b>md-lt</b>	medio claro			<b>D</b>	Diseminado	<b>Cy</b>	Arcilla
				<b>V&amp;D</b>	Vetillas y diseminado		
				<b>V&amp;&gt;&gt;D</b>	Vetillas y >>Diseminado		
				<b>Vmsv</b>	Vetilla masiva		
				<b>Vmsv&amp;D</b>	Vetilla masiva y diseminado		

Tabla 8-2: Abreviaturas utilizadas en el logueo y en las interpretaciones geológicas.

Litología	Nomenclatura	Código Numérico	Comentarios
Relleno	Relleno	60	Cobertura/Relleno
Diorita P0	P0	20	Se considera la roca de caja
Diorita P1	P1	21	Intrusivo mineralizado
Diorita P2	P2	22	Intrusivo mineralizado
Diorita P4	P4	30	Intrusivo estéril tardío
Brechas	Bx	Bx1=40 Bx2=41 Bx3=42	Tres Unidades de Brechas en forma de "fajas" mineralizadas: Oeste, Central y Este respectivamente
Nivel de Oxidación	Oxidación	0=Relleno; 1=Oxidado; 2=No Oxidado	La oxidación se define por la presencia de óxidos de Fe.
Alteración	Nomenclatura	Código Numérico	Comentarios
Fresco	Roca "Fresca"	91	Sin evidencia de alteración
Arg	Argílica por Falla	92	Argílica. Comprende los sectores de falla principales donde predomina arcilla±yeso±carbonato.
Epidota-Clorita	Epidota-Clorita	93	Epidota-Clorita
Arg-Sílice-Pirita + Clorita-Sericita-Pirita	ADF	94	Alteración destructiva de feldespatos: Filica +Argílica intermedia.
Potásica débil-Filica + Potásica moderada-Sílice + Potásica Débil + Sílice-Pirita	Potásica	95	Alteración Potásica. Comprende todos los tipos de alteración potásica logueados. Es posible que una subdivisión en el futuro permita mejor definición de controles de mineralización.
Mag	Qz-Magnetita	96	Cuarzo-Magnetita. Casi no existe en el proyecto, restringida en el intrusivo P2, sector central del depósito.
Sil	Silicificación	97	Escasa presencia en el proyecto, agrupada con la Potásica.
Arg Av	Argílica Avanzada	98	Argílica Avanzada

Tabla 8-3: Códigos de litología, alteración y mineralización, usados en el logeo y base de datos.

## 8.2 Estructura

El área BED presenta un sistema estructural con dos familias principales de fracturas asociadas a lineamientos regionales, una en sentido NO-SE y su conjugada de sentido NE-SO, también existen estructuras menores de orientación E-O y N-S. Las fallas de orientación NO-SE se encuentran en un rango comprendido entre 320° a 350°, mientras que las de orientación NE-SO presentan valores entre 50° a 60°. La inclinación general del fallamiento en el área se encuentra entre los 68° a 80°. Los rellenos presentes en las fracturas son espesor variable, con un predominio de minerales como yeso, arcillas y carbonatos, también roca disgregada y formación de brechas.

Las estructuras con orientación NO-SE condicionan las tres quebradas mayores presentes en el depósito, y poseen longitudes de 200 a 550 m y anchos entre 6 a 17 m. Las

estructuras de orientación NE-SO condicionan quebradas secundarias correspondientes a la red de drenaje y el emplazamiento de algunos cuerpos litológicos tales como el intrusivo diorítico P1 y los diques post-minerales P4. Las brechas definidas como ígneas o intrusivas presentan un fuerte control estructural; donde la Bx1 tiene una tendencia general NNO-SSE, evidenciando un control por parte de estructuras de orientación N-S, mientras que Bx2 y Bx3 están controladas por lineamientos principalmente NE-SO.

En el logueo de muestras testigos, no se han interpretado en detalle estructuras mayores que indiquen importantes desplazamientos de las zonas de alteración-mineralización. La mayoría de ellas presentan un relleno de arcilla+carbonato, y en algunos sectores arcilla + yeso. El *stock* principal de intrusivos dioríticos y el halo de alteración asociado, están elongados en dirección NE-SO. En dirección transversal a esta dirección (NO-SE), se emplazan tres fajas de brechas, posteriores a los diques dioríticos post-minerales P4.

Siguiendo los conceptos de mapeo litológico y alteración de Meldrum (2000), los de Corbett y Leach (1997), donde los sectores dilatacionales (p.e. jog, splay), son producidos por fallas de rumbo en convergencia oblicua (Fig. 8-1) y los de Urreiztieta *et al.*, 1996 y Sasso, 1997; se interpreta para este trabajo etapas de dilatación asociado a fallas de rumbo, que serían favorables para que se produzcan en estos sectores, un adelgazamiento de la corteza terrestre permitiendo así la intrusión de los pórfidos, como en este caso en la dirección NE-SO.

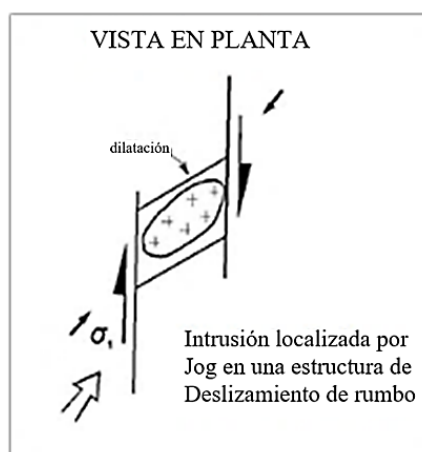


Figura 8-1: Mecanismos para desarrollo de fracturas. Emplazamiento de intrusión, convergencia oblicua (modificado de Corbett y Leach, 1997).

### 8.3 Litología

Las rocas de caja del pórfido BED corresponden a una secuencia compleja de unidades del CVFN y consisten en intercalaciones de brechas andesíticas (monolíticas y heterolíticas), flujos autobrechados, tobas soldadas, conglomerados volcánicos, diques masivos oscuros y flujos masivos, menos comunes, que varían en composición de andesíticos a basálticos.

La descripción y la interpretación de las muestras de diferentes afloramientos y de los sondeos DDH de las unidades litológicas, están basadas en el mapeo realizado por Meldrum (2000); estableciendo una correspondencia con la secuencia temporal de intrusivos presentes en Bajo de la Alumbraera, mapeadas por Proffett (1997).

La siguiente referencia (Tabla 8-4), presenta las unidades litológicas y sus equivalencias.


















<b>Meldrum (2000)</b>	<b>Bruna Novillo (2009)</b>
<b>Post Mineral</b>	
 Cubierta de grava	 Cubierta de grava
 Dique cuarzo-diorita	 Dique cuarzo-diorita
 Dique melanocrático pórfido feldespático	 Brechas ígneas o intrusivas mineralizadas (Bx1, Bx2, Bx3)
	 Dique post-mineral (P4)
<b>Mineral</b>	
 Diques afaníticos	 Diques afaníticos
 Pórfido feldespático (P2)	 Pórfido diorítico (P2)
 Pórfido feldespático (P1)	 Pórfido diorítico (P1)
<b>Pre Mineral</b>	
 Diques dioríticos	 Diques dioríticos
 Diorita	 Pórfido diorítico (P0)

Tabla 8-4: Referencias que presentan las asociaciones minerales, y sus equivalencias de litologías interpretadas en secciones (adaptado y modificado por Bruna Novillo, 2009).

La descripción de los diferentes intrusivos considerados en el trabajo como dioríticos, está basada en observaciones macroscópicas y microscópicas de muestras de afloramientos y de testigos de diamantina. La relativa secuencia de intrusivos puede ser inferida a través de contactos observados e interpretados a través de cambios texturales, truncamiento de vetillas, xenolitos y bordes de reacción y enfriamiento. Los contactos interpretados, son pocos claros, sutiles, complejos e irregulares, observándose escasos xenolitos y truncamientos de vetillas (Fig. 8-2).

Estas observaciones permiten inferir que los intrusivos son de composiciones y características similares y se encontraban en un estado dúctil-frágil cuando fueron intruidos. Los contactos de los diques dioríticos P4, considerados como post-minerales tipo pórfido, melanocráticos, de grano fino y poco fracturados, a veces se presentan algo más netos, lo que permitiría inferir que el estado de las rocas que intruyeron podría haber sido algo más frágil.

La petrografía fue realizada sobre rocas obtenidas de sondeos de diamantina, principalmente sobre aquellas identificadas macroscópicamente como dioritas y brechas, que en su mayoría presentan una importante alteración producida por fluidos hidrotermales (*Anexo III, Descripciones Petrográficas y Calcográficas*).

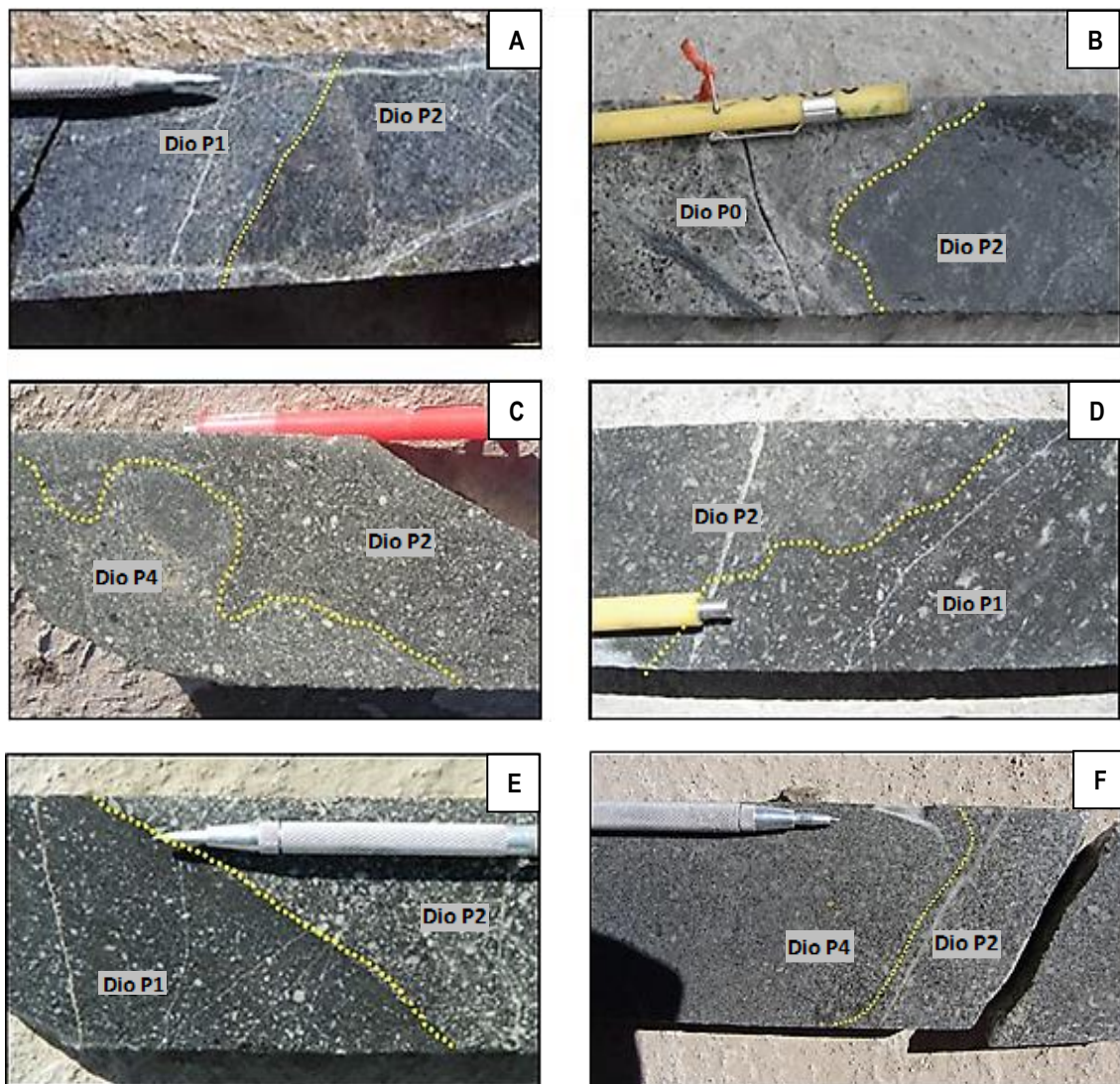


Figura 8-2: Fotografías de ½ testigos diámetro HQ, de diferentes contactos litológicos.

- A.** Contacto neto entre P1 y P2, variación textural y de alteración (sondeo 48.4-53.3, 241,95 m).
- B.** Contacto neto entre P0/P2, variación textural y de alteración (sondeo 42.1-41.0, 260,30 m).
- C.** Contacto neto entre P4 y P2, variación textural, mineralógica, de alteración y bordes de reacción y de alteración (sondeo 50.0-44.3, 44,00 m).
- D.** Contacto neto entre P2 y P1, variación textural, mineralógica y de alteración (sondeo 46.0-42.4, 143,80 m).
- E.** Contacto neto entre P1 y P2, variación textural, mineralógica, y de alteración (sondeo 49.0-48.2, 30,85 m).
- F.** Contacto neto entre P4 y P2, variación textural, mineralógica, de alteración y bordes de reacción y de alteración (sondeo 50.0-44.3, 132,00 m).



Se prepararon 19 cortes delgados pulidos, y algunas secciones pulidas estándar de control, de 12 muestras seleccionadas como representativas, procedentes de testigos de rocas, pertenecientes al proyecto BED y distribuidas en las diferentes unidades litológicas (Tabla 8.5 y Fig. 8-3). Las muestras se procesaron en el Laboratorio de Cortes Delgados del Departamento de Geología de la Universidad Nacional de San Luis.

<b>MUESTRAS DDH - SECCIONES DELGADAS Y PULIDAS</b>				
<b>#</b>	<b>Sondeo</b>	<b>Litología</b>	<b>Unidad</b>	<b>Metros</b>
1	47.0-42.3	Intrusivo	P0	81,70
2	42.0-41.0	Intrusivo	P0	84,00
3	51.0-55.3	Intrusivo	P1	311,10
4	51.0-44.2	Intrusivo	P1	320,45
5	47.1-51.3	Intrusivo	P2	81,00
6	41.0-51.2	Intrusivo	P2	237,80
7	50.0-44.2	Brecha	Bx1	80,50
8	48.4-53.3	Brecha	Bx1	404,00
9	44.0-51.2	Brecha	Bx2	16,70
10	44.3-42.3	Brecha	Bx2	329,00
11	46.0-41.2	Brecha	Bx3	61,00
12	50.0-44.3	Brecha	Bx3	370,00

Tabla 8-5: Muestras de testigos de rocas con cortes delgados y secciones pulidas estándar.

Una serie de *stocks* porfiríticos intruyen en el área de BED en tres diferentes pulsos: pre-mineralización (P0), sin-mineralización (P1 y P2) y post-mineralización (P4). Cabe destacar que no se usó el nombre de P3 para el pórfido post-mineralización sino P4, a fin de que hubiera cierta correlación de nomenclatura con las unidades de BLA (P3 de BLA está mineralizado y P4 es estéril). Esta decisión se tomó en las etapas iniciales del estudio, dado que el material se procesaría en la planta de MAA y no se deseaba introducir fuentes de error con nomenclaturas similares pero esencialmente diferentes. Eventos de alteración potásica, formación de *stockwork* de vetillas de cuarzo, brechas ígneas o intrusivas y mineralización de Au-Cu, están estrechamente relacionados con las diferentes etapas de esta actividad ígnea. A continuación se describen las diferentes litologías presentes en el área de estudio.

### **8.3.1 Interpretación Litológica y Descripción de la Sección 50**

Se creó una grilla N 340° E, transversal al programa de perforación N 70° E, para definir los nombres reales de los pozos entre las intersecciones de ambas, siguiendo el procedimiento utilizado en la mina BLA. Las primeras grillas planteadas en este proyecto fueron N-S (cada 25 m) y E-O (cada 25 m). Luego, según criterios geológicos basados en el rumbo de las fajas mineralizadas, se decidió generar una grilla perpendicular a dichas fajas la cual posee rumbo N 70° E (cada 30 m). A partir de esta grilla se definieron los pozos de las diferentes campañas de perforaciones.

La interpretación geológica inicial consideró como base el mapeo de detalle de litología en superficie (Fig. 8-3) realizado por Meldrum (2000). Con el progresivo aumento de la información geológica en profundidad y al desarrollarse las sucesivas campañas exploratorias, los datos de los sondeos fueron tomando mayor relevancia en la interpretación, aunque se trabajó conciliando los datos de superficie y subsuelo.

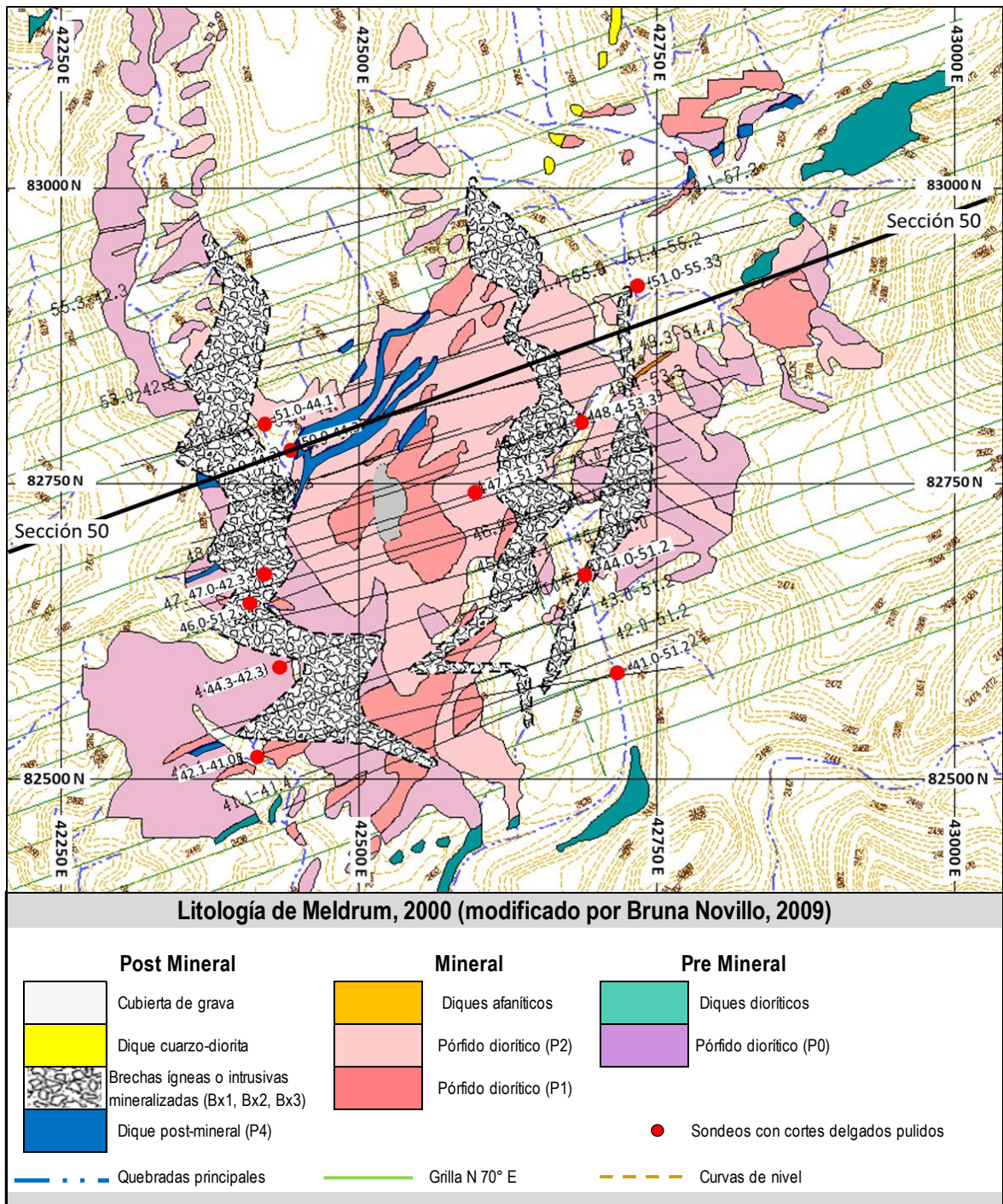


Figura 8-3: Plano litológico según Meldrum 2000, modificado y generado en *MineSight 3D*. Sección 50 según grilla N 70° E.

Se seleccionó como sección tipo a la sección 50 según la dirección de la grilla N 70° E, debido a que pasa por la parte central del proyecto y es representativa del mismo.

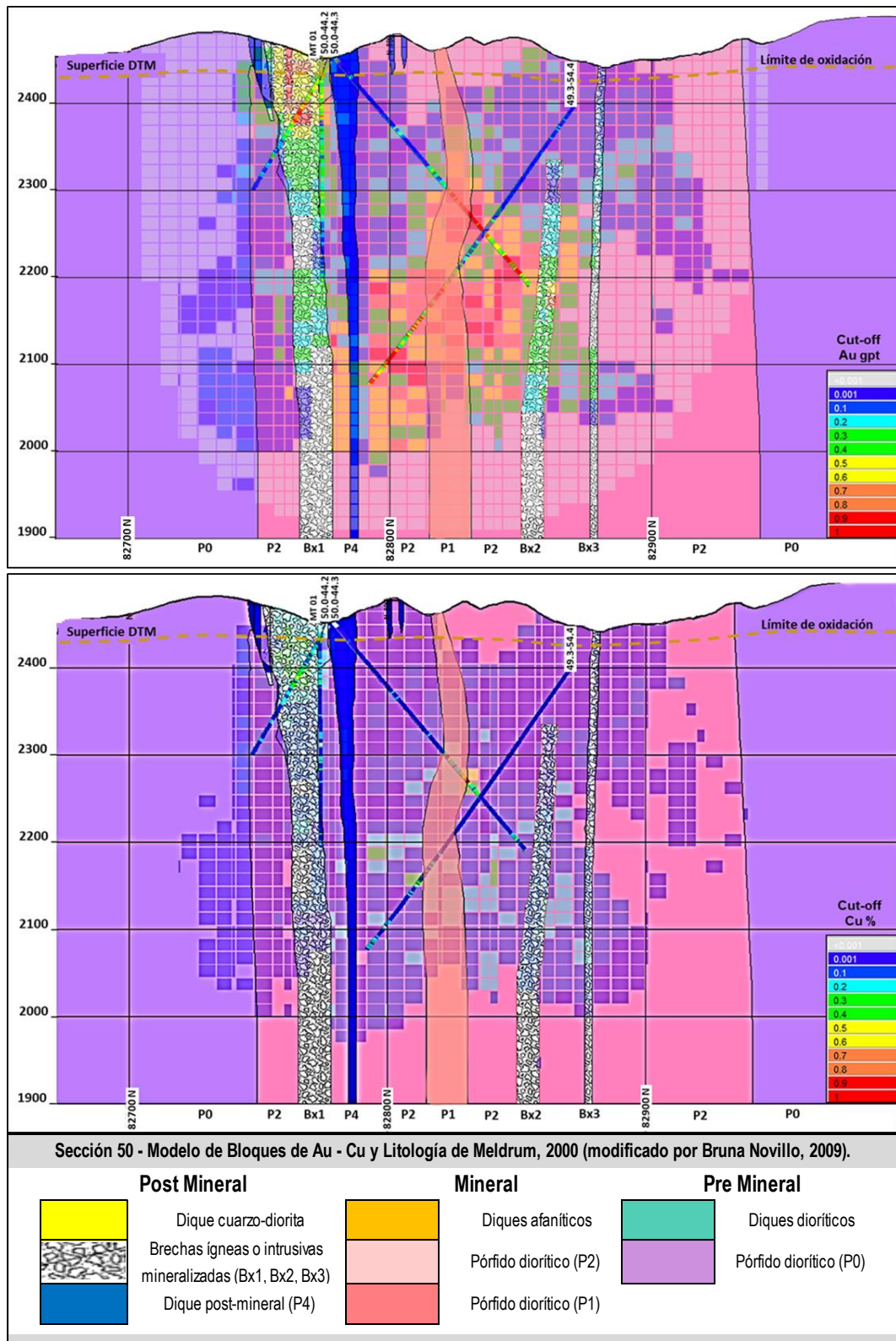


Figura 8-4: Sección 50, según grilla N 70° E, con sólidos de litología interpretada, sondeos con leyes y modelo de bloques de leyes de Au (gpt) y Cu (%), en formato “grade shell” generado en *MineSight 3D*.

En esta sección, se observan las interpretaciones litológicas a partir del logeo geológico y datos de superficie a través de la topografía original, sondeos con leyes y los modelos de bloques de leyes de Au gpt y Cu % en formato “*grade shell*” superpuesto (Fig. 8-4). La litología de los bordes y la roca de caja de los intrusivos es la diorita P0 que se considera la roca más antigua de la secuencia de intrusivos, no está cortada por sondeos en esta sección, por lo que su interpretación es a través de datos de mapeo y correlación con secciones adyacentes, donde si es interceptada por sondeos. Posteriormente se intruye el pórfido diorítico P1, tal como lo determinan los datos de los sondeos 50.0-44.2 y 50.0-44.3 que lo cortan en profundidad; esta roca presenta en esta sección valores anómalos de Au-Cu. Continuando con la secuencia de intrusión, se emplaza el pórfido diorítico P2 siendo la roca que alcanza mayor distribución areal. La misma es interceptada en profundidad por todos los sondeos de la sección (50.0-44.2, 50.0-44.3, 49.3-54.4 y MT01), mostrando valores interesantes de Au en el sondeo MT01 y en la segunda mitad del sondeo 49.3-54.4. Como fase de intrusión final, se produce el emplazamiento de los delgados diques dioríticos P4, atravesados por el sondeo 50.0-44.3, estos diques son considerados post-mineralización tipo pórfido, y no presentan mineralización. Posterior a toda la secuencia de intrusivos, se emplazan las brechas Bx1, Bx2 y Bx3, clasificadas como ígneas o intrusivas; se trata de brechas heterolíticas con fragmentos de andesita, P0, P1, P2 y P4, lo que constituye la evidencia geológica de que son posteriores a todas esas unidades. La brecha Bx1 es cortada en profundidad por los sondeos 50.0-44.2 y MT01 donde muestran buenas anomalías de Au, las brechas Bx2 y Bx3 no son interceptadas por los sondeos en esta sección, y su posición se infiere por la relación de secciones adyacentes donde sí son atravesadas.

Los afloramientos correspondientes al pórfido P1 están elongados en la dirección NE-SO, como así también un conjunto de diques dioríticos previos a este pórfido, ubicados en el sector este del proyecto. Luego se produjo una rotación del sistema local de esfuerzos actuantes, lo cual produjo que la intrusión del pórfido P2 estuviera principalmente controlada por estructuras NO-SE, teniendo los afloramientos una elongación según esa dirección. Posteriormente se produjo la intrusión de un sistema de diques tardíos P4, nuevamente con un control estructural NE-SO.

### 8.3.2 Pórfido Diorítico Pre-Mineralización (P0)

Es el intrusivo porfírico más antiguo en BED y es la roca de caja de los intrusivos dioríticos P1 y P2. Se caracteriza por presentar una textura holocristalina porfírica, con fenocristales de plagioclasa (15 a 35%), biotita (3 a 10%) y minerales opacos (5 a 10%), en una matriz (50 a 70%) predominantemente equigranular de grano fino, oscura y en ocasiones fluidal, compuesta principalmente por cuarzo y en sectores por biotita secundaria de grano fino. Los fenocristales de plagioclasa tienen hábito tabular, su forma varía de euhedral a subhedral, con bordes corroídos y parcialmente alterados a sericita. Los fenocristales de biotita primaria tabular se observan de manera escasa, en su mayoría se encuentran reemplazados por agregados de láminas de biotita secundaria, en algunos sectores por clorita. Los minerales opacos (principalmente magnetita-hematita, calcopirita y piritita) tienen formas subhedral a anhedral y se encuentran diseminados en la matriz, en contacto con la biotita secundaria. También se encuentran minerales opacos en vetillas con cuarzo anhedral y biotita secundaria de grano fino (Figs. 8-5 y 8-6; Tabla 8-6).



Figura 8-5: Fotografías de muestras de mano *in situ*, en las que se observan características texturales, mineralógicas y de las diferentes zonas de alteración que afectan al intrusivo diorítico P0, interpretado y descrito en la tabla 8-6.

Diorita P0			
DESCRIPCION	A	B	C
<b>Minerales Primarios</b>	Fenocristales de Pl subhedral (15-35%), Bi (5-10%) y opacos (5-10%).	Fenocristales de Pl subhedral (15-30%), Bi (3-5%) y opacos (5-10%).	Fenocristales de Pl subhedral (15-20%), Bi (3-5%) y opacos (5-10%).
<b>Matriz</b>	Fina y oscura (40%).	Fina y oscura (60%).	Fina, fluidal (Mt+Bi) y oscura (70%).
<b>Minerales Secundarios</b>	Tr de Bi <i>shreddy</i> y Mt/mafitos (1-2%).	Bi <i>shreddy</i> y Mt (15-20%). Mt/mafitos dis y en Vcp fina (3-5%). Tr Cp/Mt dis.	Mt dis y en Vcp (3-5%).
<b>Alteración Principal</b>	Alt K wk con tr Fk/matriz, Bi-Mt/mafitos.	Alt K mod-stg con Bi-Mt/mafitos y Mt en vcp.	Alt K mod-stg con Bi-Mt/mafitos dis y Mt en vcp, Fk/matriz parcial.
<b>Alteración Secundaria</b>	Alt ADF wk con Cy/Pl, Ser-Cl/mafitos y Alt Spg wk con Lm-Cy/Pl.	Alt ADF mod con Ser-Cl/mafitos y Qz-Ser/matriz y Alt Spg wk con Lm-Cy/Pl y Vcp Hm-Lm/Mt.	Alt ADF wk-mod con Cl/mafitos y Cy/Pl parcial y Alt Spg wk con tr Lm-Cy/Pl y Hm/Mt.
<b>Abreviaturas:</b> Plagioclasa (Pl); Biotita (Bi); Hornblenda (Hb); Magnetita (Mt); Feldespato potásico (Fk); Sericita (Ser); Clorita (Cl); Limonita (Lm); Hematita (Hm); Arcilla (Cy); Calcopirita (Cp); Yeso (Gy); Anhidrita (Anh); Alteración Potásica (Alt K); Alteración Destructiva de Feldespatos (ADF); escasa (wk); moderada (mod); fuerte (stg); diseminada (dis); vetillas capilares (vcp); traza (tr)			

Tabla 8-6: Descripción petrológica del intrusivo diorítico P0.

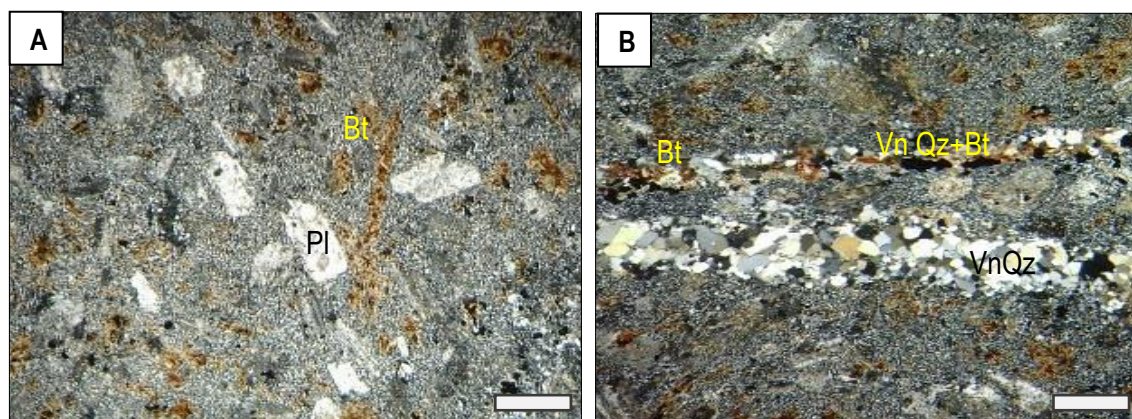


Figura 8-6: Fotomicrografías (n x) de secciones delgadas de muestras pertenecientes a P0. A)

Textura porfírica. Fenocristales de plagioclasa (Pl) con leve alteración a sericita, biotita secundaria (Bt), minerales opacos diseminados en matriz de grano fino. B) Vetillas de cuarzo (Vn Qz) y biotita secundaria (Vn Qz+Bt) con minerales opacos. Barra de escala: 0,5 mm.

### 8.3.3 Pórfidos Dioríticos Sin-Mineralización (P1 y P2)

Forman un *stock* porfídico compuesto por dos fases (P1 y P2) de similar composición y sutiles diferencias texturales. En muchos casos, la distinción a veces parece ser principalmente un reflejo de los efectos de alteración, pero características granométricas y la matriz son las principales determinantes en la distinción entre ambas fases. El intrusivo P1 es generalmente de grano fino, melanocrático y fue emplazado antes que la fase de grano más grueso representada por el pórfido P2. Sin embargo, existen variaciones en el tamaño de grano como puede observarse en las fotografías de muestras de mano recolectadas *in situ*. La presencia de escasos xenolitos confirma esta interpretación.

El intrusivo P1 presenta una textura holocristalina porfírica con abundantes fenocristales de plagioclasa y en menor proporción de biotita. Los fenocristales de plagioclasa (15 a 35%) presentan zonación, su forma varía de euhedral a subhedral, se encuentran fracturados y levemente sericitizados. Los fenocristales de biotita (1 a 3%) poseen forma subhedral y presentan escasa alteración. Los fenocristales de hornblenda *s. l.* (1 a 3%) presentan forma euhedral y se ven alterados en sus bordes por biotita secundaria. Se observaron algunos fenocristales muy alterados a biotita que se reconocen que fueron originalmente hornblenda *s. l.* por sus secciones basales.

La matriz (60 a 70%) del pórfido P1 es equigranular de grano fino y oscura (Mag), compuesta por cuarzo y en menor medida por parches de biotita secundaria. Los minerales opacos se encuentran diseminados en la matriz y presentan formas subhedrales; también se presentan vetillas de cuarzo cortadas por otras continuas de minerales opacos que presentan un borde sericítico (Figs. 8-7 y 8-8; Tabla 8-7).



Figura 8-7: Fotografías de muestras de mano *in situ*, en las que se observan características texturales, mineralógicas y de las diferentes zonas de alteración que afectan al intrusivo diorítico P1, interpretado y descrito en la tabla 8-7.



Diorita P1			
DESCRIPCION	A	B	C
<b>Minerales Primarios</b>	Fenocristales de Pl euهدral a subهدral (15-30%), Bi-Hb (1-3%).	Fenocristales de Pl euهدral a subهدral (20-35%), Bi-Hb (1-3%).	Fenocristales de Pl euهدral a subهدral (15-30%), Bi-Hb (1-3%).
<b>Matriz</b>	Fina, afanítica y oscura (70%).	Fina y oscura (Sil+Mt) (60%).	Fina y oscura (70%).
<b>Minerales Secundarios</b>	Tr de Bi <i>shreddy</i> (1-3%) y Mt/mafitos dis fina y parches (2%).	Bi <i>shreddy</i> y Mt (1-3%). Mt/mafitos dis. Tr Cp/Mt dis.	Bi <i>shreddy</i> , Mt/mafitos dis y en Vcp (3%).
<b>Alteración Principal</b>	Alt K mod con tr Fk/matriz, Bi-Mt/mafitos.	Alt K mod con Fk/Pl, Pl recristalizadas, Bi-Mt/mafitos dis y Mt en vcp.	Alt K mod con Fk/Pl parcial, Bi-Mt/mafitos dis y Mt en Vcp.
<b>Alteración Secundaria</b>	Alt ADF wk con Ser/mafitos y Alt Spg wk con Lm/Bi.	Alt ADF wk con Ser-Cl/mafitos.	Alt ADF wk con Ser-Cl/mafitos y Alt Spg wk con tr Lm/Pl y Hm/Mt.

**Abreviaturas:** Plagioclasa (Pl); Biotita (Bi); Hornblenda (Hb); Magnetita (Mt); Feldespato potásico (Fk); Sericita (Ser); Clorita (Cl); Limonita (Lm); Hematita (Hm); Arcilla (Cy); Calcopirita (Cp); Yeso (Gy); Anhidrita (Anh); Alteración Potásica (Alt K); Alteración Destructiva de Feldespatos (ADF); escasa (wk); moderada (mod); fuerte (stg); diseminada (dis); vetillas capilares (vcp); traza (tr)

Tabla 8-7: Descripción petrológica del intrusivo diorítico P1.

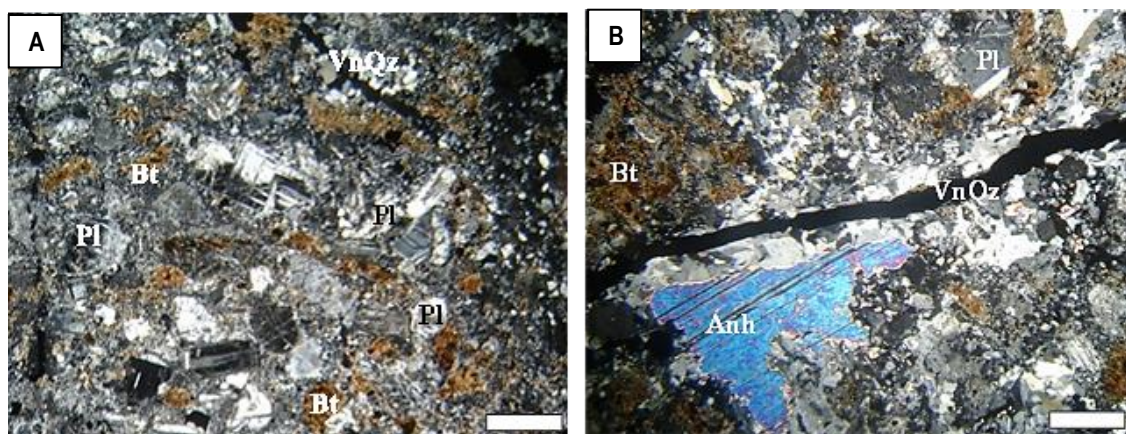


Figura 8-8: Fotomicrografías (n x) de secciones delgadas de muestras pertenecientes a P1. A) Textura porfírica. Fenocristales de plagioclasa (Pl) levemente sericitizados. Biotita secundaria (Bt) en parches en matriz de grano fino. B) Minerales opacos en vetilla de cuarzo secundario (VnQz). Barra de escala: 0,5 mm.

El intrusivo P2 presenta textura holocristalina porfírica con fenocristales de plagioclasa (30 a 45%) y biotita (1 a 5%), y de modo subordinado fenocristales de hornblenda *s. l.* en una matriz de grano fino a medio (40%). Los fenocristales de plagioclasa presentan forma anhedral, se encuentran fracturados, con bordes difusos y reemplazados por sericita, algunos de ellos están zonados y sus núcleos son los que se encuentran alterados a sericita. Se observan escasos fenocristales de hornblenda *s. l.* que presentan formas euهدrales a subهدrales, algunos de ellos están alterados a biotita secundaria. Los fenocristales de biotita primaria se encuentran parcialmente alterados a biotita secundaria, especialmente en los bordes. Los minerales opacos, de forma anhedral y tamaño de grano medio, se encuentran diseminados en la matriz y, en menor proporción, se encuentran

también asociados a vetillas de cuarzo. La matriz es inequigranular, compuesta de cuarzo de grano fino a medio, biotita secundaria de grano fino y sericita dispersa (Figs. 8-9 y 8-10; Tabla 8-8).



Figura 8-9: Fotografías de muestras de mano *in situ*, en las que se observan características texturales, mineralógicas y de las diferentes zonas de alteración que afectan al intrusivo diorítico P2, interpretado y descrito en la tabla 8-8.

Diorita P2			
DESCRIPCION	A	B	C
<b>Minerales Primarios</b>	Fenocristales de Pl subhedral (30-45%), Bi (3-5%) y Hb (1%).	Fenocristales de Pl subhedral(30-45%), Bi (3-5%) y Hb (1%).	Fenocristales de Pl subhedral (30-40%), Bi (1-3%) y Hb (1%).
<b>Matriz</b>	Fina (40%).	Fina (40%).	Fina (40%).
<b>Minerales Secundarios</b>	Tr de Bi (1-3%) y Mt/mafitos.	Bi <i>shreddy</i> (1-3%) y tr Mt/mafitos dis fina. Tr Cp/Mt.	Bi <i>shreddy</i> (1-3%), tr Mt/mafitos y dis y parches de Mt+Lm+Cl+tr Cp.
<b>Alteración Principal</b>	Alt ADF wk con Ser-Cy/Pl, Cl/Bi.	Alt ADF wk con Ser-tr Cy/Pl y Cl/mafitos.	Alt K mod-stg con Fk/Pl parcial y en matriz, Bi-Mt/mafitos dis y Mt en vcp en parches.
<b>Alteración Secundaria</b>		Alt Spg wk con Lm-Cy/Pl .	Alt ADF wk con Cl/mafitos y Alt Spg wk con Cy-Lm/Pl.
<b>Abreviaturas:</b> Plagioclasa (Pl); Biotita (Bi); Hornblenda (Hb); Magnetita (Mt); Feldespato potásico (Fk); Sericita (Ser); Clorita (Cl); Limonita (Lm); Hematita (Hm); Arcilla (Cy); Calcopirita (Cp); Yeso (Gy); Anhidrita (Anh); Alteración Potásica (Alt K); Alteración Destructiva de Feldespatos (ADF); escasa (wk); moderada (mod); fuerte (stg); diseminada (dis); vetillas capilares (vcp); traza (tr)			

Tabla 8-8: Descripción petrológica del intrusivo diorítico P2.

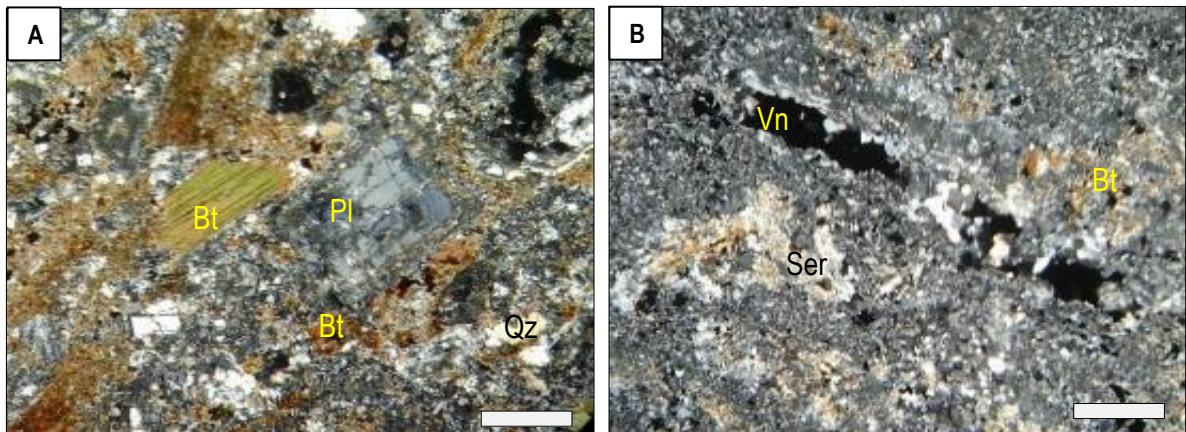


Figura 8-10: Fotomicrografías (n x) de secciones delgadas de muestras pertenecientes a P2. A) Textura porfírica con fenocristales de biotita (Bt) y plagioclasa (Pl), biotita secundaria (Bt), cuarzo anhedral (Qz) y opacos diseminados en matriz de grano fino. B) Vetilla de cuarzo con minerales opacos (Vn). Biotita secundaria y sericita (Ser) dispersas en la matriz. Barra de escala: 0,5 mm.

### 8.3.4 Pórfido Diorítico Post-Mineralización (P4)

Este pórfido está asociado a los diques tardíos estériles, delgados y discontinuos de orientación NE-SO. Corta a los intrusivos P0, P1 y P2, está afectado por una débil alteración fílica, su potencia no supera el metro, pero puede ser seguido por más de 10 metros en longitud y prácticamente no contiene vetillas o mineralización de sulfuros (Fig. 8-11).

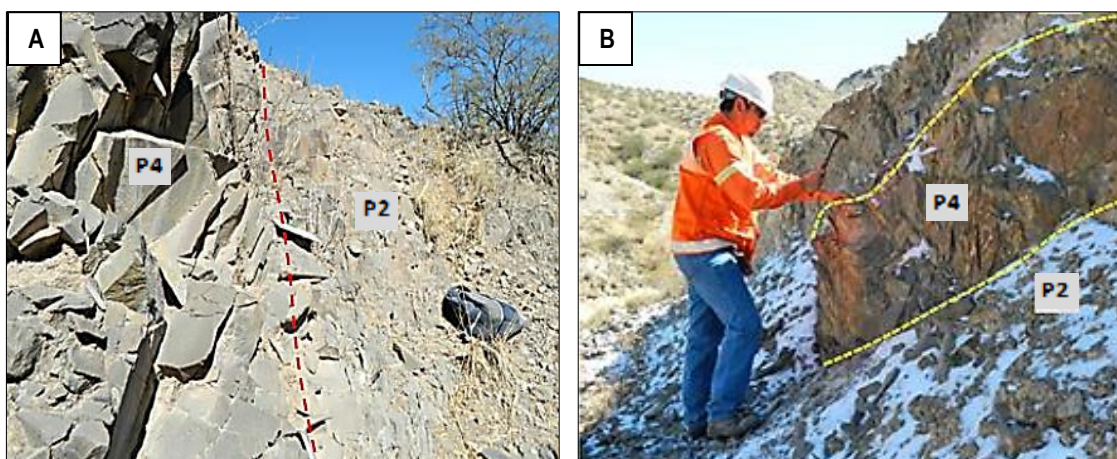


Figura 8-11: A) Relación de contacto entre P4 y P2. B) Resalto topográfico del dique, debido a su mayor dureza frente a la erosión diferencial, matriz de grano muy fino y débil alteración.

La nomenclatura para la denominación en la secuencia intrusiva temporal de P4, se debe a su correlación con los diques estériles y tardíos presentes en BLA. Los fenocristales corresponden a plagioclasa subhedral entre 5 a 10%, biotita y hornblenda entre 5 a 7% que pueden estar ocasionalmente alteradas a clorita y algunos “ojos” anhedrales de cuarzo. La matriz es de grano fino, gris a gris oscuro dependiendo del contenido de magnetita y en ocasiones fluidal (70 a 80%) (Fig. 8-12 y Tabla 8-9).



Figura 8-12: Fotografías de muestras de mano *in situ*, en las que se observan características texturales, mineralógicas y de las diferentes zonas de alteración que afectan al intrusivo diorítico P4, interpretado y descrito en la tabla 8-9.

Diorita P4			
DESCRIPCION	A	B	
<b>Minerales Primarios</b>	Fenocristales de Pl subhedral (5-10%), Bi-Hb (5-7%).	Fenocristales de Pl subhedral (5-10%), Bi-Hb (5-7%).	
<b>Matriz</b>	Fina, fluidal (Cl+Mt) y oscura (80%).	Fina y afanítica (70%).	
<b>Minerales Secundarios</b>	Mt/mafitos y dis fina (1-3%).	Mt/mafitos y dis fina (1-3%).	
<b>Alteración Principal</b>	Alt ADF wk con Cl/Pl, Cl/mafitos y Ser/matriz parcial.	Alt ADF wk con Cl/Pl y Ser-Cl/mafitos.	
<b>Alteración Secundaria</b>	Alt Spg wk con Lm-Cy/Pl y Hm/Mt.	Alt Spg wk con Lm-Cy/Pl y Hm/Mt.	

**Abreviaturas:** Plagioclasa (Pl); Biotita (Bi); Hornblenda (Hb); Magnetita (Mt); Feldespato potásico (Fk); Sericita (Ser); Clorita (Cl); Limonita (Lm); Hematita (Hm); Arcilla (Cy); Calcopirita (Cp); Yeso (Gy); Anhidrita (Anh); Alteración Potásica (Alt K); Alteración Destructiva de Feldespatos (ADF); escasa (wk); moderada (mod); fuerte (stg); disseminada (dis); vetillas capilares (vcp); traza (tr)

Tabla 8-9: Descripción petrológica del intrusivo diorítico P4.

### 8.3.5 Brechas Ígneas o Intrusivas

Se observaron tres tipos de brechas, denominadas Bx1, Bx2 y Bx3, pero esta denominación refleja su posición espacial de oeste a este, y no es indicador de la secuencia temporal de intrusión (Fig. 8-13). Las brechas observadas y descritas son brechas heterolíticas con fragmentos de los intrusivos dioríticos y andesitas.

La inyección de magma en rocas pre-existentes puede producir la fragmentación mecánica de las rocas e incorporación de roca de caja en un magma intrusivo. El magma para los efectos mecánicos es un fluido y si es inyectado a presión produce fracturamiento hidráulico, generando brechas con matriz ígnea.

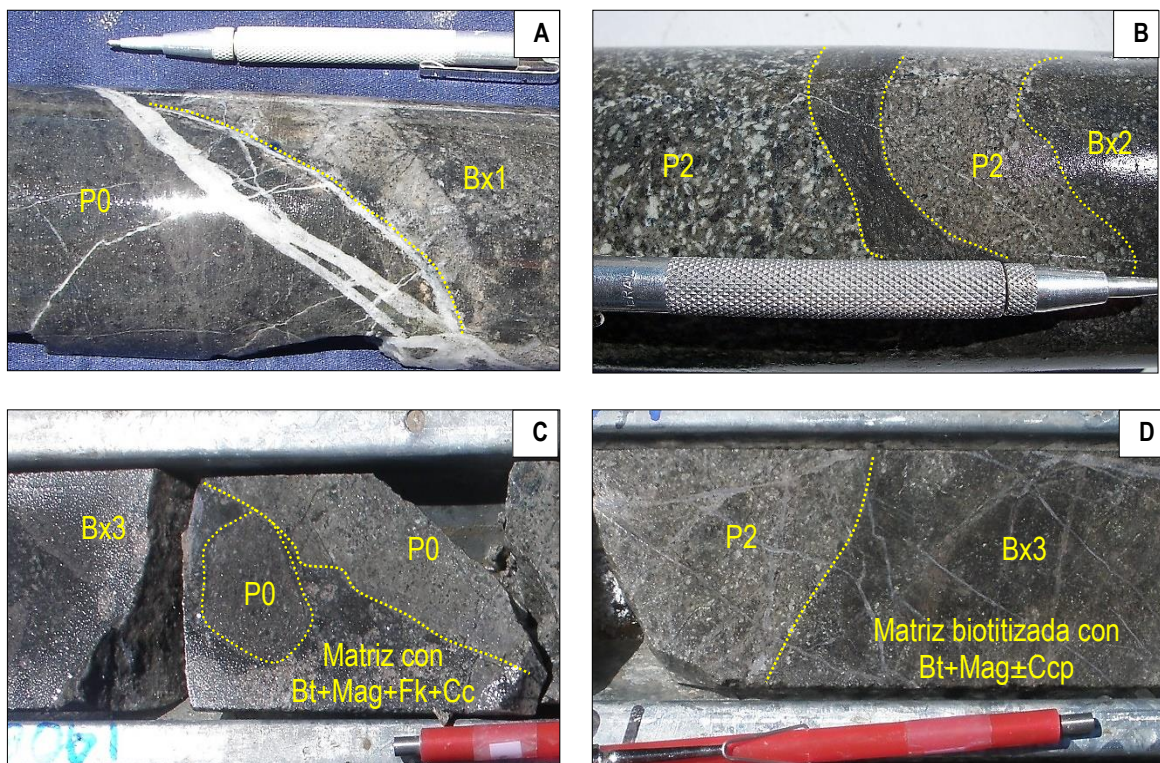


Figura 8-13: Fotografías de testigos diámetro HQ, de las variaciones texturales de las brechas ígneas y los contactos con los distintos pórfidos.

- A.** Contacto neto a 40° entre P0 y Bx1, con vetillas de cuarzo (Qz) and yeso (Gp). Bx1 presenta matriz de roca molida con biotita (Bt)+magnetita (Mag)±calcopirita (Ccp) y fragmentos de P0 y P2 (sondeo 43.0-51.2; 329,00 m).
- B.** Contacto neto entre P2/Bx2, con marcada textural fluidal de la matriz (biotita+ magnetita) de la brecha. Fragmentos redondeados de P2 y de vetillas de cuarzo (sondeo 51.4-55.2; 50,40 m).
- C.** Contacto entre Bx3/P0. En el contacto el P0 también está afectado por brechamiento. Bx3 tiene matriz de biotita+magnetita+feldespato potásico (Fk)+ calcopirita y fragmentos de P0 (sondeo 42.1-41.0; 405,10 m).
- D.** Contacto entre P2/Bx3 con zonas difusas. Bx3 tiene matriz de grano fino con biotita +magnetita±calcopirita. Los fragmentos están enmascarados por biotitización en la Bx (sondeo 47.0-42.3; 497,10 m).

La existencia de estas brechas induce a postular la hipótesis de que la reducida permeabilidad debido al sellado de estructuras del macizo rocoso generó aumentos locales de la presión de

fluidos que dio lugar a este tipo de brechas durante su descompresión, presentando diferentes características según las intercepciones de los sondeos a diferentes profundidades. A mayor profundidad, las brechas presentan una matriz predominante y fluidal, con pequeños fragmentos redondeados producto de una mayor energía y fricción; mientras que a medida que las brechas están más cercanas a la superficie, los fragmentos pasan a ser predominantes y subangulosos con una escasa matriz sin fluidalidad. La importancia de estos cuerpos de brechas de este tipo para la exploración es que contienen fragmentos de pórfidos mejor mineralizados y de mayor profundidad muy por encima del *stock* con mineralización asociado a leyes altas de mineral.

Se puede observar un afloramiento de brecha ígnea o intrusiva aflorante en el sector central del depósito, hacia el NNE del stock principal P2, con dimensiones aproximadas entre 45 x 55 m de espesor (Fig. 8-14). En los sondeos que las interceptan, su espesor es considerable y de dimensiones variables entre  $\geq 10$  y  $\leq 100$  m.



Figura 8-14: Brecha ígnea o intrusiva aflorante ( $\approx 45 \times 55$  m) en el sector central del depósito, hacia el NNE del *stock* principal P2. Contiene clastos de pórfido P1 (grano fino oscuro) y P2 (grano grueso oscuro) y fragmento de cuarzo redondeado.

La definición de brechas ígneas o intrusivas, siguen la clasificación de Sillitoe (1985). Esta clasificación incluye 5 tipos principales de brechas, con algunos subtipos (Tabla 8-10).

<b>CLASIFICACION DE BRECHAS</b>	
<b>Tipo</b>	<b>Sub-tipo</b>
<b>1 BRECHAS MAGMÁTICO - HIDROTERMALES</b>	Chimeneas de brechas Tipo pórfido (cuerpos de brecha asociados a sistemas porfíricos)
<b>2 BRECHAS HIDROMAGMATICAS</b>	Freáticas Depósitos Epitermales Depósitos tipo pórfido Kuroko (sulfuros masivos) Freatomagmáticas Sistemas maar - diatrema Depósitos tipo pórfido y epitermales
<b>3 BRECHAS MAGMATICAS</b>	Diatremas volcánicas Tipo pórfido y otros depósitos. Brechas relacionadas a mineralización
<b>4 BRECHAS INTRUSIVAS</b>	Con matriz intrusiva
<b>5 BRECHAS TECTONICAS</b>	Fracturamiento frágil en fallas

Tabla 8-10: clasificación de los 5 tipos principales de brechas, con algunos subtipos (modificado de Sillitoe, 1985).

Considerando esta clasificación, para la interpretación y descripción de las mismas, se usó la lista propuesta por Taylor y Pollard (1993):

- **Escala de campo**

- El tamaño y la forma del cuerpo brechado (en 3D).
- Las relaciones del cuerpo brechado con la roca de caja.
- La naturaleza del contexto local y regional.

- **Escala de campo y laboratorio**

Investigar la naturaleza de los fragmentos, matriz y su relación con la mineralización. Los fragmentos mayores son esenciales.

a) *Datos de fragmentos:*

- Tamaño, rango de tamaño y frecuencia.
- Forma y variación de la forma.

- Composición y textura.
- Variación de fragmentos. Litología/s. Características principales.

b) *Datos de matriz:*

- Tamaño, rango de tamaño y frecuencia.
- Forma y variación de la forma.
- Composición y textura.
- Proporción de matriz en fragmentos.
- Presencia y ausencia de espacios abiertos.
- Forma y tamaño de los espacios abiertos.

- **Mineralización**

a) *Distinguir texturas de relleno y de reemplazamiento (alteración):*

- Determinar si los espacios abiertos esán total o parcialmente rellenos por minerales.
- Describir la forma y el tamaño de los espacios abierto que no están rellenos.
- Establecer si la mineralización de relleno resulta de la alteración parcial o total de los fragmentos
- Determinar si los diferentes fragmentos están afectados diferencialmente.
- Observar si ha sido reemplazada la matriz

b) *Establecer la paragénesis de la mineralización:*

- Examinar los espacios por relleno secuencial.
- Examinar fragmentos para ver si la mineralización ocurre previamente al brechamiento.
- Determinar si todas las vetillas están cortadas por la brecha.
- Examinar el relleno de vetillas y los efectos de la alteración en matriz y fragmentos.
- Observar si hay fracturamiento hidráulico.

c) *Establecer el tiempo de mineralización en relación al brechamiento:*

- Ver relaciones de material mineralizado, no mineralizado y zonas transicionales.



- Identificar los diferentes eventos de brechamiento.

De acuerdo a la lista de chequeo propuesta, a continuación se presentan las siguientes descripciones interceptadas por los sondeos a diferentes profundidades e interpretadas.

#### **8.3.5.1 Brecha Bx1**

En la brecha denominada Bx1 se observa una matriz fina compuesta por cuarzo secundario anhedral, biotita secundaria y sericita dispersa; se presentan algunos fenocristales relícticos de plagioclasa anhedral fuertemente alterados a sericita, y biotita primaria reemplazada por biotita secundaria. Los minerales opacos presentan forma anhedral, son de tamaño medio y se encuentran diseminados en la matriz. Las vetillas presentes son de cuarzo secundario de grano medio anhedral y contienen minerales opacos de grano medio. Hacia el centro de esta brecha se observan vetillas con biotita secundaria y minerales opacos y otras que contienen anhidrita en contacto con los minerales opacos (Tabla 8-11 y Figs. 8-15, 8-16 y 8-17).

BRECHA Bx1			
DESCRIPCION	SONDEO: 50.0 - 44.2	PROFUNDIDAD: de 10,50 a 114,50m	NIVEL: 2.390m
<b>Contacto</b>	Neto con la roca encajonante, con intercalación de sectores brechados.		
<b>Fragmentos/Matriz</b>	40% de fragmentos / 60% matriz.		
<b>Tamaño Fragmentos</b>	De 0,5 hasta 5 cm, subangulosos.		
<b>Tipos de Fragmentos</b>	P2: con fuerte alteración K y ADF moderada. P0: con moderada-fuerte mineralización. And: con fuerte alteración K y fragmentos mineralizados. Qz: partes de vetillas con magnetita+ calcopirita. P4: con escasa alteración Chl y textura afanítica.		
<b>Matriz</b>	Textura fluidal por sectores con magnetita+biotita secundaria+ menor roca molida. En forma parcial y por sectores, roca molida con fragmentos de 3 mm hasta harina de roca. Alteración y mineralización de color oscuro dado por magnetita+ silicificación+calcopirita diseminada fina, que acentúa la textura fluidal.		
<b>Mineralización</b>	En fragmentos de And y P2, la mineralización es intensa y se presenta diseminada en magnetita y en vetillas capilares. En fragmentos de P0 y de cuarzo es moderada en forma de vetillas capilares y diseminada/magnetita. En fragmentos de P4? (diorita con escasa Chl), la mineralización es escasa en vetillas capilares.		
<b>Paragénesis</b>	Brechamiento, relleno y reemplazo de matriz parcial con relleno de magnetita+biotita+silicificación+ calcopirita, vetilla cuarzo+magnetita+calcopirita+pirita+magnetita/ hematita, vetillas capilares de yeso+traza calcopirita+traza pirita, finaliza con vetillas tipo D de cuarzo+pirita con halo filico.		
<b>Fracturamiento Hidráulico</b>	Escaso en sectores localizados, rellenos con magnetita < 1 mm.		
<b>Observaciones</b>	A 98,10m contacto Bx1/P2. En el intervalo de profundidad entre 98 a 112 m, se observan escasos fragmentos y se pierden los rasgos de flujo. Zona de transición hacia borde de contacto brecha/pórfido.		
DESCRIPCION	SONDEO: 48.4-53.3	PROFUNDIDAD: de 366,00 a 445,00m	NIVEL: 2.150m
<b>Contacto</b>	Neto con la roca encajonante, con intercalación de sectores brechados.		
<b>Fragmentos/Matriz</b>	10% de fragmentos / 90% matriz.		
<b>Tamaño Fragmentos</b>	De 0,5 hasta 3 cm, subredondeados y subangulosos.		
<b>Tipos de Fragmentos</b>	P0: con fuerte alteración K y escasa mineralización. And: con fuerte alteración K y moderada mineralización. P0 y P2?: subredondeados y elongados en el sentido del flujo. Bordes de absorción.		
<b>Matriz</b>	Predominio de textura fluidal. Alteración y mineralización de color oscuro dado por magnetita+silicificación+calcopirita diseminada fina, que acentúa la textura fluidal.		
<b>Mineralización</b>	En fragmentos de P0 y P2?, es escasa y moderada en forma diseminada en magnetita. En And la calcopirita se presenta diseminada y en vetillas capilares. En la matriz se observa principalmente calcopirita diseminada y traza en vetillas capilares.		
<b>Paragénesis</b>	Mineralización, alteración y brechamiento asociado a textura fluidal con magnetita+traza calcopirita, se observan vetillas de cuarzo+pirita+traza calcopirita y vetillas de anhidrita+pirita+traza calcopirita+traza magnetita.		
<b>Fracturamiento Hidráulico</b>	No se observa		
<b>Observaciones</b>	En el intervalo de profundidad entre 408 a 445 m, se observan escasos fragmentos y se pierden los rasgos de flujo. Zona de transición hacia borde de contacto brecha / pórfido.		

Tabla 8-11: Descripción de la brecha ígnea o intrusiva, Bx1.

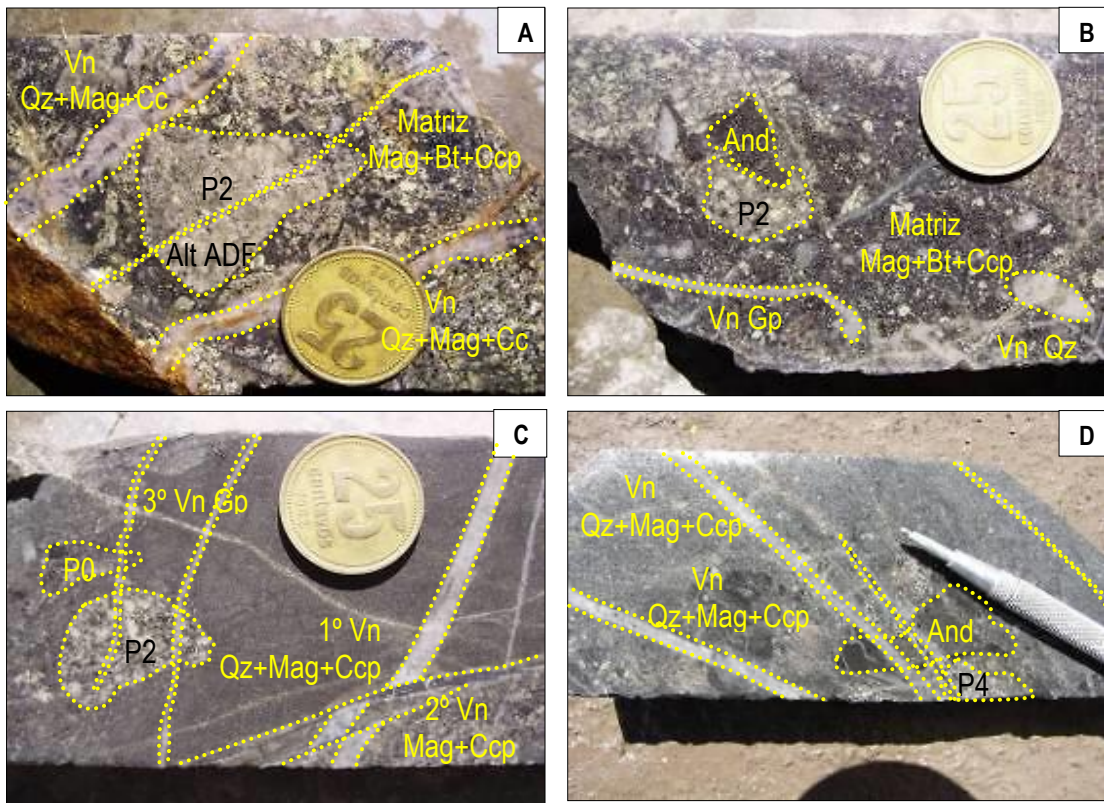


Figura 8-15: Fotografías de testigos diámetro HQ, de las variaciones en profundidad de la brecha ígnea o intrusiva, Bx1.

- A.** Brecha con fragmentos subangulosos de P2 con alteración ADF, cementado con matriz de magnetita (Mag)+biotita (Bt)+calcopirita (Ccp) y vetillas posteriores de cuarzo (Qz)+magnetita+calcopirita (sondeo 50.0-44.2; 34,15 m).
- B.** Brecha con matriz cementada con magnetita+biotita+feldespato potásico (Fk)+ calcopirita, y fragmentos de P0 y P2 y vetillas de cuarzo y vetillas posteriores de yeso (Gp)+pirita (Py) $\pm$ calcopirita (sondeo 50.0-44.2; 79,80 m).
- C.** Brecha con fragmentos de P0 y P2 en matriz con magnetita+biotita+feldespato potásico+calcopirita. Posterior se observan 3 eventos de vetillas: 1° cuarzo+magnetita+calcopirita; 2° magnetita+calcopirita y 3° tardías de yeso (sondeo 50.0-44.2; 87,30 m).
- D.** Brecha con fragmentos de And y P4 cortados por vetillas de cuarzo+magnetita+ calcopirita (sondeo 50.0-44.2; 88,20 m).

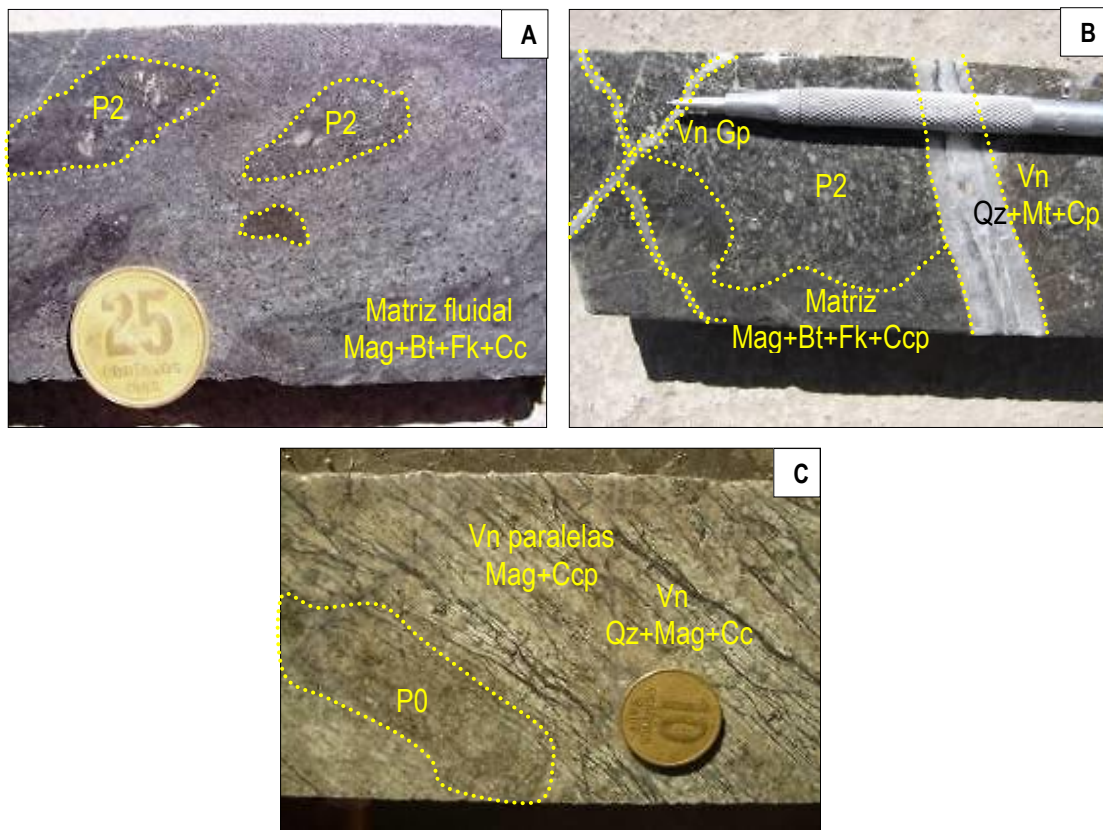


Figura 8-16: Fotografías de testigos diámetro HQ, de las variaciones en profundidad de la brecha ígnea o intrusiva, Bx1.

- A.** Brecha con matriz fluidal, compuesta por magnetita (Mag)+biotita (Bt)+feldepató potásico (Fk)+calcopirita (Ccp) diseminada y fragmentos de P2 y andesita subredondeados (sondeo 48.4-53.3; 371,00 m)
- B.** Brecha con fragmentos de P2 en matriz, cementada por magnetita+biotita+ feldepató potásico+calcopirita diseminada con vetillas posteriores de cuarzo (Qz) +magnetita+calcopirita y otras capilares tardías de yeso (Gp) (sondeo: 48.4-53.3; 373,00 m).
- C.** Brecha con fragmentos de P0 con vetillas de cuarzo+magnetita+calcopirita, cortadas por venillas subparalelas de magnetita+calcopirita, producto de brechamiento hidráulico (sondeo 53.0-42.4; 61,00 m).

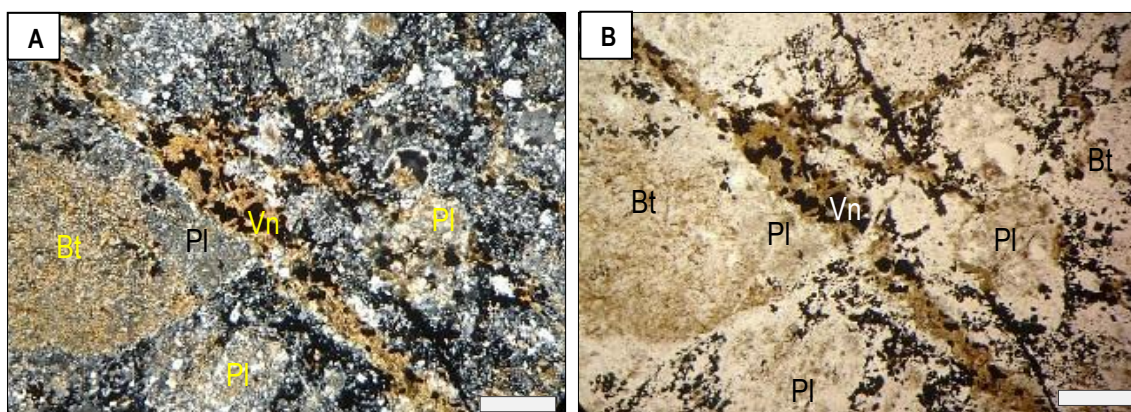


Figura 8-17: Fotomicrografías (A: n x, B: n //) de secciones delgadas de muestras pertenecientes a Bx1. Matriz fina con cuarzo (Qz) secundario anhedral, biotita secundaria (Bt) y plagioclasa (Pl) fuertemente alterada a sericita. Minerales opacos diseminados en la matriz y en las vetillas de cuarzo y biotita secundaria (Vn). Barra de escala: 0,5 mm.

### 8.3.5.2 Brecha Bx2

En la brecha Bx2, interceptada a los 4,00 m, se observa una matriz de grano muy fino equigranular compuesta por biotita secundaria diseminada como mineral principal, sericita de grano fino y en menor proporción cuarzo de grano fino. Los minerales opacos son anhedrales, de grano fino a medio y se encuentran diseminados en la matriz. Las vetillas presentes están formadas por cuarzo anhedral de grano medio y se encuentran fragmentadas. Se presentan otras vetillas continuas que tienen cuarzo y sericita en los bordes y minerales opacos hacia el centro. En contacto con ellas se encuentra sericita fibrosa, que tiene granos de minerales opacos de forma subhedral. La misma brecha, a profundidades de 329,00 m, presenta una matriz de grano fino formada por plagioclasa, cuarzo de grano fino, biotita secundaria de grano fino, sericita y minerales opacos euhedrales de tamaño de grano medio, diseminados. Se observan fragmentos de fenocristales de plagioclasa zonada, que se encuentran reemplazados por sericita en el centro. Fragmentos de fenocristales de biotita, subhedrales a anhedrales, se encuentran alterados a biotita secundaria, la cual está en contacto con minerales opacos euhedrales (Tabla 8-12 y Figs. 8-18 y 8-19).

BRECHA Bx2			
DESCRIPCION	SONDEO: 44.0-51.2	PROFUNDIDAD: de 4,00 a 43,70m	NIVEL: 2.400m
<b>Contacto</b>	Neto con la roca encajonante.		
<b>Fragmentos/Matriz</b>	60% de fragmentos / 40% matriz.		
<b>Tamaño Fragmentos</b>	De 0,5 hasta 4 cm, subredondeados.		
<b>Tipos de Fragmentos</b>	P0: con moderada alteración K y ADF sobreimpuesta y mineralización débil. And: con fuerte alteración K y mineralización.		
<b>Matriz</b>	Textura fluidal incipiente de magnetita+calcopirita y en matriz magnetita+calcopirita.		
<b>Mineralización</b>	En fragmentos de P0, es escasa a moderada y está diseminada en magnetita. En And la calcopirita se presenta principalmente en vetillas capilares y diseminada. En la matriz se observan principalmente calcopirita diseminada y en vetillas capilares.		
<b>Paragénesis</b>	Brechamiento, relleno y reemplazo de matriz con alteración K, con vetillas capilares magnetita+cuarzo+pirita+ calcopirita, finalizando con vetillas yeso±anhidrita+pirita±calcopirita.		
<b>Fracturamiento Hidráulico</b>	No se observa		
<b>Observaciones</b>	A 43,70m contacto brecha/P2 @ 50°. En el intervalo de profundidad entre 43,70 a 45 m, se observan escasos fragmentos y se pierden los rasgos de flujo. Zona de transición hacia borde de contacto brecha/pórfido.		
DESCRIPCION	SONDEO: 44.3-42.3	PROFUNDIDAD: de 308,00 a 380,00m	NIVEL: 2.170m
<b>Contacto</b>	Neto con la roca encajonante.		
<b>Fragmentos/Matriz</b>	40% de fragmentos / 60% matriz.		
<b>Tamaño Fragmentos</b>	De 0,5 hasta 10 cm, subredondeados y subangulosos con bordes de reacción.		
<b>Tipos de Fragmentos</b>	P2: con moderada alteración K y mineralización. P1: con fuerte alteración K y mineralización. P0?: con fuerte alteración K y escasa mineralización. And: con fuerte alteración K y mineralización.		
<b>Matriz</b>	De roca molida sin fragmentos. Textura fluidal, presenta 3 pulsos: 1º magnetita+biotita+feldespatos K+calcopirita, el 2º con feldespatos K en matriz+magnetita±calcopirita y 3º con magnetita+biotita±silificación±calcopirita.		
<b>Mineralización</b>	En fragmentos de P0 y P2, es escasa a moderada en forma diseminada+magnetita. En And la calcopirita se presenta principalmente en vetillas capilares y diseminada. En fragmentos de P1 la calcopirita se presenta diseminada+magnetita.		
<b>Paragénesis</b>	Varios pulsos de brechamiento, relleno y reemplazo de matriz molida y cementada por silificación+magnetita+ calcopirita, vetilla cuarzo±magnetita±calcopirita±pirita, y vetillas tardías anhidrita± pirita± calcopirita.		
<b>Fracturamiento Hidráulico</b>	No se observa		
<b>Observaciones</b>	A los 309,20 m se observa contacto Pórfido / Bx. A partir de 370 m, se observan escasos fragmentos y se pierden los rasgos de flujo. Zona de transición hacia borde de contacto brecha/pórfido.		

Tabla 8-12: Descripción de la brecha ígnea o intrusiva, Bx2.

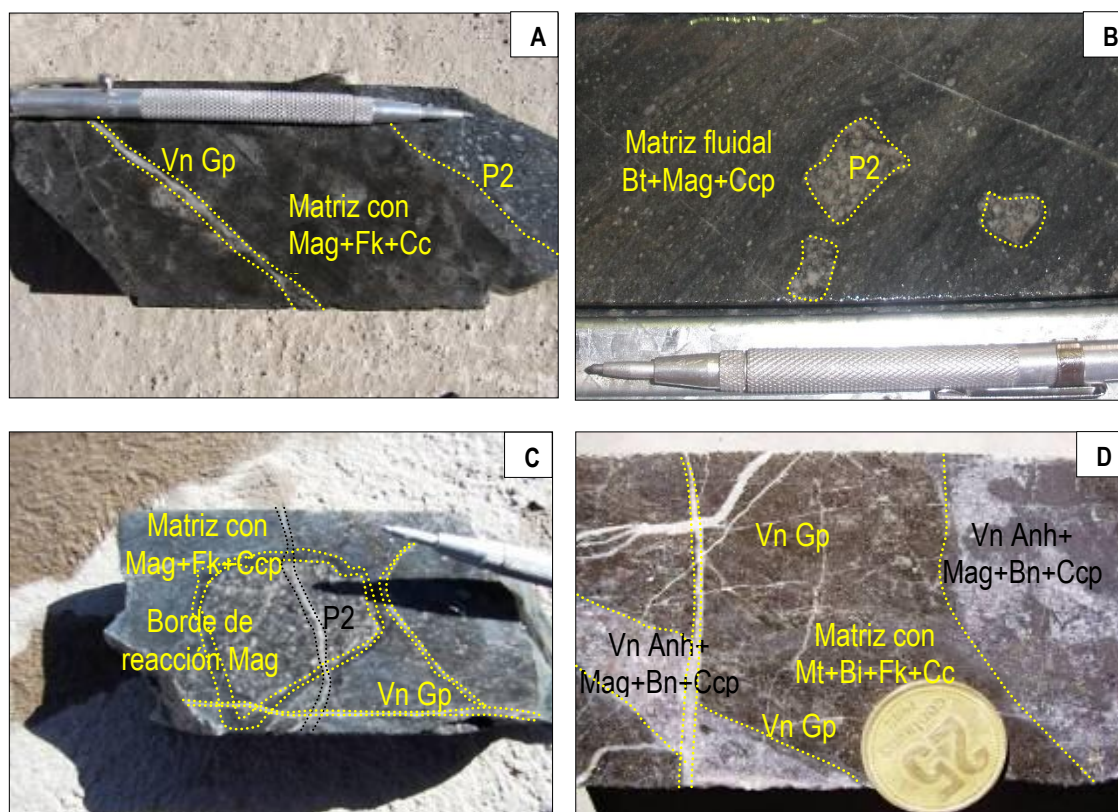


Figura 8-18: Fotografías de testigos diámetro HQ, de las variaciones en profundidad de la brecha ígnea o intrusiva, Bx2.

- A.** Brecha con fragmentos de P2 con alteración potásica cortada por otro pulso de brechamiento con matriz cementada por magnetita (Mag)+biotita (Bt)+feldespato potásico (Fk), y vetillas tardías de yeso (Gp) (sondeo 44.3-42.3; 326,50 m).
- B.** Brecha con matriz de biotita+magnetita±calcopirita (Ccp) y notoria textura fluidal, que se acomoda a los fragmentos subangulosos de P2 (sondeo 51.4-55.2; 64,00 m).
- C.** Brecha con fragmentos de P2 con borde de reacción de magnetita en matriz, cementada por magnetita+biotita+feldespato potásico+calcopirita y vetillas tardías de yeso (sondeo 44.3-42.3; 343,00 m).
- D.** Brecha con fragmentos de P2 y matriz cementada con magnetita+biotita+ feldespato potásico+calcopirita con venillas de anhidrita (Anh)+magnetita+ calcopirita+bornita (Bn) sobreimpuesta y evento tardío de fracturamiento y relleno con vetilla de yeso (sondeo 44.3-42.3; 354,00 m).

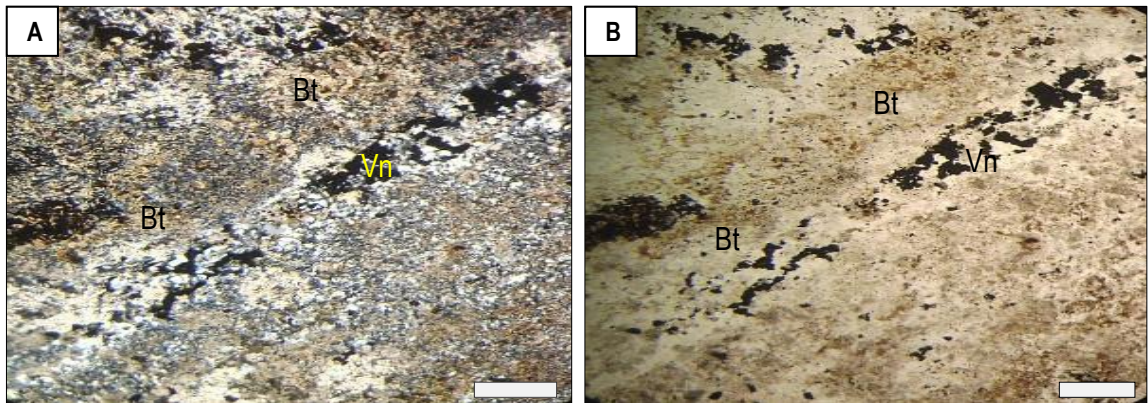


Figura 8-19: Fotomicrografías (A: n x, B: n //) de secciones delgadas de muestras pertenecientes a Bx2. Minerales opacos diseminados en matriz de grano fino con biotita secundaria (Bt) y en vetilla de cuarzo (Vn) y sericita fibrosa.  
Barra de escala: 0,5 mm.

### 8.3.5.3 Brecha Bx3

La brecha Bx3 se caracteriza por tener una matriz de grano fino con biotita secundaria predominante y minerales opacos diseminados, subhedrales a anhedrales de tamaño medio en contacto con la biotita de origen secundario. También se encuentran vetillas con relleno de opacos. Se observan fragmentos de fenocristales de plagioclasa predominante, con forma euhedral a subhedral, con los núcleos alterados a sericita (Tabla 8-13 y Figs. 8-20 y 8-21).



BRECHA Bx3			
DESCRIPCION	SONDEO: 46.0-51.2	PROFUNDIDAD: de 52.00 a 120.00m	NIVEL: 2,380m
<b>Contacto</b>	Neto con la roca encajonante.		
<b>Fragmentos/Matriz</b>	30% de fragmentos / 70% matriz.		
<b>Tamaño Fragmentos</b>	De 0,5 - 10 cm, subangulosos y subredondeados.		
<b>Tipos de Fragmentos</b>	P2: con fuerte alteración K y ADF moderada sobreimpuesta. P0: moderada-fuerte alteración K y escasa mineralización. P1: con fuerte alteración K y moderada mineralización. And: con fuerte alteración K y fuerte mineralización.		
<b>Matriz</b>	Textura fluidal por sectores con magnetita+silicificación+biotita+<<roca molida, se observa incipiente textura porfírica fina. Sectores con alteración ADF de sericita-clorita/plagioclasa+cuarzo secundario y alteración K con feldespatos K+magnetita +traza biotita+traza calcopirita.		
<b>Mineralización</b>	En fragmentos de And y en la matriz es moderada en forma diseminada sobre magnetita y vetillas capilares.		
<b>Paragénesis</b>	Brechamiento, relleno y reemplazo? de matriz por alteración K+cuarzo+magnetita y vetillas tardías yeso+traza cuarzo+ traza pirita.		
<b>Fracturamiento Hidráulico</b>	No se observa		
<b>Observaciones</b>	En el intervalo de profundidad entre 106 a 120 m, se observan escasos fragmentos y se pierde los rasgos de flujo. Zona de transición hacia borde de contacto brecha / pórfido.		
DESCRIPCION	SONDEO: 50.0-44.3	PROFUNDIDAD: de 432.00 a 446.00m	NIVEL: 2,130m
<b>Contacto</b>	Neto con la roca encajonante.		
<b>Fragmentos/Matriz</b>	30% de fragmentos / 70% matriz.		
<b>Tamaño Fragmentos</b>	De 0,5 hasta 7 cm, subredondeados y subangulosos.		
<b>Tipos de Fragmentos</b>	P2: con fuerte alteración K y ADF sobreimpuesta moderada. P0: con moderada alteración K con escasa mineralización. And: con fuerte alteración K y mineralización.		
<b>Matriz</b>	De roca molida sin fragmentos. Textura fluidal en sectores. Posterior y actuando de cemento magnetita+biotita+feldespatos K+calcopirita.		
<b>Mineralización</b>	En fragmentos de P0 y P2, es escasa en forma diseminada sobre magnetita. En And es fuerte y la calcopirita se presenta en vetillas capilares y diseminada.		
<b>Paragénesis</b>	Brechamiento, relleno y reemplazo? de matriz parcial con magnetita+biotita+calcopirita, vetillas capilares cuarzo+ magnetita+calcopirita+pirita y finaliza con vetillas capilares de yeso+traza pirita.		
<b>Fracturamiento Hidráulico</b>	No se observa		
<b>Observaciones</b>	En el intervalo de profundidad entre 366 a 372 m, se observan escasos fragmentos y rasgos de flujo. Zona de brechamiento.		

Tabla 8-13: Descripción de la brecha ígnea o intrusiva, Bx3.

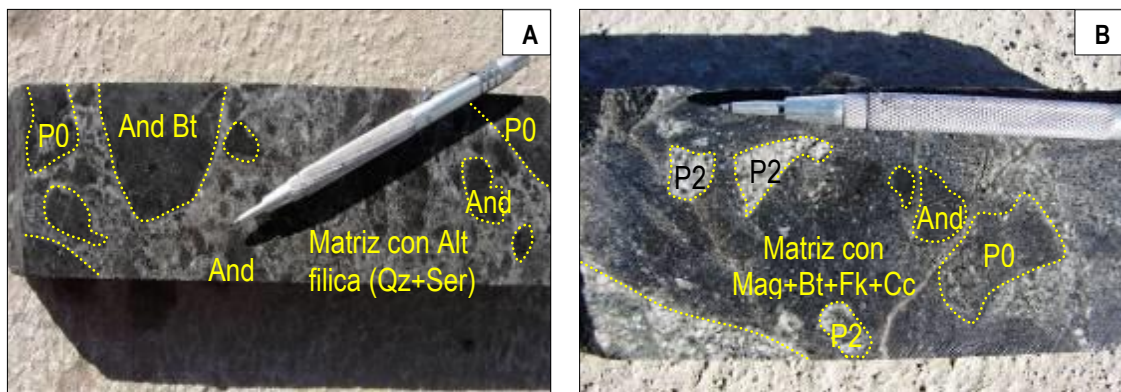


Figura 8-20: Fotografías de testigos diámetro HQ, de las variaciones en profundidad de la brecha ígnea o intrusiva, Bx3.

- A.** Brecha con fragmentos de P0 y andesitas (And) biotitizada (Bt) subredondeados, con matriz afectada por alteración filica, cuarzo (Qz)+sericita (Ser) (sondeo 46.0-51.2; 79,00 m).
- B.** Brecha con fragmentos de P0, P2 y And subredondeados, en matriz de roca molida, cementada con magnetita (Mag)+biotita (Bt)+feldespato potásico (Fk)+ calcopirita (Ccp) (sondeo 50.0-44.3; 439,20 m).

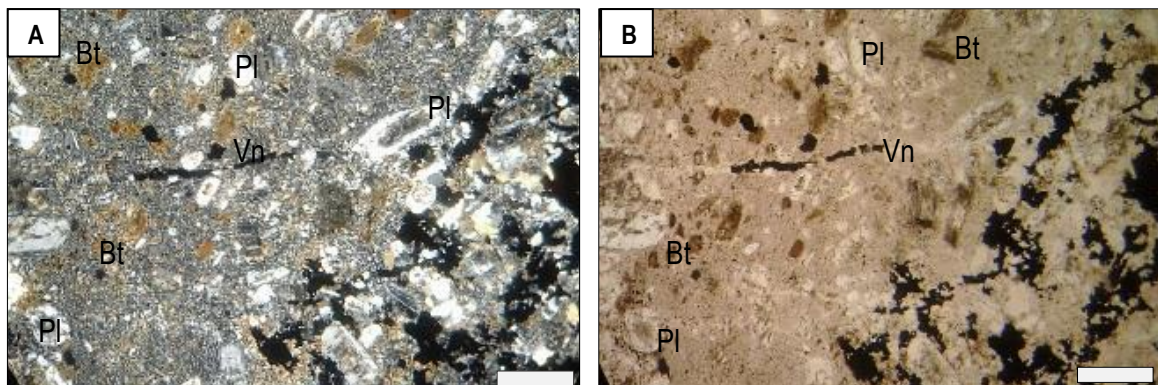


Figura 8-21: Fotomicrografías (A: n x, B: n //) de secciones delgadas de muestras pertenecientes a Bx3. Matriz de textura fina con biotita secundaria (Bt) y minerales opacos anhedrales diseminados y en vetillas (Vn). Fragmentos de fenocristales de plagioclasa (Pl) alterados a sericita y de biotita primaria alterada a biotita secundaria. Barra de escala: 0,5 mm.

## 8.4 Alteración

Como es típico de los depósitos de pórfido de Cu-Au y Au-Cu, la mineralización en BED se centra en un núcleo afectado principalmente por alteración potásica de moderada intensidad. La alteración hipogénica está bien expuesta en la superficie del bajo y está caracterizada por tres zonas principales de alteración sutilmente concéntricas. Debido al nivel de erosión interpretado para el área, en el sector central se observan restos de la parte superior de la alteración destructiva de feldespatos (ADF) bordeando a la alteración potásica. En las alteraciones potásica y ADF se pueden distinguir diferentes asociaciones mineralógicas, relacionadas estrechamente e indicando diferentes intensidades (Fig.8-22).

El modelo de alteración, es similar al de Bajo de la Alumbrera, pero en detalle, las diferencias entre los dos sistemas incluyen principalmente: un desarrollo mucho más intenso de un *stockwork* de vetillas de cuarzo y vetillas en la alteración cuarzo-magnetita en BLA y un área más restringida de alteración potásica, posiblemente por el nivel de erosión, facies de arcilla y sílice desarrolladas más extensamente en BED.

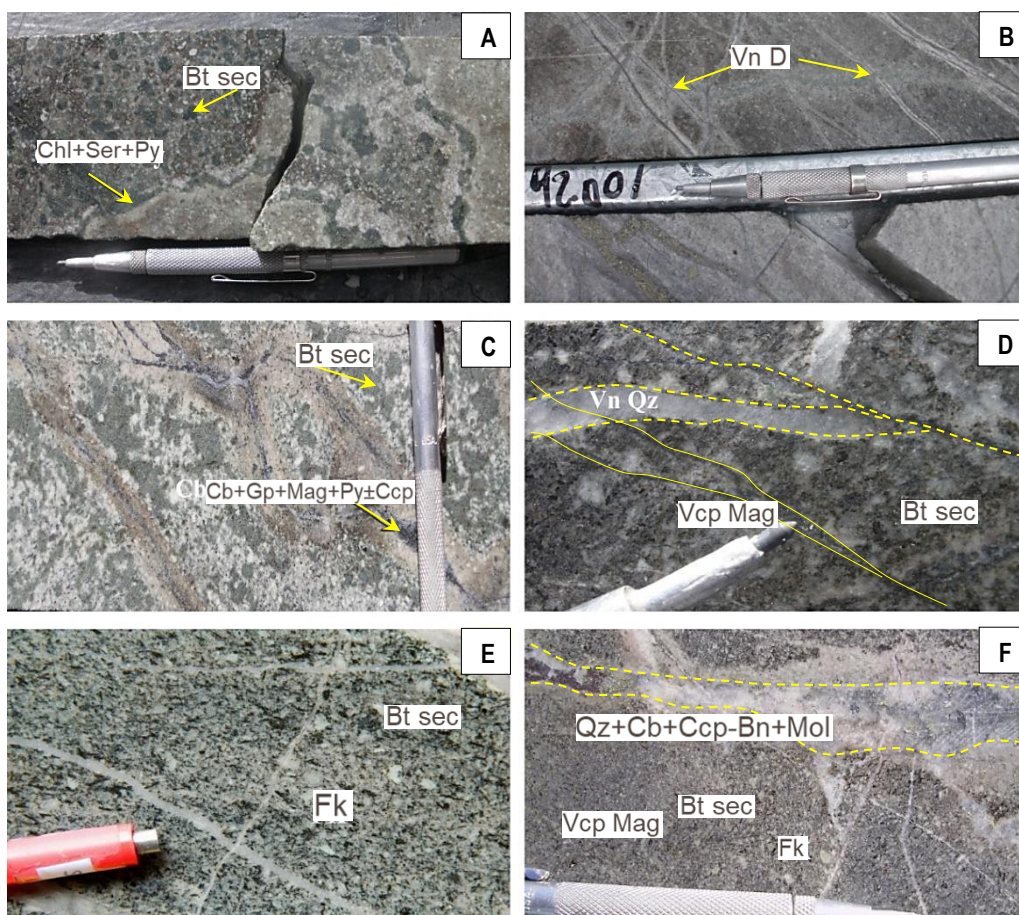


Figura 8-22: Fotografías de ½ testigos diámetro HQ, presentando distintas alteraciones.

- A. Alt ADF con parches de clorita+sericita+pirita sobre mafitos. Esta alteración se superpone a la alteración potásica identificada por escasa biotita secundaria en sectores de la matriz (sondeo 41.0-51.2, 494,00 m).
- B. Alt ADF con sericita sobre plagioclasa+sericita+cuarzo sobre matriz y venillas tipo “D” de pirita+yeso con halo fílico. Vetillas capilares de clorita+cuarzo+ pirita+sericita. Otras tipos D cortan a 40°-50° con respecto al eje del testigo (*sheeted veins*). Este sondeo se ubica en la parte externa del sistema (sondeo 55.3-42.3, 92,00 m).
- C. Alt ADF moderada a fuerte con clorita-carbonato sobre mafitos en parches. Cuarzo-sericita parcial en matriz y sericita-arcillas sobre plagioclasa parcial. Pirita diseminada fina y en vetillas D (sondeo 50.0-44.3, 143,00m).
- D. Alt potásica (K) con biotita secundaria, magnetita diseminada y venillas capilares con pirita + traza calcopirita. Las vetillas capilares de magnetita son cortadas por otras de cuarzo (sondeo 41.0-51.2, 236,00 m).
- E. Alt potásica, con feldespato potásico en matriz, biotita secundaria y magnetita diseminada (sondeo 45.0-51.0, 250,00m).
- F. Alt potásica moderada a fuerte con abundante feldespato potásico en matriz y bordes de plagioclasa. Magnetita diseminada fina y en vetillas capilares, biotita secundaria diseminada en matriz. Obliteración de textura (sondeo 50.0-44.3, 211,00 m).

### 8.4.1 Interpretación Alteración y Descripción de la Sección 50

La interpretación geológica inicial consideró como base el mapeo de detalle de la alteración en superficie (Fig. 8-23) realizado por Meldrum (2000).

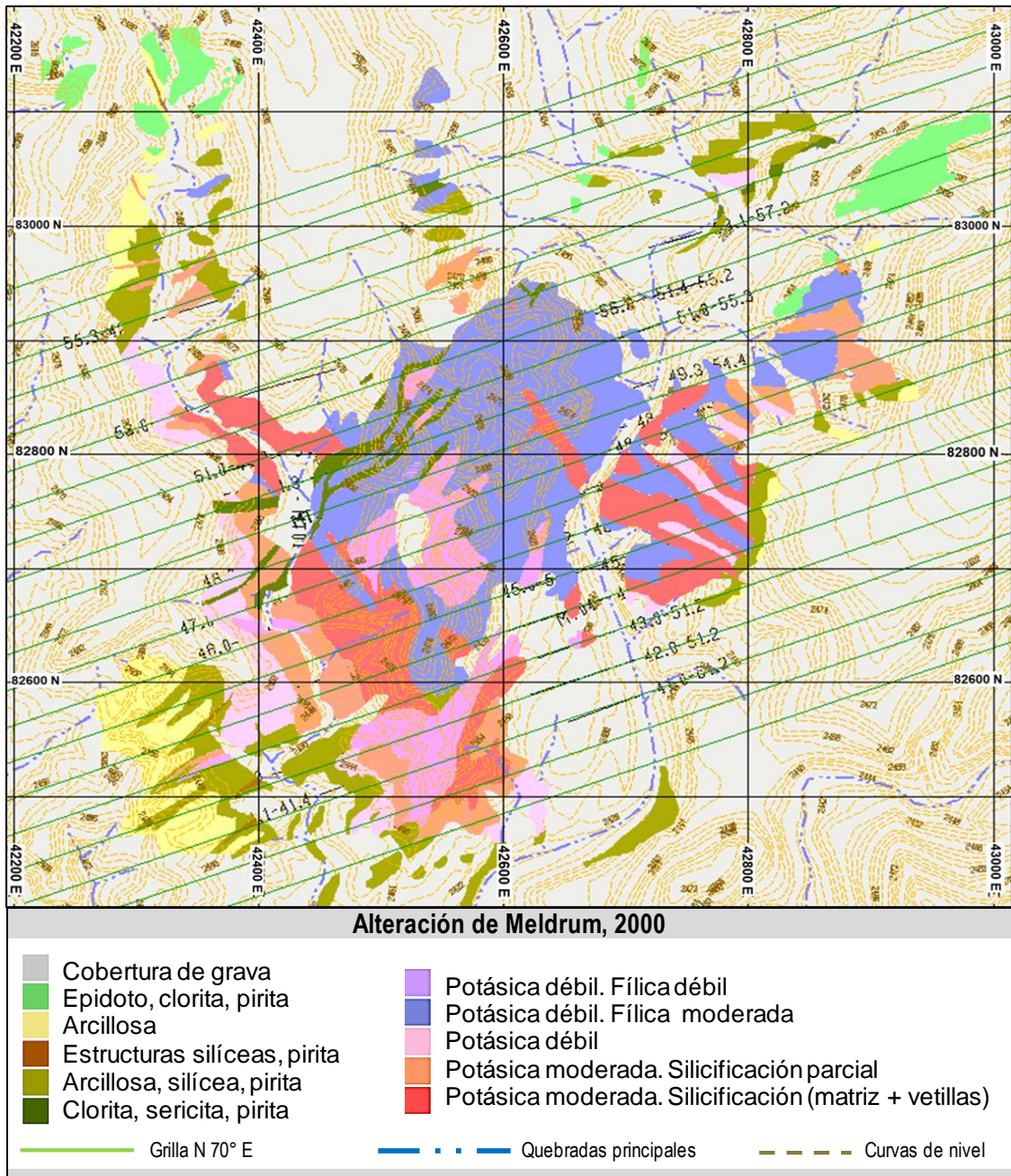


Figura 8-23: Plano de alteración según Meldrum (2000), modificado y generado en *MineSight 3D*. Sección 50 según grilla N70°E.

Se seleccionó como sección tipo a la 50 según la dirección de la grilla N70°E, que pasa por la parte central del proyecto y se considera representativa del depósito. El mapa de alteración de Meldrum (2000) con las distintas alteraciones, fue adaptado y modificado (Fig. 8-24), estableciendo una correspondencia con las alteraciones presentes en BLA, mapeadas por Proffett (1997).

La siguiente referencia (Tabla 8-14) presenta las asociaciones de minerales y sus equivalentes de alteraciones.

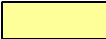
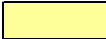












Meldrum (2000)	Bruna Novillo (2009)
 Arcillosa	 Alteración Argílica (Arg)
 Estructuras Silíceas, pirita	
 Arcillosa - silícea, pirita	 Alteración Destructiva de Feldespatos (ADF) Fílica + Arg. Intermedia
 Clorita, sericita, pirita	
 Potásica débil, Fílica moderada	
 Potásica débil, Fílica débil	
 Potásica débil	 Alteración Potásica (K)
 Potásica moderada, Silicificación parcial	
 Potásica moderada, Silicificación (matriz+vetillas)	
 Epidoto, clorita, pirita	 Alteración Epidoto-Clorita (Ep-Chl)

Tabla 8-14: Referencias que presentan las asociaciones minerales, y sus equivalentes de alteraciones interpretadas en secciones (adaptado y modificado por Bruna Novillo, 2009).

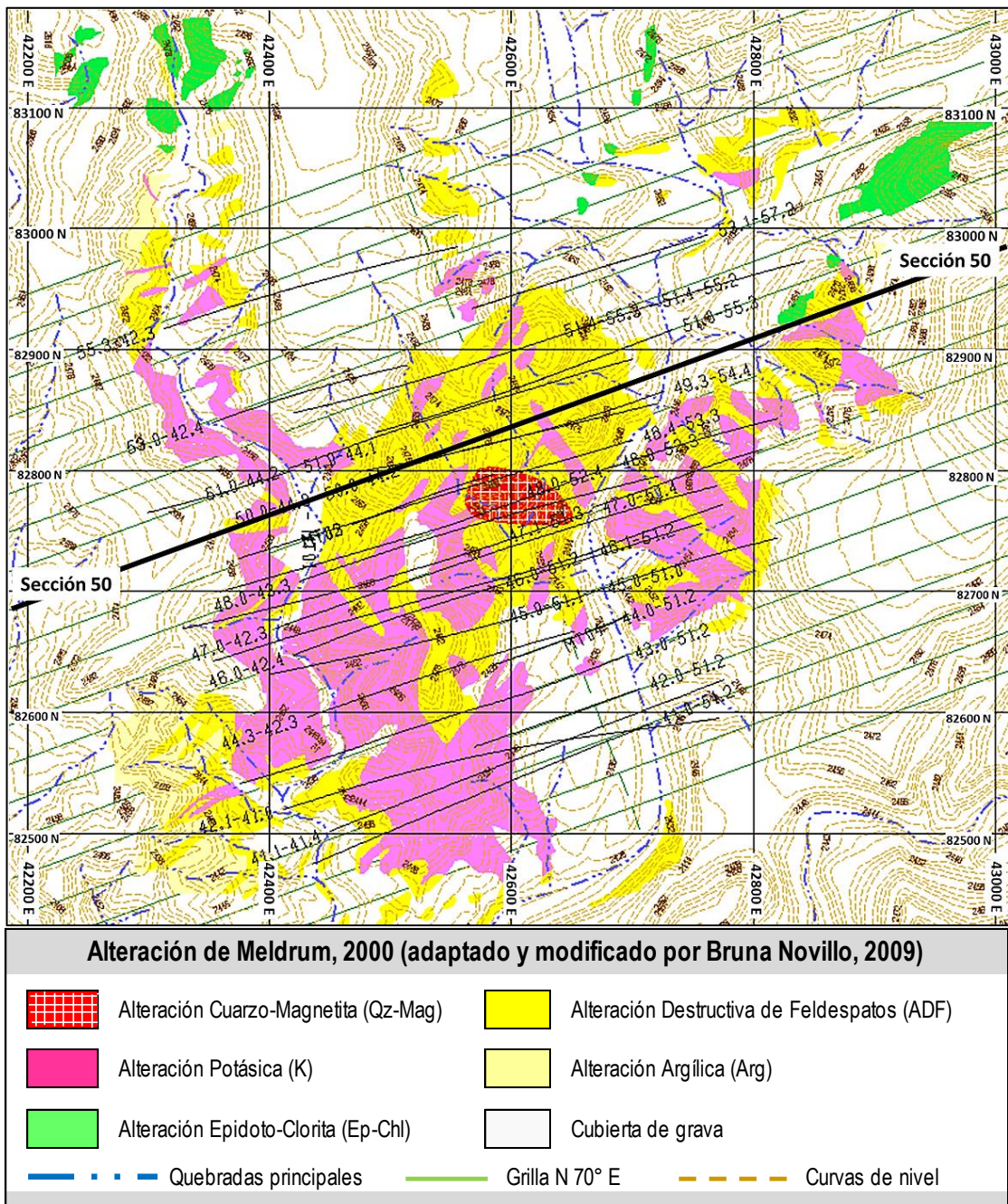


Figura 8-24: Plano de alteración según Meldrum (2000) y generado en *MineSight 3D*. Sección 50 según grilla N70°E (adaptado y modificado por Bruna Novillo, 2009).

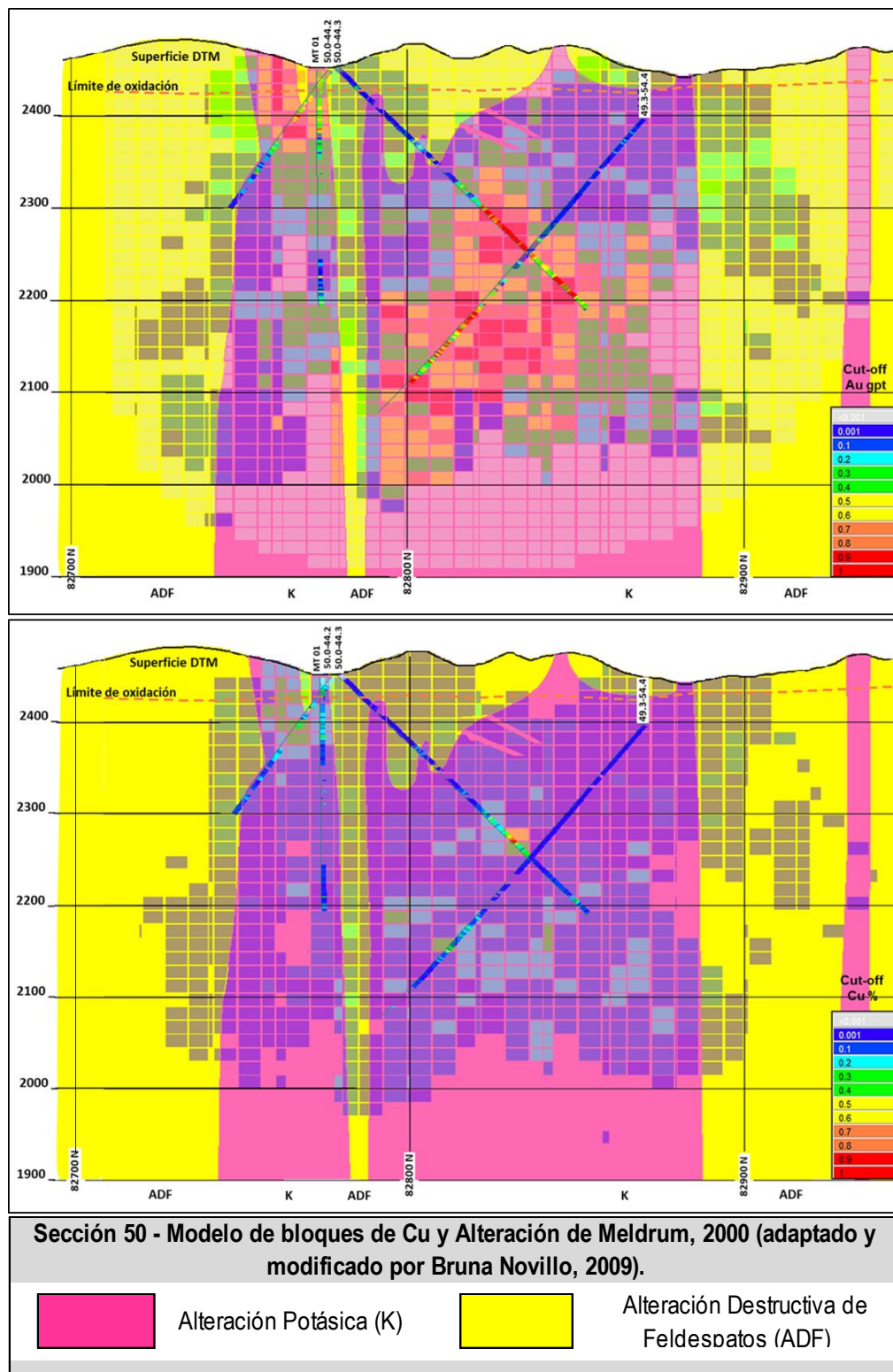


Figura 8-25: Sección 50, según grilla N 70° E, con sólidos de alteración interpretados y modelo de bloques de leyes de Au (gpt) y Cu (%), en formato “grade shell”, generado en MineSight 3D.



En esta sección, se observan las interpretaciones de las facies de alteración a partir del logeo geológico y datos de superficie a través de la topografía original y los modelos de bloques de leyes de Au gpt y Cu % en formato “*grade shell*” superpuesto (Fig. 8-25). La sección de alteración presenta dos tipos diferentes de alteraciones, una destructiva de feldespatos y otra potásica. La primera se asocia preferentemente a los bordes, donde se correlaciona con la diorita P0, y en delgadas zonas de la parte central, con los diques tardíos P4 y con la parte superior de los pórfidos P1 y P2. La alteración potásica, por su parte, se presenta en la parte central, afectando a P1 y P2 con variable intensidad, y especialmente a las brechas intrusivas (matriz con magnetita+biotita±feldespato potásico). La mayor extensión de los sondeos de esta sección se desarrolla dentro de este halo de alteración. Se consideró una delgada franja de alteración potásica hacia la margen oeste, que se obtuvo como dato de mapeo aunque no se corroboró con datos de sondeos ya que ninguno atraviesa ese sector. Hacia afuera del halo de la alteración destructiva de feldespatos, la alteración predominante es arcilla±pirita±cuarzo, que afecta principalmente a la roca de caja diorítica. Los sistemas de diques tardíos P4 están afectados por una débil alteración con serícita±clorita±pirita, pero presentan escasos valores anómalos en Au, relacionados a la influencia de la brecha Bx1, posterior al mismo. La alteración cuarzo-magnetita con una intensidad de vetillas >10% en volumen no está presente en esta sección, porque se encuentra en la parte central del depósito y en profundidad en las secciones 47 y 49 (sondeos 47.0-51.4 entre 4,50 y 50,00 m y 49.3-54.4 entre 198,00 y 250,00 m).

#### **8.4.2 Alteración Potásica (K)**

Esta alteración está caracterizada, en superficie y en profundidades someras hasta aproximadamente los 200 m, por una intensidad escasa a moderada, con débil presencia de feldespato potásico sobre plagioclasa, biotita secundaria+magnetita fina diseminada en la matriz y reemplazando parcialmente a los mafitos (hornblenda *s. l.*) y trazas de magnetita en vetillas capilares como se observa en el sondeo 46.0-51.2. Cuando la alteración se manifiesta con una intensidad moderada a fuerte, como en el sondeo 50.0-44.3 (198,00 a 320,00 m), se caracteriza por la presencia de biotita secundaria fina, predominancia de feldespato potásico sobre plagioclasa y presencia de magnetita en la matriz, asociada a los mafitos (hornblenda *s. l.*) y en vetillas capilares de

cuarzo+magnetita. En superficie y sobre el contacto de los pórfidos dioríticos P2-P0 se intensifica la alteración potásica consistiendo en una moderada a fuerte biotitización+moderada silicificación asociada a una moderada intensidad de vetillas cuarzo± magnetita±calcopirita±pirita. Se desarrolla más claramente sobre el contacto occidental del *stock* intrusivo. Se considera que la interpretación más probable para explicar este desarrollo de la alteración potásica puede deberse a la mayor fracturación que existía en el contacto con la roca de caja generando mayor permeabilidad secundaria y permitiendo intensificar allí la circulación de fluidos mineralizantes mientras que el interior del intrusivo se presentaba más compacto y débilmente fracturado. En términos fisicoquímicos esta alteración se desarrolla en presencia de soluciones casi neutras y a altas temperaturas (400-600°C).

### **8.4.3 Alteración Destructiva de Feldespatos (ADF)**

La alteración destructiva de feldespatos (ADF), término utilizado en el sentido de Proffett (2003), está definida por la integración de la alteración fílica con la alteración argílica intermedia. En superficie se desarrolla formando un halo de color amarillento, rodeando a la alteración potásica central. En la parte más interna de ese halo se observa alteración fílica con fuerte intensidad de vetillas cuarzo±pirita±limonita (jarosita±goethita por oxidación de pirita). Esta sericitización grada rápidamente a argilización hacia afuera con una paulatina disminución de las vetillas.

#### **8.4.3.1 Alteración Fílica**

La alteración fílica, también denominada cuarzo-sericítica o simplemente sericítica, está caracterizada como se observa en el sondeo 53.0-42.4 (desde los 98,00 m), por el desarrollo de cuarzo-sericita en forma parcial en la matriz, sericita reemplazando parcialmente a plagioclasa, sericita en halos de vetillas tipo D, mafitos parcialmente reemplazados por clorita, pirita sobre mafitos y diseminada en la matriz y en vetillas capilares; es el resultado de una hidrólisis moderada a fuerte, en un rango de temperatura de 200°-400°C.

#### **8.4.3.2 Alteración Argílica Intermedia**

La alteración argílica intermedia, está caracterizada por el reemplazo parcial de los fenocristales de plagioclasa por arcillas; su presencia se registra también, aunque con menor participación, en la matriz. Caolinita, montmorillonita, illita-esmectita e illita se presentan con mayor intensidad en sectores brechados y con harina de falla (*gouge*), afectados por estructuras principales y secundarias.

#### **8.4.4 Alteración Epidoto-Clorita (Ep-Cl)**

Proffett (1997) prefiere en BLA, el uso de alteración “epidoto-clorita” que el de alteración “propilítica” debido a que este último término ha sido aplicado a diferentes tipos de depósitos, y tiene varios significados y asociaciones mineralógicas diferentes, que puede generar confusiones. Siguiendo este criterio, se prefirió el uso de alteración epidoto-clorita para este trabajo, en donde se reemplaza directamente el término “propilítico” por los minerales más representativos de esta alteración, que está caracterizada por la presencia de epidoto+clorita±actinolita±carbonato±pirita±magnetita. La asociación principal se reconoce en el reemplazo de los minerales máficos y la plagioclasa por epidoto, clorita y/o actinolita. El epidoto es un mineral que puede presentarse en granos incipientes de pobre cristalinidad a temperaturas entre 180 a 220° C, y en fases de altas temperaturas, como cristales bien definidos (>220-250° C, Reyes, 1990). Ningún sondeo atravesó este tipo de alteración, la misma se genera por soluciones casi neutras en un rango variable de temperatura.

#### **8.4.5 Alteración Cuarzo-Magnetita (Qz-Mag)**

Las manifestaciones más destacadas son vetillas de cuarzo-magnetita y están restringida al pórfido P2, en el sector central del depósito, donde la magnetita en ocasiones se presenta como bandas oscuras a lo largo de los márgenes de la vetillas. Las redes irregulares de las vetillas de magnetita se producen en asociación con moderada alteración potásica y silicificación. En los inicios del sondeo 47.0-51.4 (4,50 a 50,00 m @ 0,19 gpt Au; 0,07% Cu) y en el sondeo 49.3-54.4 (198,00 a 250,00 m @ 0,14 gpt Au; 0,03% Cu), esta alteración está representada por asociaciones de minerales de cuarzo-magnetita en vetillas y por sectores en forma masiva, observándose escasa textura relíctica, pero con leyes de Au-Cu débilmente anómalas (Fig. 8-26). Los porcentajes de vetillas de cuarzo

varían entre >30% y 10% en volumen, mientras que los porcentajes de magnetita varían entre 30% en forma masiva y 10-5% en forma de vetillas y diseminada en matriz respectivamente.

Las vetillas capilares de magnetita representan al tipo más antiguo y cortan fenocristales de plagioclasa magmática. Varias generaciones de vetillas de cuarzo y cuarzo-magnetita han borrado en gran medida la textura ígnea, que es obliterada por la presencia de cuarzo y magnetita masivos en proporciones similares. Las vetillas de cuarzo-magnetita muestran diferentes estructuras internas. La presencia de magnetita dentro de la misma se puede producir en el centro o como revestimientos de pared. En la matriz, la magnetita se difunde entre los límites de fenocristales; en ocasiones se observaron granos de magnetita que se superponen a las vetillas de cuarzo-magnetita.

Este tipo de alteración se observó en otros depósitos de pórfidos de cobre-oro de la región, tales como Bajo de la Alumbraera y Bajo Las Pampitas y se considera que es un rasgo característico de los depósitos de cobres porfíricos ricos en oro (Sillitoe, 1979; Perelló y Cabello, 1989; Sillitoe, 1993).



Figura 8-26: Fotografías de testigos diámetro HQ, sondeo 47.0-51.4. Intrusivo P2 con fuerte intensidad de vetillas cuarzo-magnetita (25-30%).

## 8.5 Oxidación

La zona de oxidación en la parte superior producto de la meteorización, es ocasionada por agua meteórica, fue interpretada desde la quebrada principal hasta una profundidad promedio de 30 m. La misma está representada por alteración supergénica, con lixiviación de sulfuros, pátinas de jarosita-goethita sobre sulfuros en vetillas, martitización de magnetita y desarrollo de óxidos de cobre, tales como malaquita, crisocola, azurita y en algunos casos neotocita y delafosita; en general la intensidad de oxidación es débil a moderada (Fig. 8-27).

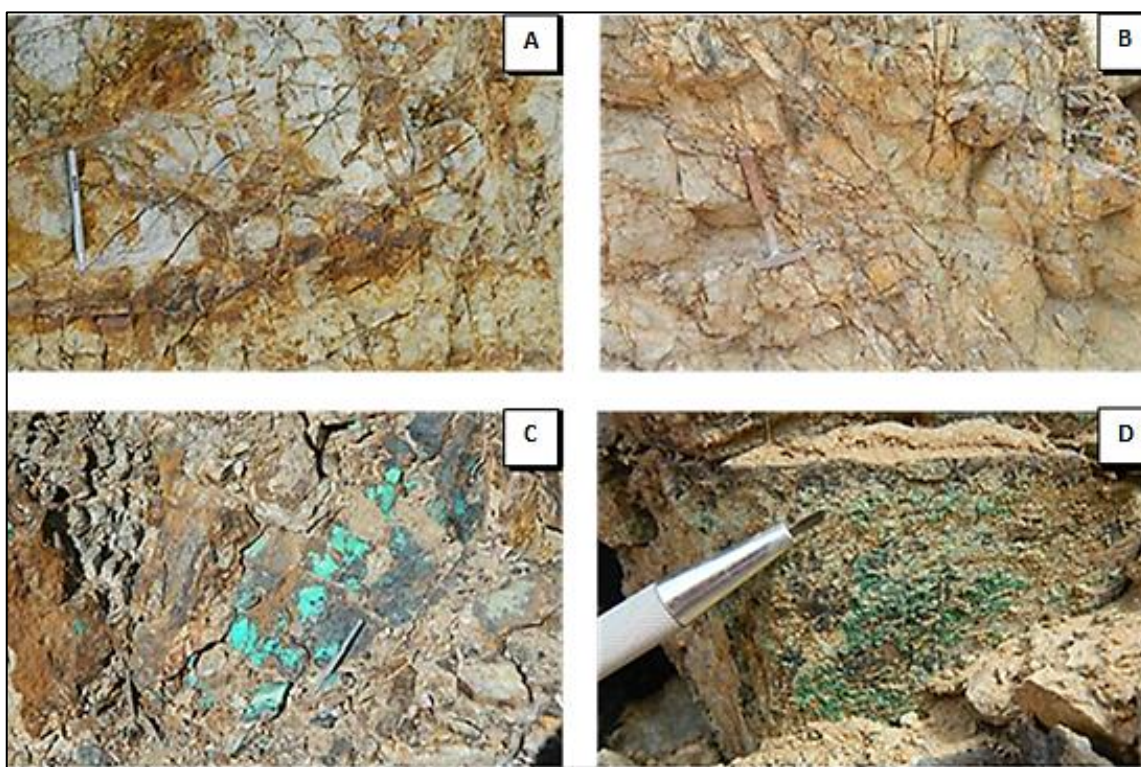


Figura 8-27: Fotografías de afloramientos con minerales de oxidación.

- A.** Afloramiento con óxidos de hierro asociados a vetillas y fracturas, representado principalmente por limonitas (jarosita+goethita).
- B.** Afloramiento de similares características que el anterior, pero con mayor intensidad de oxidación. Se evidencia por la mayor abundancia de limonitas en vetillas y matriz.
- C.** Afloramiento con óxidos de cobre, malaquita+crisocola+neotocita+azurita en vetillas y pátinas sobre fracturas.
- D.** Óxidos de cobre, principalmente malaquita de hábito botroidal, neotocita y crisocola relleno de fracturas.

Los principales minerales de oxidación son hematita y cantidades variables de goethita y jarosita. Estos minerales se presentan como pátinas sobre fracturas o diaclasas, en vetillas capilares y de manera pervasiva en la matriz de la roca, también se observa limonita-goethita/sulfuros y hematita/magnetita.

Se reconocen dos zonas principales en donde se concentran y desarrollan minerales secundarios de cobre como malaquita, crisocola y azurita, adicionalmente se observa neotocita y delafosita. Estas zonas presentan un sentido de orientación NO-SE y posiblemente respondan a un control estructural. Principalmente se alojan en las paredes de las diaclasas como pátinas y ocasionalmente desarrollan crecimiento botroidal cuando son abundantes, siempre se encuentran asociadas a óxidos de Fe (principalmente limonitas+hematita). Tanto en los afloramientos como en los sondeos es habitual encontrar a los minerales oxidados de cobre asociados a los de hierro debido a que el grado de oxidación de los minerales primarios de cobre es siempre acompañado por minerales de hierro como pirita, aunque nunca llega a ser completo.

---

## 9 Mineralización

### 9.1 Mineralización Regional

El depósito de pórfido de oro-cobre de Bajo El Durazno forma parte de un complejo volcánico aislado (CVFN), a considerable distancia al este del principal cinturón de pórfidos en la región Andina de Chile. El CVFN es un magmatismo andesítico shoshonítico-calcoalcalino rico en K, comprende varios centros eruptivos y contiene varios depósitos de pórfidos y epitermales.

La mineralización diseminada es del tipo cobre porfídico, con zonas de alteración hidrotermal ampliamente desarrolladas, tal como se observa en los Bajos de la Alumbraera, El Durazno, Las Pampitas, San Lucas, Agua Tapada, Los Amarillos, La Chilca y El Espanto. En algunos depósitos hay una densa zona de vetillas de magnetita y cuarzo-magnetita que ocupan groseramente la parte central.

Las asociaciones identificadas sugieren fuertemente la existencia de un metasomatismo con introducción de Fe, al menos en BLA y en Bajo Las Pampitas, así como una fuerte lixiviación alcalina. La generación de grandes volúmenes de fluidos fuertemente oxidados, predominantemente ricos en SO<sub>2</sub>, en las etapas iniciales de la exsolución de vapores del magma, podría tener la potencia necesaria para suprimir la precipitación de sulfuros de Cu, permitiendo en tanto la depositación de Au, generando potenciales relaciones Cu/Au bajas en el área considerada (Sasso & Clark, 1998). Entre estos depósitos se encuentra BED, que se caracteriza por diferentes intrusiones de pórfidos, etapas de alteración, y una distribución distintiva de la mineralización.

La primera intrusión de pórfido (P0), actualmente expuesto, es pre-mineral, mientras que las dos siguientes intrusiones (P1-P2) tienen mayor grado de mineralización, mientras que el pórfido posterior (P4) está incipientemente mineralizado, prácticamente estéril. El patrón de alteración está representado principalmente por una alteración potásica en la parte central con diferentes intensidades (biotita secundaria±feldespato potásico±magnetita). Contemporáneo con la alteración potásica, pero al margen del depósito, la alteración epidoto-clorita sobreimprime en escasos sectores partes de los diques tardíos de pórfidos y de las principales partes de las rocas andesíticas del complejo volcánico.

Las relaciones espaciales y observaciones petrográficas muestran que la alteración destructiva de feldespatos es posterior y en parte sobre-impuesta a la alteración potásica.

La mineralización vetiforme consiste en vetas epitermales de cuarzo y carbonato que contienen mayormente minerales de metales base y preciosos (Au y Ag). La misma está representada por las vetas de Farallón Negro, Los Viscos, Alto de la Blenda, Macho Muerto, Agua Tapada, El Durazno, El Espanto, Santo Domingo, La Josefa y Morro Bola, entre otras.

## 9.2 Mineralización Local

En el proyecto BED se interpretaron dos tipos de mineralizaciones, uno asociado a un sistema tipo pórfido, donde el emplazamiento del magma y su posterior actividad hidrotermal ha causado una moderada fracturación generando *stockwork* de varios tipos de vetillas principalmente en los pórfidos P1 y P2, reflejados en el sondeo 50.0-44.3 (Fig. 9-1).

Mientras que el otro tipo de mineralización está asociado a brechas ígneas o intrusivas, donde el magma fue inyectado a presión produciendo fracturamiento hidráulico, y brechas con matriz ígnea. La existencia de estas brechas induce a postular la hipótesis de que la reducida permeabilidad, debido al sellado de estructuras del macizo rocoso, generó aumentos locales de la presión de fluidos que dio lugar a este tipo de brechas durante su descompresión, presentando diferentes características según las intercepciones de los sondeos a diferentes profundidades. Es notorio en algunos sondeos que tales brechas se asocian principalmente a zonas de debilidad como contactos y/o estructuras, y que la mineralización que las acompaña afecta a los pórfidos P0, P1 y P2 de forma gradacional. En las zonas de contacto la mineralización es más intensa y se puede notar en las paragénesis formadas por vetillas de cuarzo+magnetita+yeso-anhidrita+calcopirita, de magnetita+pirita+calcopirita, y por calcopirita diseminada fina y en vetillas capilares asociada a cuarzo+magnetita+pirita, y por magnetita finamente diseminada en la matriz; mientras que a mayor distancia del contacto entre la roca de caja y las brechas, la mineralización disminuye hasta un área de influencia variable entre 5 y 10 m.

En algunos sectores centrales del depósito, afectando al intrusivo P2, se observan vetillas estériles de cuarzo y cuarzo-magnetita de fuerte intensidad que obliteran la textura



original, las cuales están asociadas con la alteración homónima. Las vetillas de cuarzo estériles, son macroscópicamente granulares y de color rosado a gris.

Las vetillas relacionadas con el estadio principal de la mineralización contienen combinaciones principalmente de cuarzo±trazas de carbonato+magnetita+calcopirita±trazas de pirita, menor presencia de vetillas capilares de calcopirita y aún en menor cantidad, otras de yeso±trazas de anhidrita±trazas de carbonato+trazas de pirita+magnetita/hematita±trazas de molibdenita sobre calcopirita/bornita. También se observa mineralización en forma diseminada y fina en la matriz y en parches sobre magnetita±biotita secundaria±trazas de clorita (Fig. 9-2).

Los sulfuros secundarios de cobre como calcosina y covelina reemplazan a los sulfuros primarios como calcopirita; y menos frecuentemente se encuentran como pátinas sobre pirita. La bornita está presente en forma escasa y se forma a partir de la calcopirita, conformando hojas en los planos de la misma.

Las vetillas de BED son del tipo “A”, “B” y “D” como fueron definidas y descriptas para El Salvador (Gustafson y Hunt, 1975) y para Bajo de la Alumbreira (Proffett, 1997). Las vetillas de tipo “A”, son las más tempranas de todas, por lo tanto están afectadas por los eventos de vetillas posteriores, reflejándose en las formas irregulares, discontinuas y segmentadas que presentan a causa de la sobreimposición de fracturación, segmentación y recristalización. Estas vetillas suelen presentar halos de feldespatos potásicos y están formadas de cuarzo±carbonato±feldespato potásico±calcopirita+pirita. El cuarzo es de granometría fina y de color rosado con cristales de tamaño variable (20 a 40 mm).

Las de tipo “B” son más jóvenes que las “A”, pero más antiguas que las de tipo “D” y las tardías de pirita y de yeso. Están caracterizadas por estructuras planares continuas con paredes paralelas y a veces con bandeamiento interno con sutura central y, ocasionalmente, con centros drúsicos de forma regular y continua. Estas vetillas son de cuarzo+yeso±trazas de anhidrita±trazas de carbonato+magnetita+esfalerita+calcopirita±traza de pirita y de anhidrita±yeso±trazas de carbonato+magnetita+molibdenita+calcopirita±trazas de pirita. El cuarzo tiene textura granular y es incoloro, aunque en algunas ocasiones puede presentar reflejos o sectores rosas, rojizos y hasta negros, dependiendo de las impurezas.

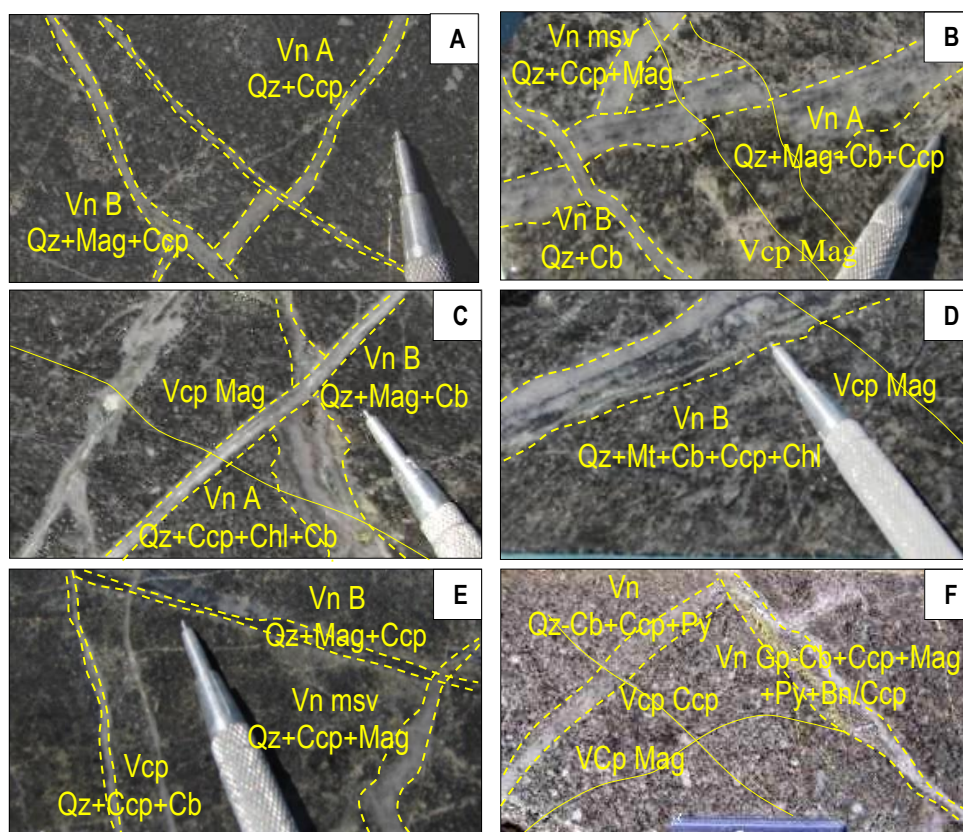


Figura 9-1: Fotografías de testigos diámetro HQ, con mineralización y diferentes tipos de vetillas.

- A.** Vetilla tipo A cuarzo (Qz)+calcopirita (Ccp) cortada por vetilla tipo B cuarzo+ calcopirita+magnetita (Mag) con sutura central (sondeo 50.0-44.3; 263,20 m).
- B.** Vetilla tipo A bandeada de cuarzo+magnetita+trazas de calcopirita+carbonato (Cb), desplazada por vetilla tipo B de cuarzo+trazas de carbonato. Vetilla masiva de cuarzo+ trazas de calcopirita+trazas de magnetita (sondeo 50.0-44.3; 278,90 m).
- C.** Vetilla tipo B de cuarzo+magnetita+trazas de carbonato con sutura central, cortando a tipo A de cuarzo+calcopirita+clorita (Chl)+trazas de carbonato y Vetillas capilares de magnetita (sondeo 50.0-44.3; 289,70 m).
- D.** Vetilla tipo B de cuarzo+magnetita+trazas de carbonato+trazas de calcopirita+ trazas de clorita con sutura central, cortando a vetillas capilares de magnetita (sondeo 50.0-44.3; 292,50 m).
- E.** Vetilla tipo B de cuarzo+magnetita+calcopirita bandeada y vetilla masiva de cuarzo+trazas de calcopirita+trazas de magnetita, ambas cortadas por vetillas capilares de cuarzo+calcopirita+trazas de carbonato (sondeo 50.0-44.3; 297,70 m).
- F.** Vetilla yeso+trazas de carbonato+calcopirita+magnetita+trazas de pirita+ calcopirita/ bornita (Bn) cortando y desplazando vetillas cuarzo+trazas de carbonato+ calcopirita+trazas de pirita, que trunca a una capilar de magnetita y calcopirita. A su vez las vetillas capilares calcopirita son posteriores y cortan a las de cuarzo+trazas de carbonato+calcopirita+trazas de pirita y vetillas capilares de magnetita (sondeo 50.0-44.3, 236,50 m).

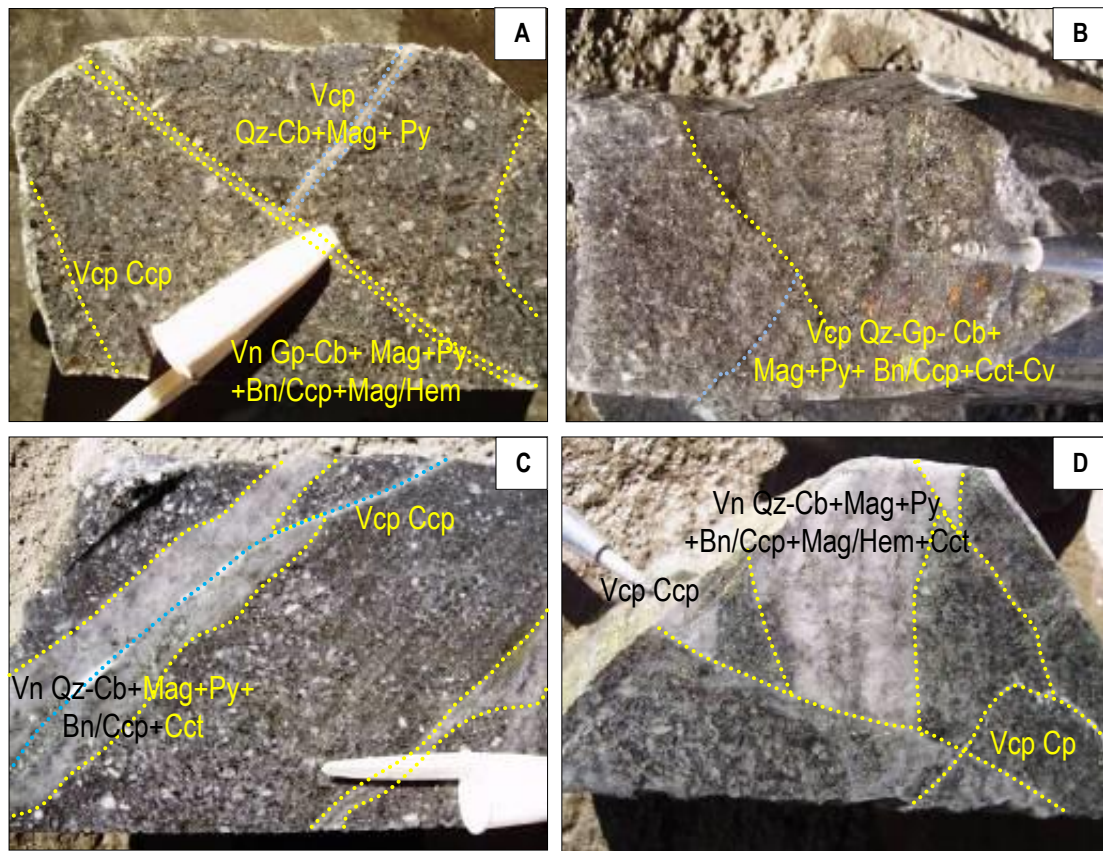


Figura 9-2: Fotografías de testigos diámetro HQ, reflejando la mineralización de calcopirita.

- A.** Vetillas capilares de calcopirita (Ccp). Calcopirita en vetillas capilares de cuarzo (Qz)-carbonato (Cb)+magnetita (Mag)+trazas de pirita (Py), vetilla de yeso (Gp)-carbonato+trazas de pirita+magnetita+trazas de calcopirita/bornita (Bn)+trazas de magnetita/hematita (Hem) y diseminada fina en matriz y en parches sobre magnetita +biotita (Bt) secundaria (sondeo 50.0-44.3; 222,20 m).
- B.** Calcopirita en vetillas de cuarzo-yeso-traza de carbonato+magnetita+trazas de pirita+calcopirita/bornita+calcosina (Cct)-covelina (Cv), en vetillas capilares y diseminada fina en matriz y en parches de magnetita+biotita secundaria (sondeo 50.0-44.3; 229,80 m).
- C.** Calcopirita en vetillas capilares y en vetillas de cuarzo-trazas de carbonato+magnetita±trazas de pirita±calcopirita/bornita-calcosina, y diseminada fina en matriz y en parches sobre magnetita+biotita secundaria+clorita (Chl) (sondeo 50.0-44.3; 233,00 m).
- D.** Calcopirita en vetillas capilares y en vetillas de cuarzo-trazas de carbonato + magnetita+trazas de pirita±calcopirita/bornita-calcosina±trazas de magnetita/ hematita, diseminada fina en matriz y en parches con magnetita+biotita secundaria +clorita (sondeo 50.0-44.3; 23,80 m).

Las vetillas del tipo “D”, son más jóvenes que las del tipo “A” y “B”, presentando halos de alteración destructiva de feldespatos, de sericita, clorita o cuarzo-sericita. Estas tienen espesores de 2 a 7 mm, son continuas, aunque localmente irregulares. Presentan principalmente pirita±trazas de calcopirita+yeso±trazas de cuarzo. Estas vetillas presentan un patrón radial alrededor del centro de alteración potásica, como se observa a lo largo de los sondeos 53.0-42.4 y 42.0-51.2 (Fig. 9-3).



Figura 9-3: Fotografías de testigos diámetro HQ, sondeo 53.0-42.4; 85,70 m a 95,10 m. Alt ADF moderada a fuerte sobreimpuesta sobre alteración K, con >>Ser-arcilla-Cb sobre Pl; Qz-Ser en matriz parcial Ser-Chl sobre mafitos y en halos en vn tipo D. Vn tipo D cortan a 40-50° con respecto al eje del testigo. Vetillas de Gp entre 7% y 10%.

En las vetillas tipo “B” es común observar texturas de relleno, como bandeamiento evidenciado por la presencia de magnetita, que indican repetidas aperturas de fracturas. También se observan microfisuras previamente abiertas en vetillas de cuarzo rellenas con carbonato y otras de yeso-anhidrita, como así también carbonato reemplazando mafitos y plagioclasa; y relleno de fallas, asociado tal vez a una alteración destructiva de feldespatos sobreimpuesta.

Como en muchos depósitos de pórfidos de cobre, el yeso es un mineral importante. Ocurre en delgadas vetillas delgadas y blancas (1-10 mm), en varias orientaciones y con hábito fibroso-laminar. Se presenta en los sondeos 44.3-42.3, 47.0-51.4, 48.4-53.3 y 50.0-44.3 por debajo de los 130 m y una abundancia que varía entre 1% y 5% en volumen. En los sondeos 50.0-44.2 y 53.0-42.4 se presenta por debajo de los 10 m y con igual intensidad. También se lo observa por sectores, en escasas vetillas tardías de color blanco y rellenando fallas acompañado por arcilla+carbonato (Fig. 9-4).



Figura 9-4: Fotografías de testigos diámetro HQ, sondeo 47.0-51.4: 267 m a 274,50 m. Intrusivo P2, con alteración K dominante de moderada a fuerte con Bio+Mag fina en matriz. Sil parcial sobre Pl y parcial en matriz. Alt. ADF sobreimpuesta con traza de Ser-arcillas sobre Pl y Chl sobre mafitos. Vetillas de Gp-Qz-Cb+Py variable entre 3-5%.

Se proponen dos hipótesis para explicar la presencia del yeso: 1) Presencia de anhidrita, que es formada cuando los minerales cálcicos, liberan este catión ( $\text{Ca}^{++}$ ), y el mismo es fijado por combinación de sulfatos durante la mineralización primaria. El yeso tiene origen post-mineral, y se forma por hidratación de la anhidrita. 2) Formación de yeso tardío, de ocurrencia en zonas de falla o en vetillas. Estas vetillas de yeso rellenan espacios abiertos provocados por el aumento de volumen dado por la hidratación de la

anhidrita, y están cortando vetillas del tipo “D”. La hipótesis de génesis para este tipo de yeso se basa en la presencia de soluciones de sulfato formadas por la oxidación de la piritita que reaccionan con carbonato de calcio o con soluciones ricas en ese catión.

En andesitas, debido al volumen involucrado, la anhidrita y el yeso son comunes y abundantes debido al alto contenido y disponibilidad de calcio, proveniente de plagioclasa principalmente (Proffett, 1997).

El segundo tipo de mineralización, frecuente en depósitos tipo pórfidos, está representado por cuerpos de brechas denominados Bx1, Bx2 y Bx3. Como ya se mencionó anteriormente, la denominación de las mismas se debe a una posición espacial de oeste a este, y no es indicador de la secuencia temporal de intrusión. En algunos sectores y en profundidad se observa que la matriz presenta una textura porfírica fina, lo que se ajustaría más a brechas intrusivas o ígneas.

La importancia de los contenidos de H<sub>2</sub>O reside en el control que ésta ejerce en la etapa de cristalización, cuando se separa una fase fluida (fluido hidrotermal), mediante la segunda ebullición, la cual a su vez provoca el fracturamiento de la roca de caja y la actividad hidrotermal subsecuente (Burnham y Ohmoto, 1980).

La segunda ebullición provoca la liberación de energía mecánica durante el emplazamiento y la cristalización de magmas félsicos hidratados a poca profundidad. Esta liberación de energía se ve manifestada en los yacimientos de tipo pórfido, en donde las partes marginales de los cuerpos intrusivos porfíricos y la roca de caja que los alberga, aparecen intensamente fracturados, y en los numerosos cuerpos de brecha que también están presentes (Burnham, 1985). Se estima que la segunda ebullición sería la mayor causa del fracturamiento en estos sistemas (Burnham, 1985).

Burnham (1985) realiza un modelo para la formación de brechas y de los enjambres de vetillas (*stockwork*), que es capaz de explicar la generación de las estructuras observadas en los pórfidos cupríferos, y que además provee una fuente de energía suficiente para desplazar grandes bloques, de decenas de toneladas varios cientos de metros sobre su posición original (como en algunas diatremas por ejemplo), como extensión de sus modelos para el volcanismo explosivo.

Según el mismo autor, la liberación de esta energía está asociada a procesos magmáticos tardíos, y se libera fundamentalmente a través de dos procesos que son secuenciales y se repiten:

- 1) Segunda ebullición: exsolución de la fase volátil desde el magma saturado en H<sub>2</sub>O.
- 2) Descompresión posterior del fluido exsuelto.

Los parámetros que más influyen sobre el modelo propuesto son los siguientes:

*a) Composición inicial del magma.*

Los magmas más félsicos tienen un menor rango de temperaturas de cristalización y se saturan en H<sub>2</sub>O a temperaturas menores, es decir que durante su cristalización no todo el volumen de magma se cristaliza, una buena parte de este se separa en forma de fluidos residuales, aumentando la presión hidráulica. Este tipo de magmas comúnmente está asociado a la generación de pórfidos. Por lo tanto, para las mismas tasas de enfriamiento, los magmas más félsicos liberan más energía mecánica y en menos tiempo que los de composición máfica.

*b) Profundidad de emplazamiento del intrusivo.*

Se puede decir que a mayor profundidad hay mayor presión litostática, y se produce menos expansión de la fase fluida acumulando mayor presión de fluidos. Además, la roca de caja se comporta dúctilmente y su resistencia a la tensión aumenta, a tal punto que se hace casi imposible sobrepasarla. Al disminuir la profundidad de emplazamiento, no se puede superar la resistencia de la roca de caja hasta que la mayor parte del magma ya ha cristalizado, y en este caso se produce más probablemente volcanismo explosivo.

*c) Porcentaje inicial de agua en el magma (volátiles).*

Como la mayoría de los magmas de formación plutónica son ricos en volátiles, la liberación de los mismos juega un papel importante en la evolución del plutón. Esta separación está controlada en última instancia por la solubilidad, que está en función de la presión y de la composición del fundido. Los volátiles pueden separarse: (a) de un

magma inicialmente saturado en volátiles a medida que este asciende (descomprime), o (b) de un magma inicialmente subsaturado en volátiles a medida que este cristaliza (primera y segunda ebullición, Burnham, 1979). El patrón temporal de liberación de volátiles se espera entonces que dependa de la tasa de crecimiento del plutón, de su historial de cristalización y del contenido de volátiles del magma emplazado (Schöpa *et al.*, 2017).

El contenido de volátiles del magma al momento del emplazamiento, es el parámetro más crítico en cuanto a la segunda ebullición. A menor porcentaje de volátiles la saturación ocurre a menor profundidad, mientras que a mayor porcentaje, los magmas se saturan a mayor presión siendo imposible generar fracturas, debido a que la roca de caja se comporta dúctilmente. Por lo tanto, es posible decir que el efecto producido por el diferente grado de saturación en volátiles de un magma es equivalente al que generan diferentes profundidades de emplazamiento.

*d) Porcentaje de fundido en el magma inicial.*

En general es directamente proporcional a la energía liberada, pero depende mucho de los otros factores. Si el magma está muy cristalizado, se puede producir la segunda ebullición con muy poco enfriamiento, pero la energía liberada puede no ser suficiente como para fracturar la roca de caja. El que ocurra la segunda ebullición habiendo cristalizado gran parte del magma es una posible explicación para la brechización que ocurre dentro del mismo intrusivo (Phillips, 1973). Otra posible explicación para este proceso es que haya habido más de un pulso magmático y que al momento de haber cristalizado una buena parte del intrusivo, los fluidos residuales van a brechar y mineralizar al mismo intrusivo que ya se había cristalizado, a fin de liberar energía.

*e) Resistencia a la tensión de la roca de caja.*

Claramente la resistencia a la tensión de la roca de caja varía con la profundidad. Si esta resistencia es baja se necesita menos energía para producir el fracturamiento, por lo que una proporción mayor de la energía total se utilizará en la descompresión. Por lo tanto, a mayor profundidad se necesita más energía para producir el fracturamiento. Así también, si hay zonas de debilidad preexistentes, como fallas regionales o alineamientos



estructurales, la energía de la descompresión se concentrará en ellas. Se infiere que esta focalización de la energía controlaría la ubicación de los conductos de brechas y de los diques que acompañan a las etapas de alteración.

*f) Dimensión vertical de las fracturas (profundidad y longitud).*

Cuando las fracturas alcanzan profundidades cercanas a la superficie, la energía liberada aumenta (se considera una presión final menor), pero con el tiempo la parte baja de la fractura tiende a sellarse debido al enfriamiento y por ende, la circulación de los fluidos se ve interrumpida. Si la fractura está sellada por arriba, tiende a extenderse hacia abajo (se produce un gradiente de presión, de mayor a menor presión). Del mismo modo, si la fractura se sella en su sección inferior, tenderá a extenderse hacia arriba. Este mecanismo se propone para la formación de las vetillas tipo “A” de El Salvador (de Gustafson y Hunt, 1975), las más antiguas, discontinuas e irregulares.

### **9.3 Secuencia de Vetillas y Mineralización**

El emplazamiento del magma y la actividad hidrotermal posterior causaron fracturación y el desarrollo de un *stockwork*, superponiendo varios tipos de vetillas que afectan a los intrusivos y, en menor proporción, a las rocas hospedantes. La densidad de *stockwork* y/o vetillas varía regularmente entre los diferentes intrusivos, pero su presencia es moderada donde la mineralización es principalmente diseminada, con sulfuros en cantidades variables entre traza y un 4% de sulfuros en total.

El mayor número de las vetillas de cuarzo-magnetita, se encuentran en el intrusivo P2 en la parte central del depósito, varía entre 10% y >30% en volumen, disminuyendo hacia los bordes del mismo, en cantidades variables entre <1% y 10% en volumen. En el intrusivo P1 se observa una menor densidad de vetillas de cuarzo+magnetita y en cantidades variables entre <1% y 15% en volumen, disminuyendo su densidad en el pórfido P0, en rangos variables entre <1% y 5% en volumen. El dique pórfirico tardío post-mineral P4 tiene una muy escasa a nula densidad de diferentes tipos de vetillas tardías, en un rango <1% en volumen.

Considerando los diferentes pulsos intrusivos, alteraciones hidrotermales y tipo de vetillas identificadas (en los trabajos de mapeo, logeo geológico y observaciones macroscópicas de testigos de perforación diamantina de diámetro HQ en BED) se realizó una cronología de la paragénesis de las mismas, basada en las relaciones de intersección entre vetillas y su mineralización y en términos de etapas pre-mineralización, sin-mineralización y post-mineralización (Figs. 9-5 y 9-6).

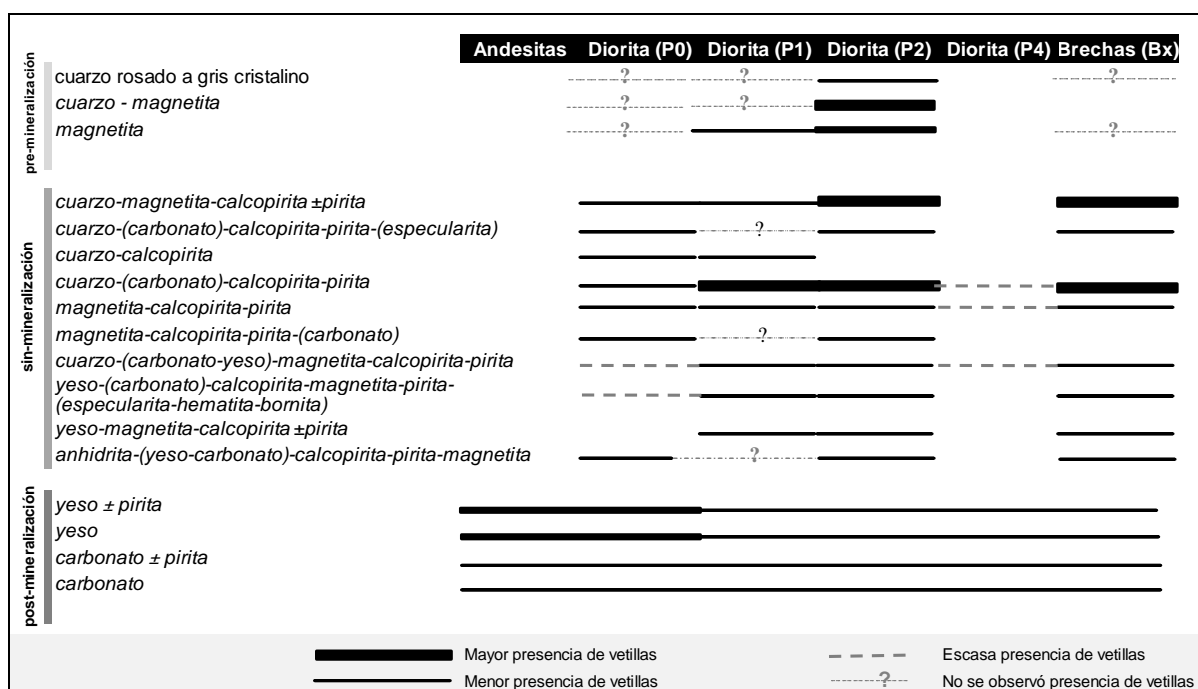


Figura 9-5: Paragénesis de vetillas basadas en las relaciones de corte, observadas en muestras de testigos de perforación.

### Vetillas en etapa pre-mineralización

Esta etapa está representada muy localmente, en la parte central del depósito, por una red densa de vetillas de cuarzo rosado a gris y cuarzo-magnetita que están íntimamente ligados con la alteración homónima y que afectan principalmente al intrusivo P2. Finas vetillas de magnetita, afectan a ambos intrusivos mineralizados (P1-P2).

### ***Vetillas en etapa sin-mineralización***

Las vetillas relacionadas con la etapa principal de mineralización se encuentran con mayor presencia afectando a los intrusivos P2-P1 y brechas, contienen combinaciones de cuarzo-magnetita-calcopirita $\pm$ pirita y cuarzo-(carbonato)-calcopirita-pirita. Con menor presencia se destacan las vetillas de cuarzo-(carbonato)-calcopirita-pirita-(*especularita*); cuarzo-calcopirita; magnetita-calcopirita-pirita; magnetita-calcopirita-pirita-(carbonato); cuarzo-(carbonato-yeso) $\pm$ magnetita $\pm$ calcopirita $\pm$ pirita; yeso-(carbonato) $\pm$ calcopirita  $\pm$ magnetita  $\pm$ pirita $\pm$ hematita (*s.s.* y su variedad *especularita*)-bornita) y anhidrita-(yeso-carbonato) $\pm$ calcopirita $\pm$ pirita $\pm$ magnetita. Todas las vetillas están relacionadas con las asociaciones minerales que se encuentran en la zona de la alteración potásica (feldespato potásico+biotita $\pm$ magnetita $\pm$ cuarzo). La presencia de bornita es muy rara, y se observa que ocurre solo en vetillas, reemplazando a la calcopirita y creciendo a partir de la misma ya que es el mineral más antiguo aunque en algunas ocasiones se observaron texturas de reemplazo mutuo. La hematita *s.s.* y su variedad *especularita* son escasas, y se formaron a expensas de magnetita, que por alteración química cambió pero conservan su forma externa. Las vetillas de magnetita principalmente se encuentran cortadas por otras de cuarzo, pero en algunos sectores se observa lo contrario, lo que indicaría las diferentes generaciones de estas vetillas en los diferentes pulsos intrusivos. La presencia de carbonato, como último evento en el sistema, se manifiesta rellenando espacios en vetillas de cuarzo y después del evento de yeso que se forma por hidratación de anhidrita. La mineralización de cobre se produce también como calcopirita diseminada en la alteración potásica y en parte de la alteración de cuarzo-magnetita.

### ***Vetillas en etapa post-mineralización***

Esta etapa está representada con mayor presencia de vetillas de yeso $\pm$ pirita y yeso afectando principalmente a las rocas hospedantes de composición andesítica y al intrusivo P0 y en menor proporción a los intrusivos posteriores y brechas. Las vetillas de pirita-(carbonato) y carbonato, afectan a todas las rocas con menor presencia. Las vetillas de yeso con o sin pirita varían entre <1 y 10 mm de ancho, comúnmente rectas y con distintas orientaciones. Las de carbonatos representan el último evento en el sistema, apareciendo después del evento del yeso. Se observaron vetillas de anhidrita con relleno de carbonato

en los extremos, indicando que la anhidrita se hidrató, se convirtió en yeso, luego se disolvió y fue posteriormente rellena.

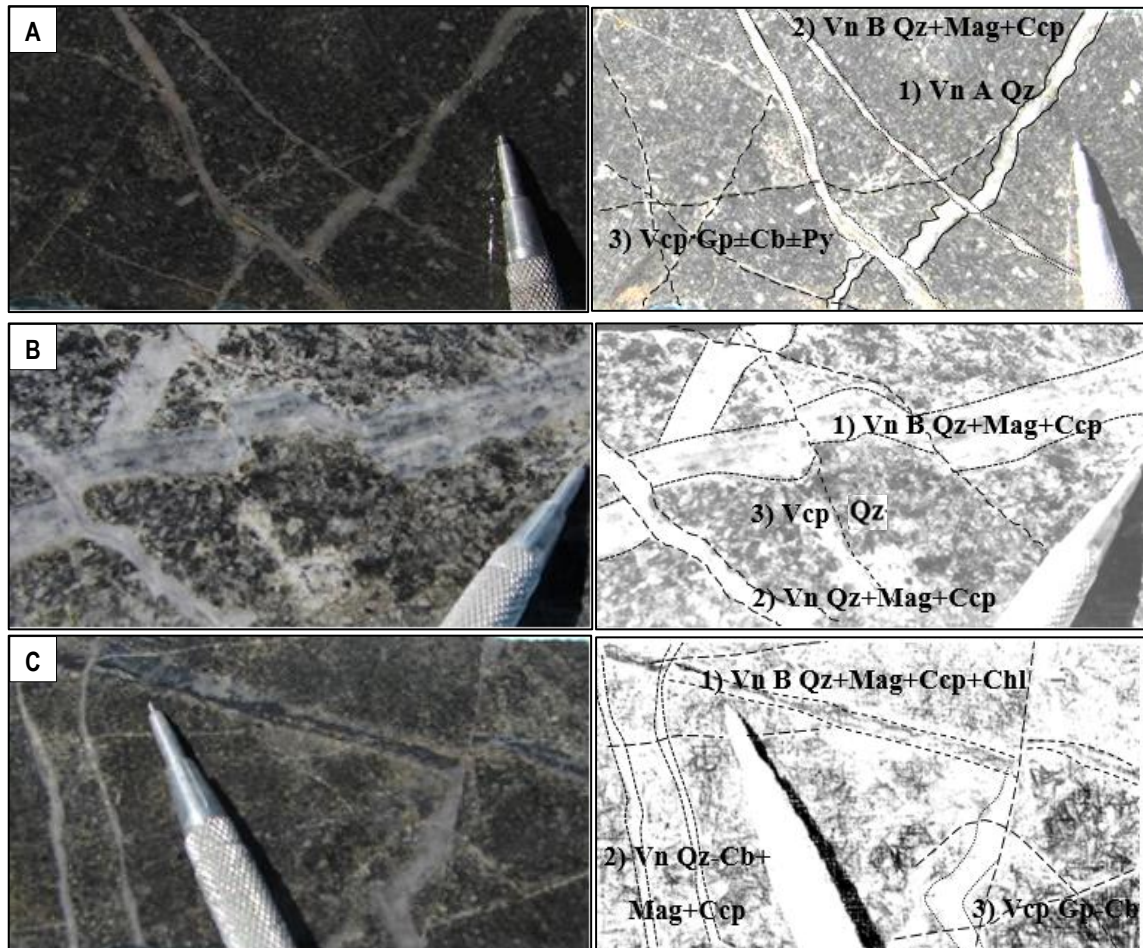


Figura 9-6: Fotografías de testigos diámetro HQ, de diferentes secuencias de vetillas en pórfidos y su relación temporal.

- A. P2 con moderada a fuerte alteración K. Cp en vn Qz+Mag+Py y dis fina en matriz. Vn tipo B de Qz-Mag+Ccp cortando vn tipo A de Qz. Ambas cortadas por Vcp-vn Gp±Cb±Py (sondeo 50.0.44.30; 263,20 m).
- B. P2 con moderada a fuerte alteración K. Vn B Qz+Mag+Ccp cortada y desplazada por Vn Qz+Mag+Ccp, y también cortada y desplazada por Vcp Qz (sondeo 50.0.44.30; 278,90 m).
- C. P2 con moderada a fuerte alteración K. Vn B Qz+Mag+Ccp+Chl cortada por Vcp Qz-Cb+Mag+Ccp y Vcp Gp-Cb tardíos (sondeo 50.0.44.30; 297,70 m).

#### 9.4 Distribución de la Mineralización

La mineralización de oro y cobre ocurren principalmente en la zona de alteración potásica y en forma de finas vetillas, en vetas y disseminada en los pórfidos dioríticos (P1 y P2). La diorita de caja (P0), presenta una disminución en leyes con respecto a los pórfidos más jóvenes, de los cuales el pórfido post-mineralización (P4) es prácticamente estéril. Las inclusiones de calcopirita en finas vetillas de cuarzo-magnetita-calcopirita±pirita y cuarzo-(carbonato)-calcopirita±pirita y en matriz disseminada muy fina y asociada con la alteración de biotita+feldespato potásico+cuarzo±magnetita secundaria fina disseminada en matriz, indican que las principales etapas de mineralización ocurrieron en las dos intrusiones dioríticas P1 y P2.

Una evaluación más detallada de la distribución del mineral entre los diferentes tipos de pórfidos y brechas (Fig. 9-7), revela valores mayores de Au y Cu para los pórfidos dioríticos P1 y P2. Au y Cu están positivamente correlacionados y los grados de mineral en los pórfidos dioríticos P1 y P2 son similares, presentando una ligera mayor concentración el intrusivo P1. La correlación de Au y Cu en todo el depósito no es lineal y la relación Au/Cu se incrementa con el aumento de las leyes de Cu. El intrusivo diorítico P0, está débil a moderadamente mineralizado, conteniendo las principales leyes cercanas en los bordes de contacto con el intrusivo P2. El pórfido P4, tiene baja a nula concentraciones de Au y Cu.

Con respecto a la variación de las leyes en las brechas, Bx1 y Bx2 presentan valores similares de Au y Cu y están positivamente correlacionados. La brecha Bx3 revela valores ligeramente mayores de Au y Cu, correlación positiva y de comportamiento similar a las brechas Bx1 y Bx2.

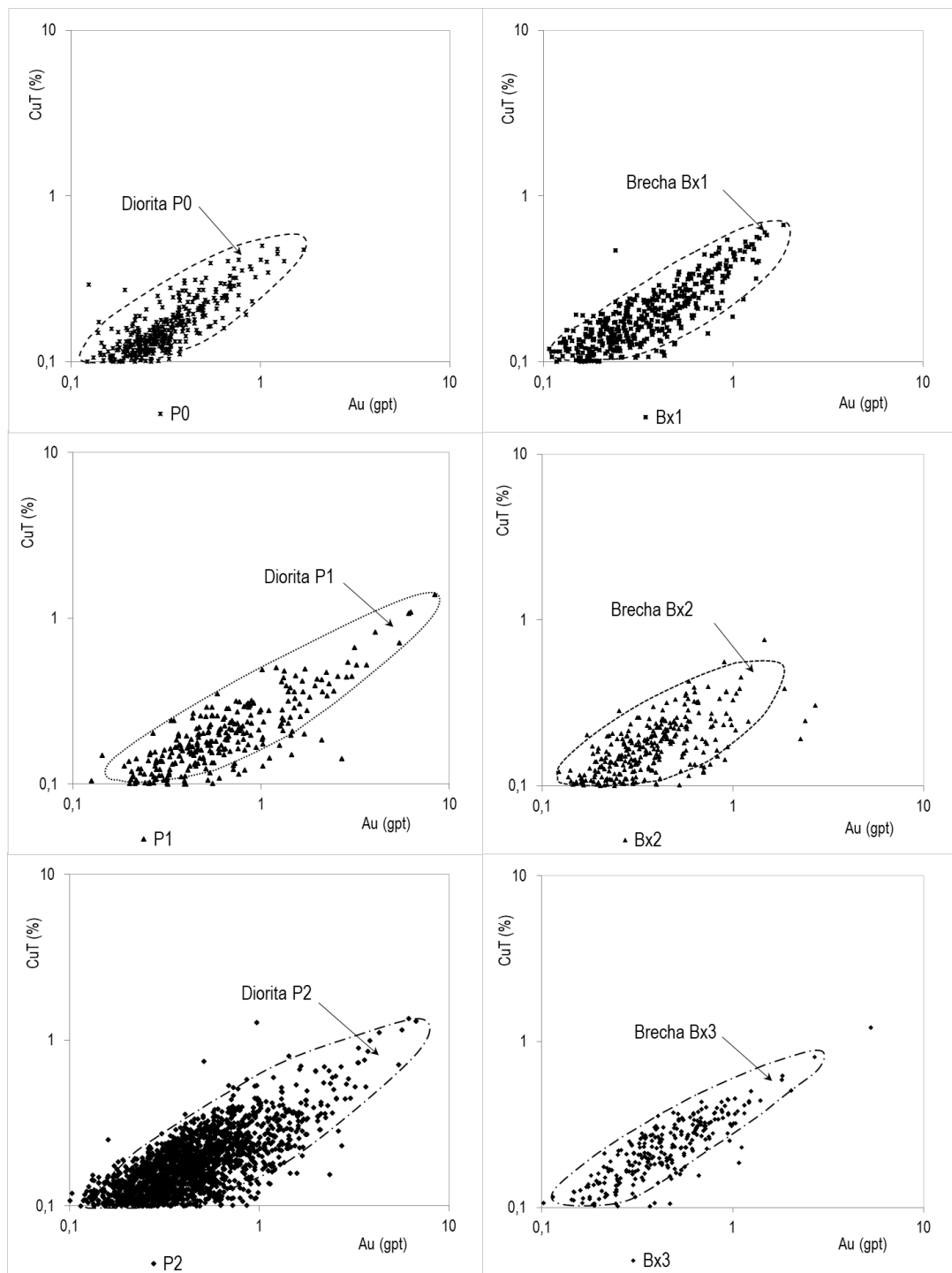


Figura 9-7: Correlación positiva de leyes de Au vs. Cu en los diferentes intrusivos dioríticos y brechas ígneas o intrusivas.

Del análisis gráfico sobre el comportamiento de leyes de Au-Cu en los diferentes dominios litológicos (Fig. 9-8) se evidencia que las unidades con los valores de leyes promedios más altos están presentes en el Pórfido P1 (0,55 gpt de Au y 0,15 % Cu), la

brecha Bx3 presenta leyes promedio de 0,53 gpt de Au y 0,23 % Cu y el pórfido P2 tiene leyes promedio de 0,33 gpt de Au y 0,15 % Cu. Los siete dominios litológicos presentan leyes promedio de 0,33 gpt de Au y 0,13 % Cu, siendo la unidad intrusiva diorítica P2 la que tiene mayor representación en volumen. Los diques intrusivos P4 al ser considerados estériles, presentan leyes <0,10 gpt Au y <0,10 % Cu.

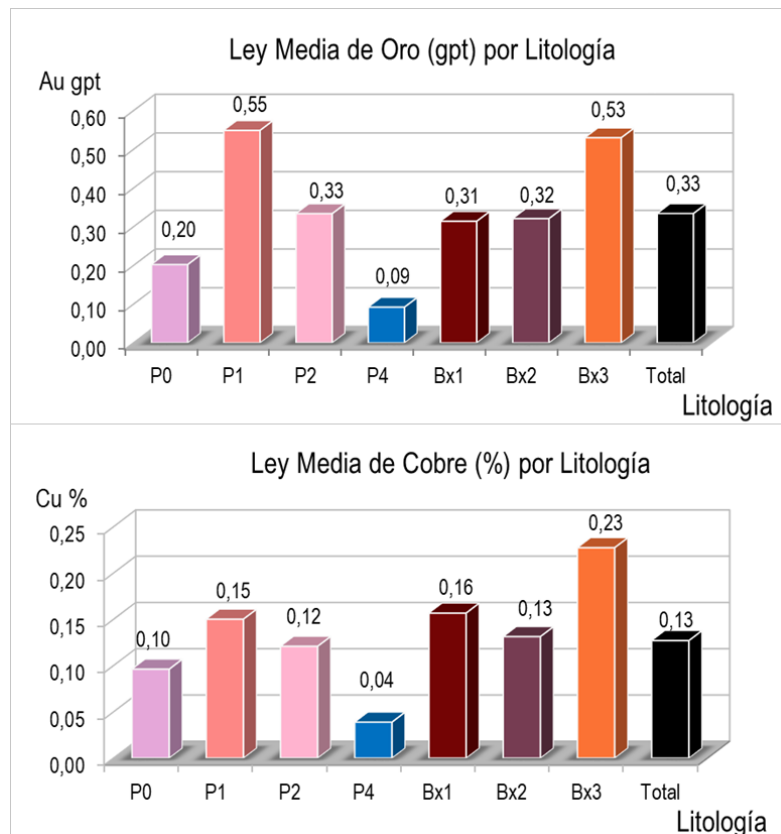


Figura 9-8: Gráficos de leyes media de oro y cobre por dominios litológicos.

Con respecto al análisis gráfico sobre el comportamiento de leyes de Au-Cu en los diferentes dominios de alteraciones (Fig. 9-9), las mejores leyes promedio de oro y cobre se presentan en la zona de alteración potásica con valores de 0,39 gpt de Au y 0,14 % Cu, la cual constituye el mayor volumen de rocas afectadas por las campañas de perforación. La alteración destructiva de feldespatos (ADF) tiene valores muy bajos de oro de 0,17 gpt de Au y 0,08 % Cu posiblemente asociado al halo pirítico, donde hay predisposición de alojar metales preciosos en vetillas distales de cuarzo o cuarzo en matriz. Sin embargo, hay anomalías importantes de oro y cobre con valores de 0,30 gpt

de Au y 0,13 % Cu asociados a la zona de alteración argílica, que está restringida sólo a sectores de falla principales. Todas estas fallas son post-minerales y los valores anómalos están evidenciando que actuaron como conductos de soluciones, presentando principalmente carbonato-yeso-arcilla como relleno principal y por sectores acompañado por cuarzo y escasos sulfuros.

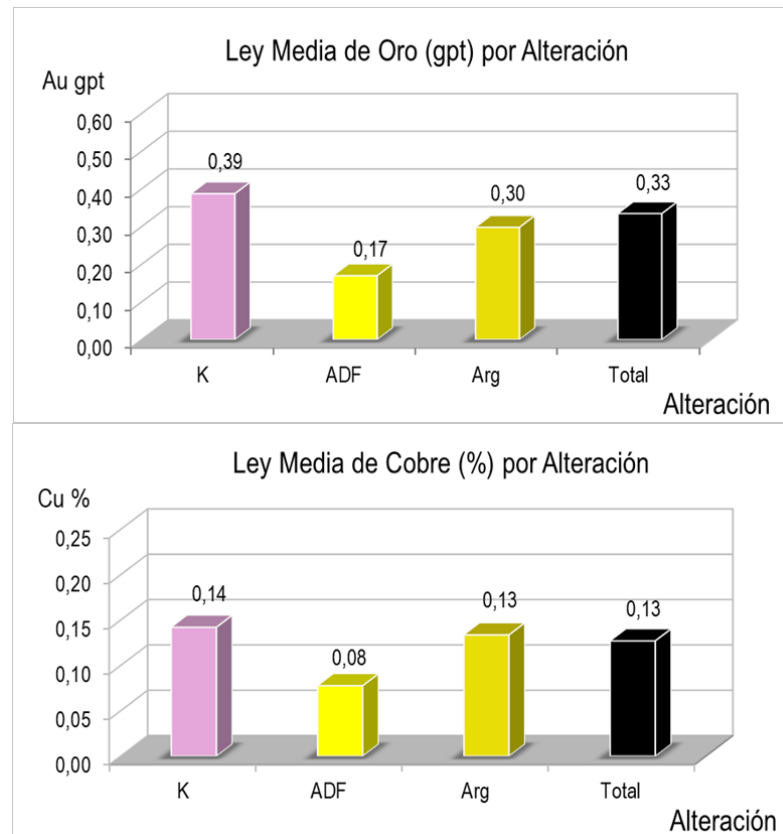


Figura 9-9: Gráficos de leyes media de oro y cobre por dominios de alteración.

El gráfico de dispersión o correlación consiste en visualizar los valores de una variable en función de otra, lo cual requiere que ambas variables hayan sido medidas en los mismos sitios.

Existe una buena correlación entre las concentraciones de oro y cobre. Cuando aumenta el oro, tiende a aumentar el cobre, lo que corrobora la pendiente positiva de la recta de regresión. Con un valor muy bueno de 0,83 para el coeficiente de correlación del Au versus Cu en los intrusivos (Fig. 9-10.A), para las brechas es de 0,89 (Fig. 9-10.B) y para los intrusivos+brechas, el coeficiente de correlación es 0,82 (Fig. 9-10.C).



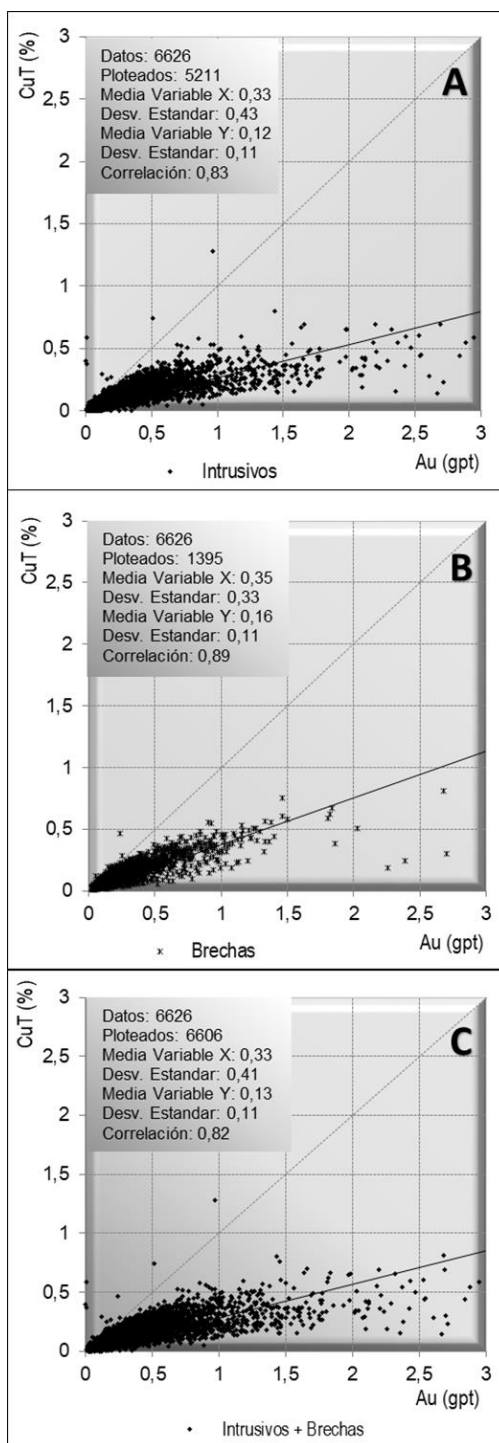


Figura 9-10: Gráficos de dispersión Au vs. Cu. A) Intrusivos; B) Brechas y C) Intrusivos + Brechas.

Se observa que las mayores dispersiones y menor correlación se presentan en las leyes altas de oro, que no significan leyes altas de cobre. La relación entre el oro y el cobre es de aproximadamente de 4:1. Por ejemplo, para 1,00 gpt Au la ley esperable de Cu es de

0,25 %. Esta relación se cumple salvo que los valores de oro son muy altos (>0,30 gpt Au) situación en la que el Cu no acompaña en la misma medida y no se mantiene la relación estimada 4:1.

La distribución de la mineralización del molibdeno está espacialmente bien definida y está representada por valores de leyes bajas  $\leq 0,010\%$  Mo. Las estimaciones cuantitativas y cualitativas de los minerales así como las observaciones macroscópicas, indican que las brechas Bx1-Bx2-Bx3 y el pórfido diorítico P0 contienen concentraciones de molibdeno ligeramente superiores a las intrusiones P1 y P2, evidenciando que la deposición de la molibdenita fue ligeramente posterior y más periférica respecto a la del Au y el Cu (Fig. 9-11).

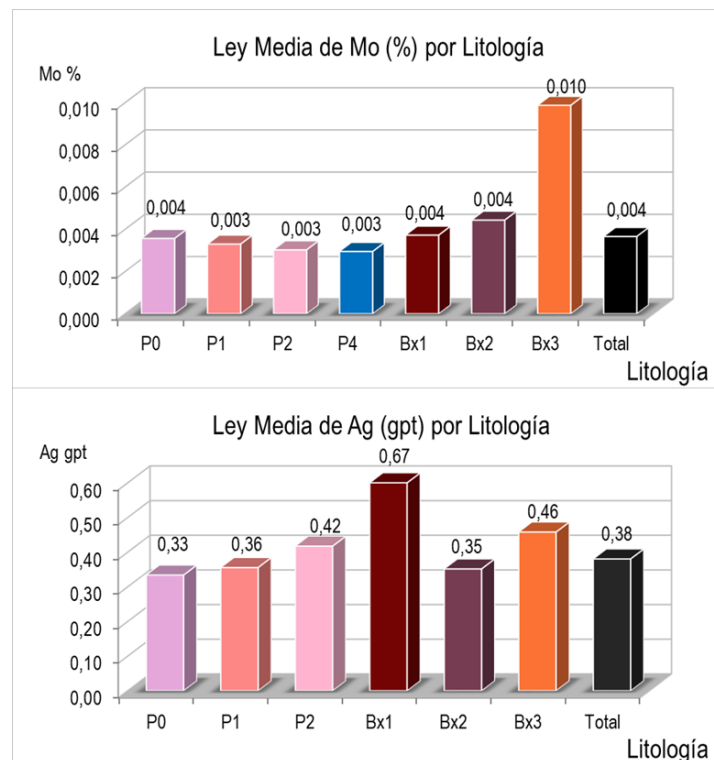


Figura 9-11: Gráficos de leyes media de molibdeno y plata por dominios de litología.

Posiblemente el Mo fue removilizado por la circulación de soluciones acuosas desde la misma roca ígnea, depositándose en sitios de permeabilidad secundaria como fallas, cercanas o en la zona de contacto entre los intrusivos más externos P2-P0. Esto se evidencia en el gráfico sobre el comportamiento de leyes de Mo en los diferentes dominios de alteraciones, donde la alteración Argílica asociada a fallas principales,

presenta el mayor valor promedio con 0,005% Mo (Fig. 9-12). Este evento tardío de menor temperatura, involucró posiblemente circulación de H<sub>2</sub>O sobreimponiendo sitios con una segunda generación de minerales del grupo del epidoto±arcillas ±carbonatos±clorita± yeso, en las rocas porfíricas (P2-P0). La introducción de agua, por soluciones descendentes o ascendentes, pudo promover la formación de carbonatos y diluir soluciones para desestabilizar ligantes clorurados y liberar Au, Ag, Pb, Zn, Cu y Fe favorecidos además, por el descenso de la temperatura. Es factible que debido a la presencia del ión hidróxido (OH<sup>-</sup>), el Mo haya sido removilizado hacia las márgenes del sistema favoreciendo su redepositación. Esta tendencia con una mayor concentración de Mo en los bordes y con un comportamiento de correlación inversa a la mineralización del Au-Cu, coincide con el modelo de Cu, Au y Mo de Bajo de la Alumbrera (Mutti *et al.*, 2013).

La Ag posee una cantidad menor de información (702 datos) que las variables de mena consideradas principales (Au, Cu y Mo) y fue determinada mediante la técnica de la espectrometría de masas con plasma de acoplamiento inductivo (ICP\_MS) para la corrida de multielementos cada 10 muestras de perforación que equivalen a 20 metros de sondeo, según un muestreo realizado cada 2 metros. Con respecto al análisis gráfico sobre el comportamiento de leyes de Ag en los diferentes dominios litológicos (Fig. 9-11), las mejores leyes promedio en los intrusivos están presentes en el pórfido diorítico P2 con un valor promedio de 0,42 gpt Ag, los intrusivos P1 y P0 presentan valores promedios similares, que varían entre 0,36 y 0,33 gpt Ag, respectivamente. La brecha Bx1 presenta el mejor valor de ley promedio con 0,67 gpt Ag, mientras que las brechas Bx3 y Bx2, muestran valores promedios similares que varían entre 0,46 y 0,35 gpt Ag, respectivamente.

Con respecto al análisis gráfico sobre el comportamiento de leyes de Ag en los diferentes dominios de alteración, las mejores leyes promedio se presentan en la zona de alteración Arg por falla (0,95 gpt), mientras que las zonas de alteración potásica y alteración destructiva de feldespatos (ADF) presentan valores promedios similares que varían entre 0,38 y 0,30 gpt Ag, respectivamente (Fig. 9-12). Todas estas fallas son post-minerales y los valores anómalos de Mo y Ag, están evidenciando que actuaron como conductos de

soluciones, presentando principalmente carbonato-yeso-arcilla como relleno principal y, por sectores, acompañados por cuarzo y escasos sulfuros.

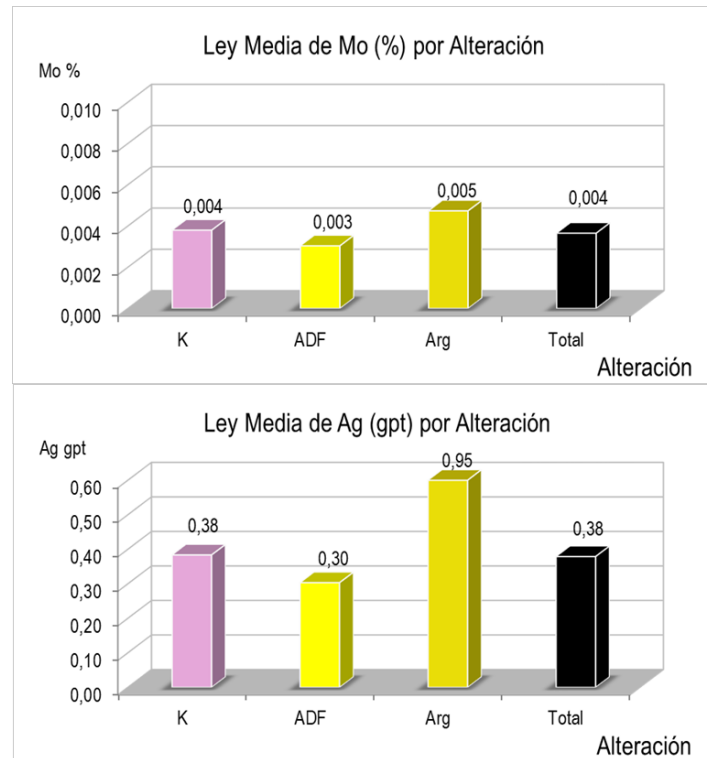


Figura 9-12: Gráficos de leyes media de molibdeno y plata por dominios de alteración.

El comportamiento en los dominios litológicos y de las alteraciones indica que la precipitación de plata sucede en dos eventos, primero con el oro y el cobre, y luego en un pulso posterior de menor temperatura en fluidos que circularon por zonas de falla (sulfosales de Ag?). Se debe tener presente que las brechas tienen un fuerte control estructural y que las anomalías de plata son importantes en ellas.

La correlación entre oro y plata es positiva pero como un coeficiente mucho más bajo (0,50) que la relación presentada con el cobre. Cuando aumenta el oro, tiende a aumentar la plata, lo que corrobora la pendiente positiva de la recta de regresión. Las mayores dispersiones y menor correlación se presentan en las leyes altas de plata, que no significan leyes altas de oro para los intrusivos, brechas o ambos (Figs. 9-13.A, B y C). La relación entre la plata y el oro es de aproximadamente de 1,2:1.

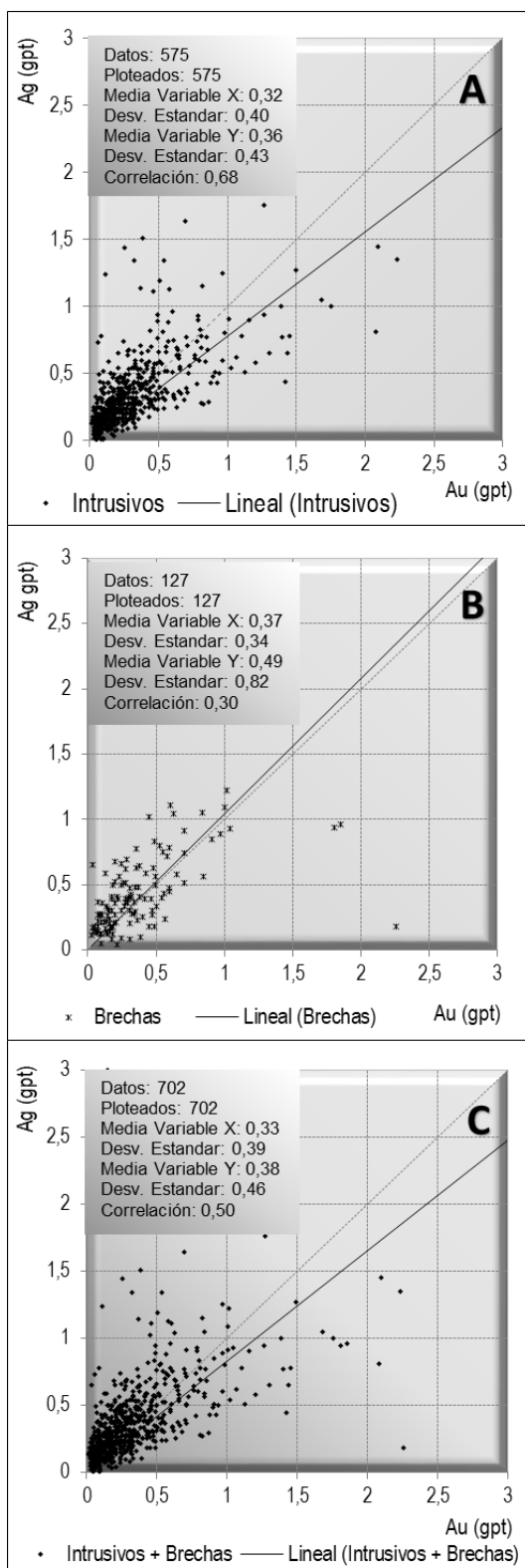


Figura 9-13: Gráficos de dispersión Au vs. Ag. A) Intrusivos; B) Brechas y C) Intrusivos + Brechas.

## 9.5 Contenido de Magnetita

Según Saegart y Lewis (1977) y Sillitoe (1979), la mayoría de los pórfidos de cobre-oro contienen más de 1% de magnetita en las vetillas. La magnetita se asocia con la zona de alteración potásica donde forma una asociación estable con calcopirita, biotita, anhidrita, feldespatos potásicos, clorita o actinolita.

En el proceso de logeo de testigos se cuantificó subjetivamente, el contenido de magnetita diseminada en % en peso cada 2,00 m según el intervalo de muestreo. En 6.584 datos analizados, el coeficiente de correlación de contenido de Mt en % versus el Au gpt es muy bajo de 0,22.

En los sondeos 51.0-44.2 y 47.0-51.4, se realizó una comparación entre vetillas de cuarzo, magnetita diseminada, litología y alteración, junto a las leyes de Au-Cu (Figs. 9-14 y 9-15). El sondeo 51.0-44.2, presenta una ligera correlación por sectores con mayores contenidos de magnetita diseminada en los pórfidos P1, P2 y la brecha Bx2, todos afectados por alteración potásica.

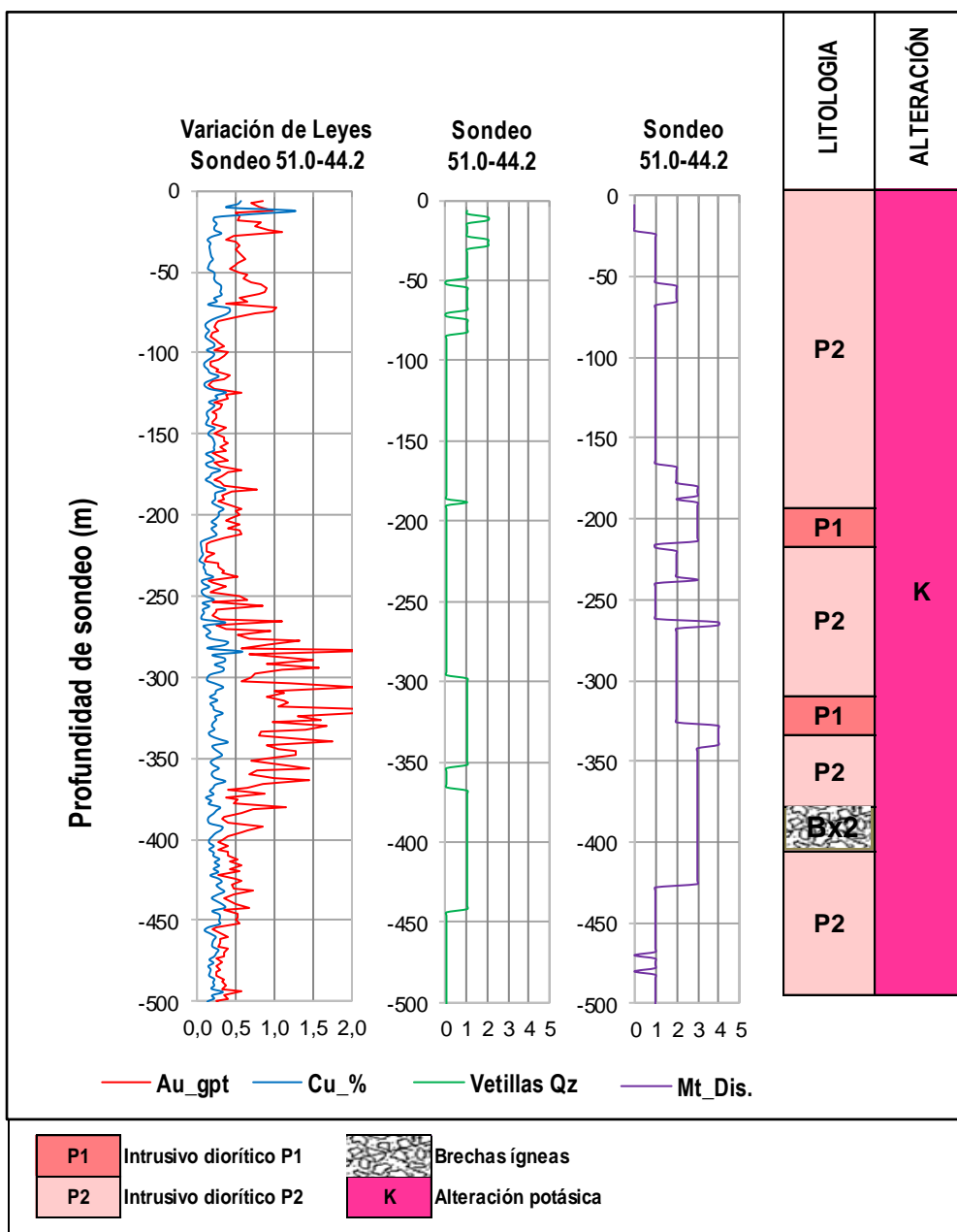


Figura 9-14: Leyes de Au y Cu en el sondeo 51.0-44.2 comparando vetillas de cuarzo, magnetita diseminada, litología y alteración.

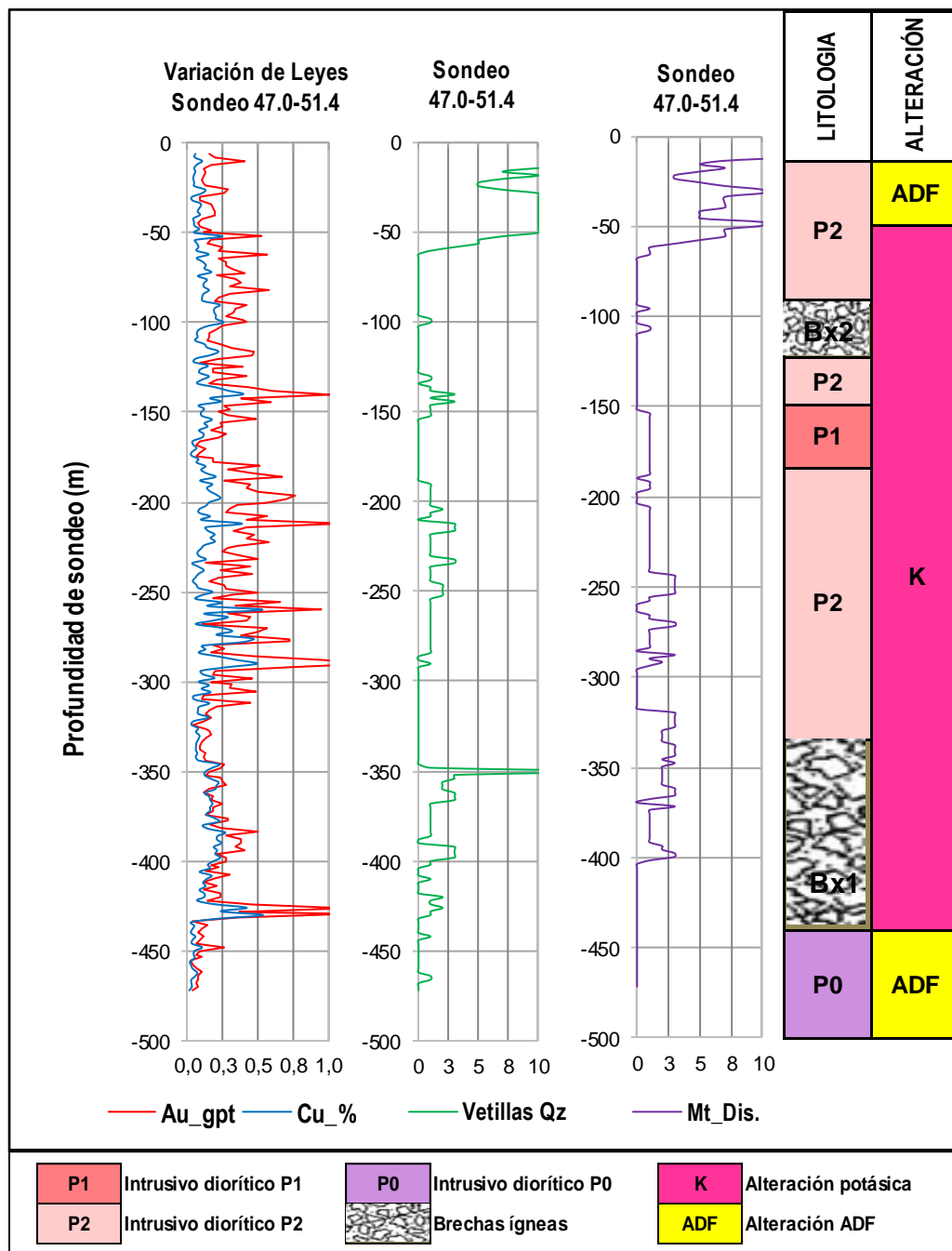


Figura 9-15: Leyes de Au y Cu en el sondeo 47.0-51.4 comparando vetillas de cuarzo, magnetita diseminada, litología y alteración.

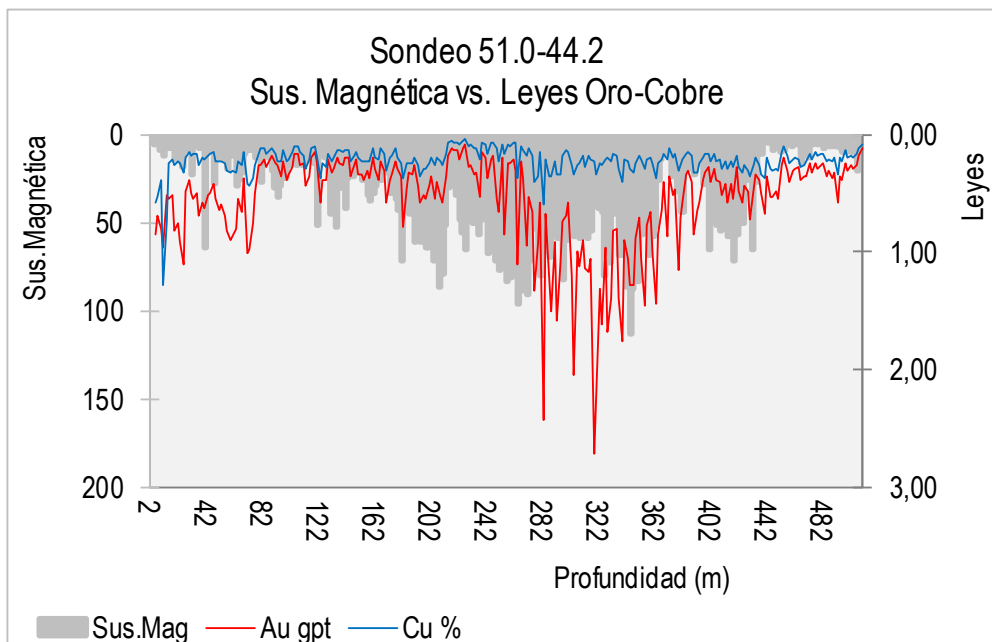
Para validar el contenido de magnetita (%) obtenida durante la etapa de logueo de testigos se midió la susceptibilidad magnética, un valor cuantitativo y objetivo que indica el grado de magnetización de un determinado material en respuesta a un campo magnético. En las rocas es una respuesta a la presencia de minerales conductores como la magnetita y/o pirrotina que causan fuertes anomalías. Se cargaron tres mediciones de susceptibilidad



por intervalo de 2,00 m, el valor final del intervalo resulta del promedio de las tres mediciones, y el dato obtenido es adimensional pero indica que a mayor valor, mayor es la susceptibilidad magnética.

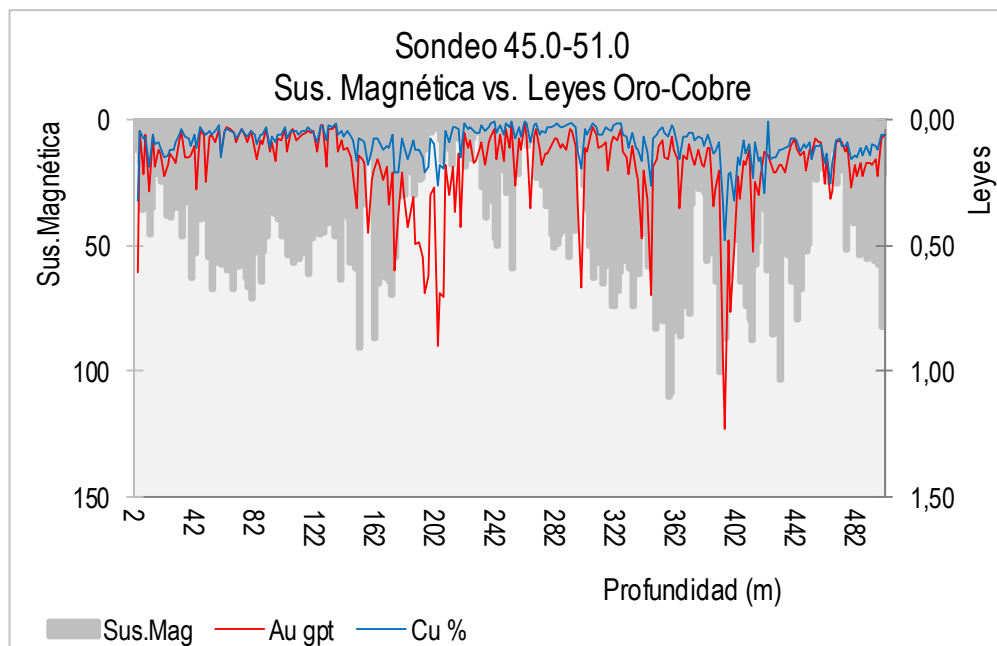
La íntima asociación del oro con zonas de alteración potásica en muchos de estos depósitos y la alta razón  $fO_2/fS_2$  sugerida por la presencia de abundante magnetita en dichas zonas, pueden combinarse con un contenido inicial alto de oro en el sistema para generar núcleos potásicos ricos en Au y Cu (Sillitoe, 1982). En estas circunstancias, la introducción de Au y Cu se realizaría mediante fluidos de alta salinidad ( $\approx 45\%$  en peso equivalente NaCl) y temperatura ( $\approx 500^\circ\text{C}$ ), de probable origen magmático, de acuerdo con los estudios de Takenouchi (1981) en Santo Tomás y de Trudu y Bloom (1988) en Tirad, Filipinas. Su transporte se realizaría mediante complejos clorurados según datos empíricos de Henley (1973) y Seward (1984). Aunque escasos estudios de detalle sugieren que el oro, asociado con zonas de alteración de cuarzo-sericita-clorita-arcilla, sobreimpuestas a asociaciones potásicas tempranas, es también de origen magmático y no proveniente de la lixiviación de las rocas de caja debido al paso de los fluidos hidrotermales (en Tirad; Trudu y Bloom, 1988), puesto que se ha comprobado que el contenido global de oro no aumenta en la medida que estas soluciones pasan a ser dominadas por aguas meteóricas. El incremento del volumen de aguas meteóricas produciría una disminución en la actividad del cloro, causando, de esta manera, la precipitación del oro (Seward, 1984 y Sillitoe, 1988).

Se realizaron los análisis gráficos y estadísticos de algunos sondeos ubicados en el sector central de BED, para observar y analizar el comportamiento de los valores de susceptibilidad magnética versus el contenido de Au-Cu (Figs. 9-16 y 9-17). Se evidencia que hay una ligera o débil correlación por sectores para el Au, pero en forma general hay una correlación muy baja entre las variables.



	Au gpt	Sus.Mag	Cu %
Media	0,56	33,32	0,22
Desviación estándar	0,41	24,77	0,11
Varianza de la muestra	0,17	613,79	0,01
Moda	0,50	6,22	0,22
Mínimo	0,09	1,78	0,04
Máximo	2,71	113,33	1,28
Cuenta	254	254	254
Coef. Correlación Au-Mag	0,27		
Coef. Correlación Cu-Mag		-0,10	

Figura 9-16: Resumen estadístico y gráficos de leyes de Au-Cu vs. Susceptibilidad magnética en profundidad del sondeo 51.0-44.2.



	Au gpt	Sus.Mag	Cu %
Media	0,18	42,22	0,09
Desviación estándar	0,17	22,98	0,06
Varianza de la muestra	0,03	527,90	0,00
Moda	0,09	16,37	0,06
Mínimo	0,02	1,37	0,01
Máximo	1,23	110,40	0,48
Cuenta	250	250	250
Coef. Correlación Au-Mag		-0,14	
Coef. Correlación Cu-Mag			-0,10

Figura 9-17: Resumen estadístico y gráficos de leyes de Au-Cu vs. Susceptibilidad magnética en profundidad del sondeo 45.0-51.0.

### 9.6 Estadísticas Elementales

Se realizaron los cálculos de algunos parámetros estadísticos básicos sobre un total de 6.626 datos. Como la Ag posee una cantidad menor de información (702 datos), que las variables de grado mena (Au, Cu y Mo), no fue considerada. Con los resultados obtenidos sobre la distribución de valores, se construyó una tabla con la estadística básica global por litología y por alteración (Tabla 9-1 y 9-2).

Litología	Código	Nº Muestras	% Datos	Media gpt Au	Media % CuT	Media % Mo	Desvío Estándar Au	Desvío Estándar CuT	Desvío Estándar Mo	Coef. Variación Au	Coef. Variación CuT	Coef. Variación Mo	Longitud Media Muestreo	% Longitud muestreo <2.00m
Global	-----	6626	100%	0,33	0,128	0,004	0,41	0,11	0,007	1,22	0,86	1,85	2,00	0,6%
Diorita (P0)	20	949	14%	0,20	0,096	0,096	0,19	0,08	0,004	0,93	0,86	1,16	2,00	1,3%
Diorita (P1)	21	506	8%	0,55	0,150	0,003	0,79	0,14	0,005	1,43	0,93	1,77	2,00	0,4%
Diorita (P2)	22	3756	57%	0,33	0,121	0,003	0,39	0,11	0,007	1,17	0,88	1,98	2,00	0,2%
Diorita (P4)	30	19	0,3%	0,09	0,039	0,003	0,09	0,03	0,002	0,93	0,78	0,79	1,92	5,3%
Brecha (Bx1)	40	655	12%	0,31	0,157	0,003	0,28	0,11	0,003	0,88	0,69	0,98	2,00	0,8%
Brecha (Bx2)	41	471	7%	0,32	0,131	0,005	0,28	0,09	0,006	0,88	0,68	1,32	2,00	0,2%
Brecha (Bx3)	42	270	4%	0,49	0,220	0,010	0,45	0,13	0,018	0,92	0,61	1,72	1,99	1,1%

Tabla 9-1: Estadística básica y global por litología.

A las litologías P2, P0 y Bx1 le corresponden el 83% de la población total de datos, en donde la litología P2 posee el 57% de la misma. La media ponderada por la longitud de muestreo para el oro, el cobre total y el molibdeno son similares para las litologías P2, Bx1 y Bx2, cercanas a la media global. El coeficiente de variación (razón entre la desviación estándar y la media, es adimensional) para el oro, cobre total y molibdeno en las litologías P1 y P2 son similares, cercanos a la media global. Los intervalos de muestreo menores a 2 metros se encuentran principalmente en la diorita P4 (5,3%), mientras que en el resto de las litologías los porcentajes se presentan cercanos a la media global (0,6%).

Alteración	Código	Nº Muestras	% Datos	Media gpt Au	Media % CuT	Media % Mo	Desvío Estándar Au	Desvío Estándar CuT	Desvío Estándar Mo	Coef. Variación Au	Coef. Variación CuT	Coef. Variación Mo	Longitud Media Muestreo	% Longitud muestreo <2.00m
Global	-----	6626	100%	0,33	0,13	0,004	0,41	0,11	0,007	1,22	0,86	1,85	2,00	0,6%
Argílica por falla (Arg)	92	226	3%	0,30	0,13	0,006	0,41	0,13	0,018	1,39	0,61	1,72	1,99	1,1%
Filica-Argílica (ADF)	94	1501	23%	0,17	0,08	0,003	0,21	0,09	0,005	1,21	1,22	1,56	2,00	0,9%
Potásica (K)	95	4899	74%	0,39	0,14	0,004	0,45	0,11	0,007	1,15	0,79	1,77	2,00	0,5%

Tabla 9-2: Estadística básica y global por alteración.

A la alteración potásica (K) y la destructiva de feldespatos (ADF) les corresponde el 97% de la población total de datos, en donde la alteración K posee el 74% de la misma. La media ponderada por la longitud de muestreo y el coeficiente de variación para el oro, cobre total y molibdeno son similares para la alteración potásica y argílica por falla, y son cercanas a la media global. Los intervalos de muestreo menores a 2 m se encuentran principalmente en la zona de alteración argílica por falla (1,1%), mientras que en el resto de las litologías los porcentajes se encuentran cercanos a la media global (0,6%).

En **resumen**, la distribución de la mineralización de Au-Cu asociado a los intrusivos ocurre en finas vetillas, en vetas y en forma diseminada en los pórfidos dioríticos (P1 y P2), para la diorita de caja (P0), disminuye en leyes como también los pórfidos dioríticos

más jóvenes, de los cuales el pórfido post-mineralización (P4), es prácticamente estéril. Las inclusiones de calcopirita son en finas vetillas de cuarzo, cuarzo-carbonato, yeso, yeso-carbonato, en la matriz diseminada muy fina y asociada también con la alteración de feldespato K-cuarzo-biotita+magnetita secundaria fina diseminada en la matriz. Esto indica que las principales etapas de mineralización ocurrieron en las dos intrusiones dioríticas P1 y P2.

La distribución asociada a un segundo evento de mineralización, frecuente en depósitos tipo pórfidos, está representada por cuerpos de brechas ígneas o intrusivas denominados Bx1, Bx2 y Bx3.

Hay otro evento posterior asociado a fallas principales post-minerales, asociado a la alteración argílica por fallas principales (Arg); el mismo cuenta con valores promedios anómalos de Au-Cu-Mo y Ag, que están evidenciando que las mismas actuaron como conductos de soluciones, presentando principalmente carbonato-yeso-arcilla como relleno principal, y por sectores, cuarzo y escasos sulfuros. Este evento tardío de menor temperatura, involucró posiblemente circulación de H<sub>2</sub>O sobreimponiendo sitios con una segunda generación de minerales del grupo del epidoto-arcillas±carbonatos-clorita-yeso, en las rocas porfíricas (P2-P0). La introducción de agua, por soluciones descendentes o ascendentes, pudo promover la formación de carbonatos y diluir soluciones para desestabilizar ligantes clorurados y liberar Au, Ag, Pb, Zn, Cu y Fe favorecidos además, por el descenso de la temperatura. Es factible que debido a la presencia de OH<sup>-</sup>, el Mo haya sido removilizado hacia las márgenes del sistema favoreciendo su redepositación. Esta tendencia con una mayor concentración de Mo en los bordes y con un comportamiento de correlación inversa a la mineralización del Au-Cu, coincide con el modelo de Cu, Au y Mo de Bajo de la Alumbrera.

Existe una buena correlación entre las concentraciones de oro y cobre. Cuando aumenta el oro, tiende a aumentar el cobre, lo que corrobora la pendiente positiva de la recta de regresión. Los valores son buenos para el coeficiente de correlación en el Au vs. Cu en los intrusivos + brechas y es de 0,82, así la relación entre el oro y el cobre es de aproximadamente de 4:1; esta relación en general se cumple salvo que los valores de oro

sean muy altos ( $>0,30$  gpt Au) situación en la que el Cu no acompaña en la misma medida y no se mantiene dicha relación.

La correlación entre oro y plata es positiva pero con un coeficiente de correlación de 0,50 mucho mas bajo que la presentada con el cobre, observándose las mayores dispersiones y menor correlación en las leyes altas de plata, que no significan leyes altas de oro para los intrusivos+brechas. La relación entre la plata y el oro es de aproximadamente de 1,2:1.

El contenido de magnetita diseminada en % en peso cada 2,00 m según el intervalo de muestreo en los 6.584 datos analizados, indica un coeficiente de correlación de contenido de Mag en % *versus* el Au gpt muy bajo de 0,22, reflejando una débil correlación por sectores en las unidades mineralizadas P1-P2 y brechas.

Para obtener la representación gráfica de la distribución de la mineralización y la correlación de metales en profundidad en el proyecto, se definieron grillas en MS 3D cada 30 m en dirección E-O, N-S y en planta cada 15 m, seleccionando la planta en la cota 2.185 m (Fig. 9-18). La mineralización de oro sigue abierta principalmente hacia el NE en profundidad y parcialmente al SE, ambos sectores con contenido de cobre  $<0,20\%$ . El modelo geológico no descarta que el contenido de cobre aumente en profundidad, lo que debe aún ser comprobado con sondeos profundos (Figs. 9-19, 9-20 y 9-21).

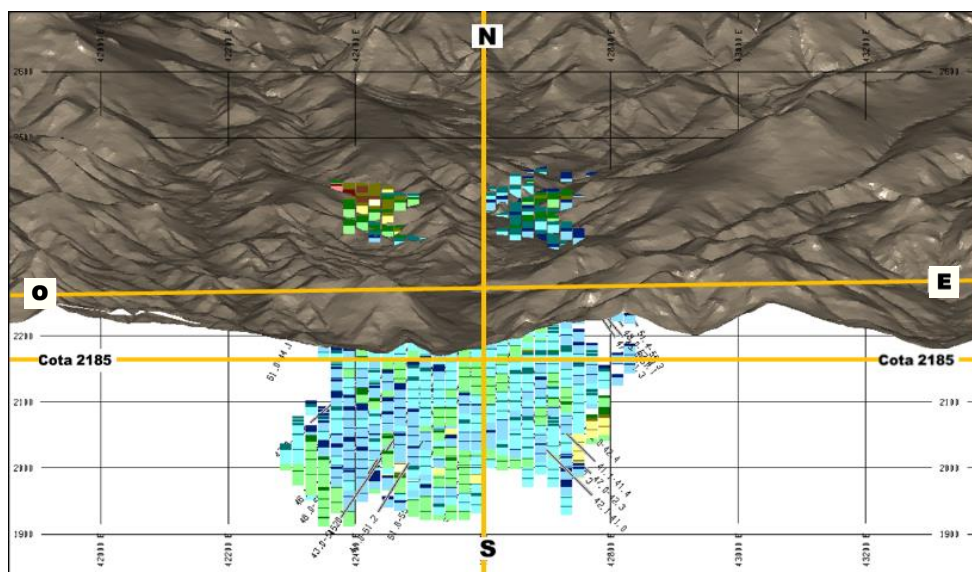


Figura 9-18: Secciones E-O y N-S cada 30 m y en planta cada 15 m en el proyecto, generadas en MS 3D.

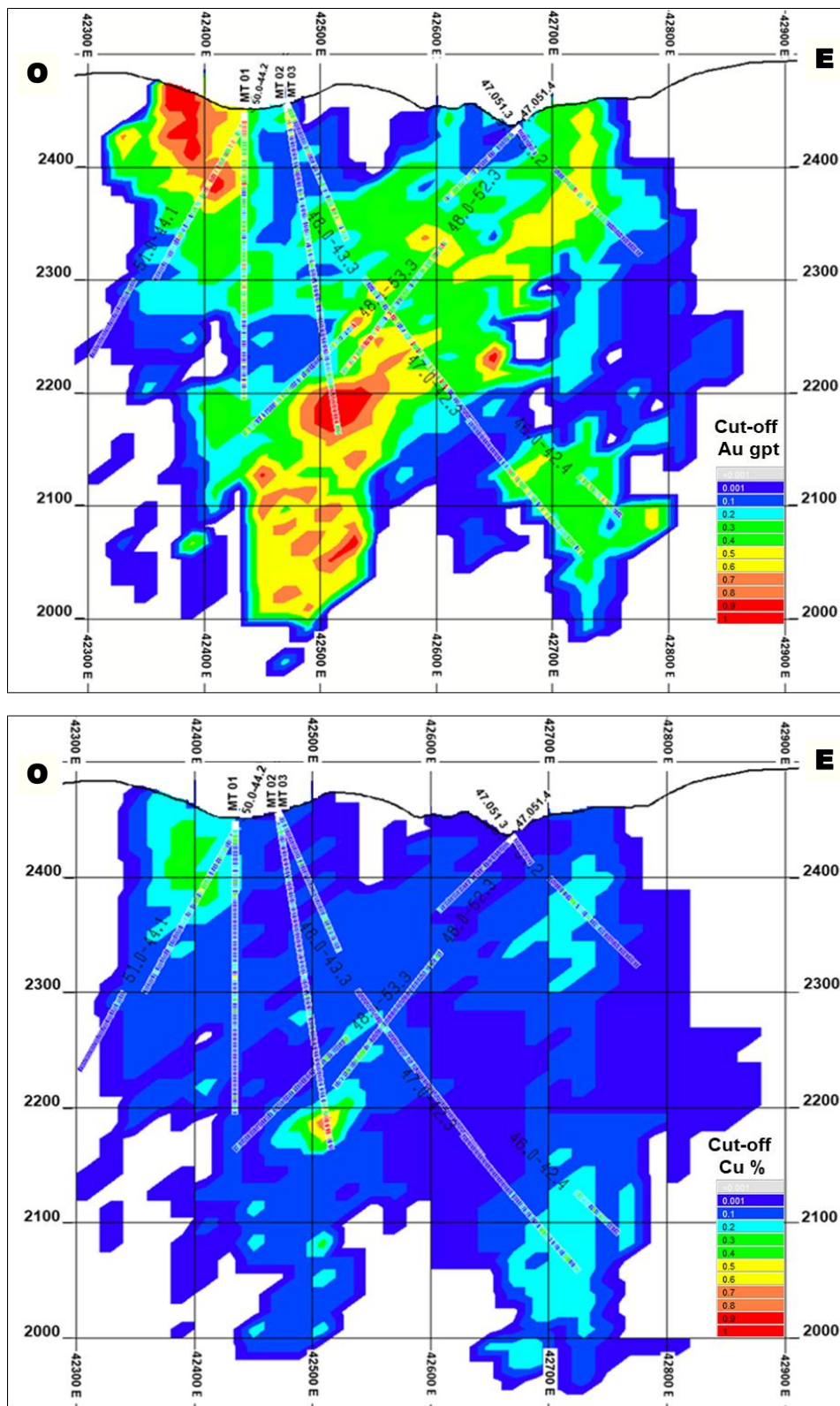


Figura 9-19: Sección E-O según grilla con influencia  $\pm 15$  m, sondeos con leyes y modelo de bloques de leyes de Au (gpt) y Cu (%), en formato “grade shell” generado en *MineSight 3D*.

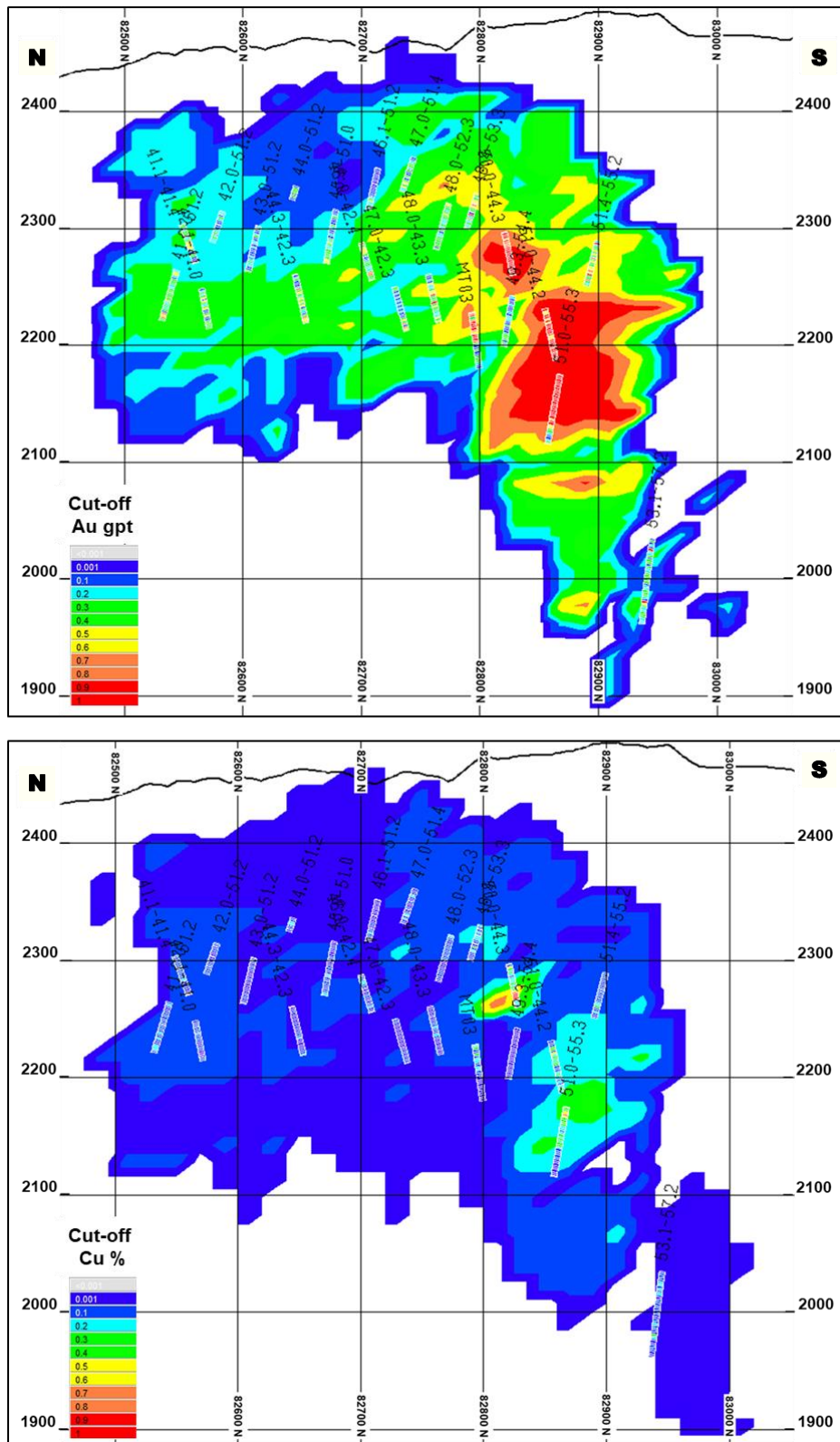


Figura 9-20: Sección N-S según grilla con influencia  $\pm 15$  m, sondeos con leyes y modelo de bloques de leyes de Au (gpt) y Cu (%), en formato “grade shell” generado en *MineSight 3D*.



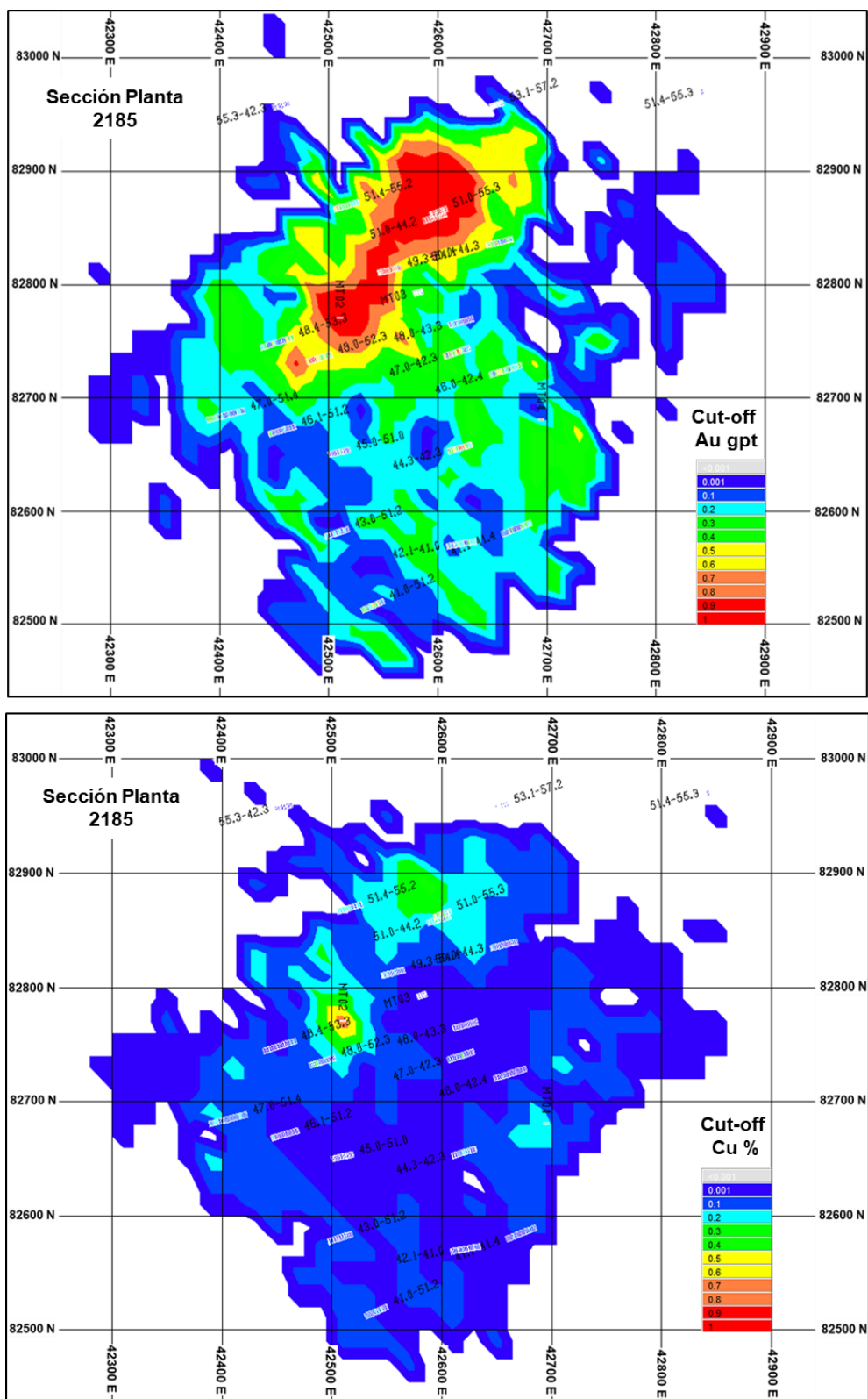


Figura 9-21: Sección planta en cota 2185 m, según grilla con influencia  $\pm 7,5$  m, sondeos con leyes y modelo de bloques de leyes de Au (gpt) y Cu (%), en formato “grade shell” generado en *MineSight 3D*.

## 10 Geoquímica

Se llevaron a cabo 11 análisis lito-geoquímicos de muestras representativas, seleccionadas en testigos de rocas de las principales secuencias de intrusivos dioríticos (P0, P1, P2), pertenecientes al proyecto BED, las cuales son las unidades litológicas dominantes a escala del depósito y hospedan la mayor parte de la mineralización del yacimiento.

Los análisis se realizaron en el laboratorio *Acme Analytical Laboratories Ltd.* de Canadá (*Anexo II, Análisis Lito-geoquímicos*), determinándose roca total (Tabla 10-1) por espectrometría con plasma acoplado inductivamente (ICP, *Inductively Coupled Plasma*) y elementos traza de tierras raras (Tabla 10-2) por espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS, *Inductively Coupled Plasma Mass*).

Las rocas tienen sobreimpuestos grados variables de silicificación, y alteraciones fílica y potásica, de grados leve a moderado, con valores de LOI (*Loss on Ignition*) que van desde 1,7% hasta 5,7% con un valor promedio de 3,7%.

Muestra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Sondeo	51.0-44.1	42.1-41.0	48.4-53.3	48.1-47.0	50.3-44.3	46.0-42.4	49.3-54.4	46.0-42.4	50.0-44.3	52.0-50.4	42.1-41.0
Prof. (m)	246	247	457	109	197	200	319	150	168	271	310
Litología	Diorita	Diorita	Diorita	Diorita	Diorita	Diorita	Diorita	Diorita	Diorita	Diorita	Diorita
Código	P0	P0	P0	P1	P1	P1	P1	P2	P2	P2	P2
%											
SiO <sub>2</sub>	55,32	60,36	62,46	61,04	59,94	57,69	60,10	61,35	59,46	62,08	57,13
TiO <sub>2</sub>	0,85	0,61	0,55	0,68	0,68	0,64	0,60	0,61	0,72	0,60	0,76
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,19	16,01	16,50	16,20	14,93	15,63	15,43	15,63	15,67	16,24	16,79
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,23	6,72	5,35	6,23	5,84	5,87	6,15	5,04	7,41	4,76	7,30
MnO	0,04	0,04	0,03	0,04	0,05	0,05	0,05	0,04	0,05	0,03	0,07
MgO	3,51	1,86	1,52	2,15	2,50	2,54	2,02	2,39	2,62	2,12	2,66
CaO	4,42	4,72	4,05	2,84	3,65	5,50	4,64	3,48	4,38	3,21	6,65
Na <sub>2</sub> O	2,43	3,42	3,74	2,90	2,32	2,75	3,37	2,48	3,30	2,58	3,33
K <sub>2</sub> O	3,58	2,28	3,44	4,19	4,23	3,12	3,57	3,68	3,10	3,76	2,82
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,48	0,33	0,24	0,32	0,25	0,29	0,27	0,29	0,26	0,28	0,36
LOI	5,70	3,40	1,70	3,10	4,90	5,60	3,50	4,20	2,70	4,00	1,80
Total	99,75	99,75	99,58	99,69	99,29	99,68	99,70	99,19	100,13	99,66	99,67
Mg#	49,00	35,00	36,00	41,00	46,00	46,00	39,00	48,00	41,00	47,00	42,00

Tabla 10-1: Análisis químicos de elementos mayoritarios.

La pérdida por ignición (LOI) se determina llevando a 1.050° C una muestra pesada y se considera que es un indicador de alteración ya que es directamente proporcional a los contenidos de H<sub>2</sub>O<sup>+</sup> y CO<sub>2</sub> de la roca (Chambefort, 2005). Este valor se debe considerar con cuidado, ya que no solo depende de la alteración sino también de la composición de

los minerales que integran la roca, así una cuarcita tendrá un valor de LOI muy bajo y rocas con cantidades importantes de sulfuros como minerales accesorios, darán valores mayores a los que se obtendrían en rocas equivalentes sin esos accesorios.

Muestra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Sondeo	51.0-44.1	42.1-41.0	48.4-53.3	48.1-47.0	50.3-44.3	46.0-42.4	49.3-54.4	46.0-42.4	50.0-44.3	52.0-50.4	42.1-41.0
Prof. (m)	246	247	457	109	197	200	319	150	168	271	310
Litología	Diorita	Diorita	Diorita	Diorita	Diorita	Diorita	Diorita	Diorita	Diorita	Diorita	Diorita
Código	P0	P0	P0	P1	P1	P1	P1	P2	P2	P2	P2
ppm											
Ba	943,0	424,0	700,0	652,0	713,0	601,0	591,0	560,0	586,0	773,0	622,0
Be	<1	2,0	<1	<1	<1	<1	<1	2,0	1,0	2,0	<1
Co	12,9	12,6	6,9	5,8	10,9	11,0	6,8	12,5	9,1	11,9	13,1
Cs	2,6	5,5	1,9	7,5	16,8	9,2	3,6	14,1	4,9	5,5	0,7
Ga	18,3	17,5	17,1	16,8	16,2	16,0	17,0	17,8	17,3	16,2	17,4
Hf	4,1	5,1	4,2	5,0	3,4	3,9	3,4	3,7	3,7	3,9	3,6
Nb	14,9	16,6	12,9	16,1	17,0	14,4	15,0	16,1	18,0	13,0	13,2
Rb	103,7	75,0	85,2	117,6	105,9	99,6	74,7	100,1	87,5	88,2	68,6
Sn	1,0	<1	8,0	<1	2,0	1,0	5,0	7,0	3,0	6,0	2,0
Sr	485,2	501,0	639,2	321,5	550,6	707,7	725,2	460,4	669,4	476,3	674,3
Ta	1,2	1,1	1,0	1,1	1,3	1,3	1,2	1,3	1,3	1,1	0,8
Th	24,1	7,2	6,6	7,5	5,3	6,5	5,9	7,2	5,9	6,9	5,1
U	1,4	1,0	2,1	1,6	1,4	1,3	1,3	1,2	1,3	1,7	1,3
V	142,0	61,0	92,0	83,0	102,0	112,0	93,0	121,0	106,0	109,0	148,0
W	2,5	2,1	0,9	1,9	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	1,6	<0,5
Zr	153,2	190,4	138,1	182,4	126,9	128,7	120,0	130,4	129,0	138,9	123,0
Y	24,0	22,7	17,1	23,7	15,9	14,6	13,7	14,1	14,7	17,1	18,7
La	23,9	33,5	20,5	36,2	26,1	19,3	16,0	17,4	17,2	23,1	20,5
Ce	61,7	65,8	40,7	71,5	46,5	37,1	30,8	33,9	33,1	45,1	40,6
Pr	6,1	7,5	4,8	8,1	6,0	4,6	3,7	5,5	4,0	5,4	5,1
Nd	25,5	31,4	21,3	31,6	21,4	16,9	15,7	15,1	15,6	22,1	20,2
Sm	5,4	5,1	3,6	5,8	4,0	3,6	3,0	3,1	3,2	4,1	4,4
Eu	1,4	1,4	1,0	1,7	1,1	1,0	0,9	0,9	1,0	1,3	1,4
Gd	5,0	4,6	3,4	5,4	3,7	3,4	3,0	2,9	3,1	3,6	3,9
Tb	0,7	0,7	0,5	0,7	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,5	0,6
Dy	4,4	4,3	3,4	4,5	3,0	2,9	2,5	2,6	2,5	3,0	3,6
Ho	0,8	0,7	0,6	0,8	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,6	0,6
Er	2,4	2,1	1,6	2,5	1,6	1,6	1,3	1,5	1,3	1,7	1,9
Tm	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3
Yb	2,4	2,3	1,4	2,5	1,4	1,4	1,1	1,5	1,5	1,7	1,8
Lu	0,4	0,4	0,3	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3
Ni	9,4	5,2	3,2	7,8	13,1	9,1	10,3	8,0	17,4	2,7	5,6
Se	2,2	<0,5	<0,5	<0,5	1,3	<0,5	<0,5	1,6	<0,5	2,6	<0,5
Ba/Nb	63,3	25,5	54,3	40,5	41,9	41,7	39,4	34,8	32,6	59,5	47,1
Rb/Nb	7,0	4,5	6,6	7,3	6,2	6,9	5,0	6,2	4,9	6,8	5,2
Zr/Hf	37,4	37,3	32,9	36,5	37,3	33,0	35,3	35,2	34,9	35,6	34,2
Ce/Yb	25,5	28,7	29,5	28,6	32,5	26,3	27,0	23,2	22,4	27,0	23,1
Hf/Yb	1,7	2,2	3,0	2,0	2,4	2,8	3,0	2,5	2,5	2,3	2,0

Tabla 10-2: Análisis químicos de elementos traza y tierras raras.

La composición normativa de los intrusivos mineralizados, está integrada por: cuarzo (11,18-22,92 %), plagioclasa (36,09-50,46 %), ortoclasa (13,84-25,58 %), hiperstena (3,79-8,74 %) y como accesorios: rutilo, ilmenita, hematita, apatita, zircón y titanita (Tabla 10-3).

Muestra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Sondeo	51.0-44.1	42.1-41.0	48.4-53.3	48.1-47.0	50.3-44.3	46.0-42.4	49.3-54.4	46.0-42.4	50.0-44.3	52.0-50.4	42.1-41.0
Prof. (m)	246	247	457	109	197	200	319	150	168	271	310
Litología	Diorita	Diorita	Diorita	Diorita	Diorita	Diorita	Diorita	Diorita	Diorita	Diorita	Diorita
Código	P0	P0	P0	P1	P1	P1	P1	P2	P2	P2	P2
wt%	CIPW										
Cuarzo	13,53	19,45	16,99	19,35	18,94	15,59	15,34	22,28	15,77	22,92	11,18
Plagioclasa	39,51	50,36	49,43	36,65	36,29	44,10	44,69	36,49	46,46	36,09	50,46
Ortoclasa	21,96	13,84	20,91	25,27	25,58	18,95	21,61	22,18	18,83	22,87	17,17
Corindón	1,22			2,36	0,32			1,80		2,58	
Dióxido						2,13	2,67				4,83
Hiperstena	8,74	4,63	3,79	5,36	6,23	5,34	3,79	5,95	6,53	5,28	4,39
Rutilo	0,80	0,56	0,24	0,63	0,62			0,56	0,18	0,57	
Ilmenita	0,09	0,09	0,06	0,09	0,11	0,11	0,11	0,09	0,10	0,06	0,15
Hematita	7,23	6,72	5,35	6,23	5,84	5,87	6,15	5,04	7,41	4,76	7,30
Apatita	1,11	0,76	0,56	0,74	0,58	0,67	0,63	0,67	0,60	0,65	0,83
Zircon	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Cromita									0,01		
Titanita			0,67			1,43	1,33		1,21		1,67
Total	94,22	96,45	98,03	96,71	94,54	94,22	96,35	95,09	97,13	95,81	98,01
Clasificación Petrográfica	Monzodiorita cuarzosa	Granodiorita	Monzodiorita cuarzosa	Granito	Granito	Monzodiorita cuarzosa	Monzodiorita cuarzosa	Granito	Monzodiorita cuarzosa	Granito	Monzodiorita cuarzosa

Tabla 10-3: Composición normativa de intrusivos. Norma CIPW.

## 10.1 Elementos Mayoritarios

Utilizando el diagrama QAP (Le Maitre *et al.*, 1989), con los contenidos normativos de cuarzo, feldespato alcalino y plagioclasa en las rocas estudiadas; se determinó que composicionalmente dominan las monzodioritas cuarzosas/monzogabros cuarzosos, otras cuatro muestras (P1 y P2) caen en el campo del granito y solo una muestra (P0) en el de la granodiorita (Fig. 10-1.A).

Con el diagrama R1-R2 de De la Roche *et al.* (1980), las muestras analizadas se disponen principalmente en el campo de la granodiorita y solo una muestra (P2) en el de la tonalita (Fig. 10-1.B). Este diagrama propone un esquema de clasificación para rocas plutónicas donde las proporciones químicas fueron recalculadas a miliciones ( $R1=4Si-11(Na+K)-2(Fe+Ti)$ ;  $R2=6Ca+2Mg+Al$ ). Aunque el diagrama R1-R2 es poco popular debido a los límites curvilíneos de los campos y que parámetros R1 y R2 no tienen ningún significado inmediato, se le considera muy útil y preciso ya que para introducir los análisis en el diagrama se utilizan ocho variables (elementos mayores) como parámetros. Esto es importante, ya que involucra mayor cantidad de elementos gravitantes en el diagrama, arrojando una clasificación más precisa y robusta.

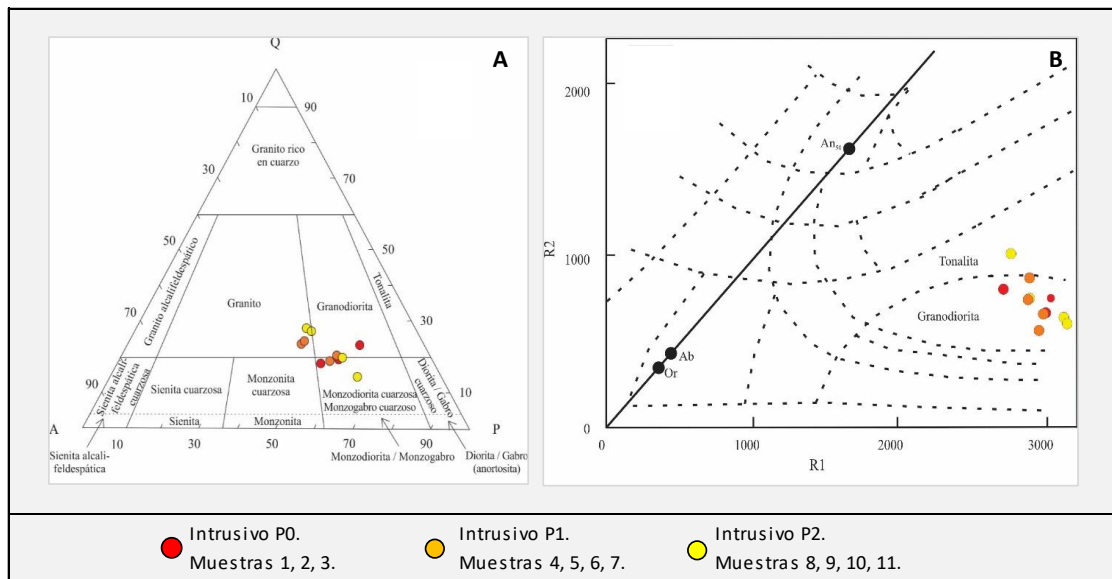


Figura 10-1: A) Clasificación Modal de muestras según diagrama QAP (Le Maitre *et al.*, 1989). B) Clasificación de cationes R1-R2 (De la Roche *et al.*, 1980).

Las muestras fueron clasificadas químicamente en base al contenido total de álcalis versus el contenido total de sílice del diagrama TAS (Le Bas *et al.*, 1986). En el mismo, la línea de trazos finos divide los campos alcalino y subalcalino (Irvine y Baragar, 1971), mientras que las líneas de trazos gruesos corresponden a las isopletas sigma de Ritmann (1957), que definen el linaje magmático subalcalino, alcalino medio y alcalino. De acuerdo a esto, las rocas analizadas se encontrarían dentro del campo subalcalino (Irvine y Baragar, 1971) o en los campos alcalino medio y subalcalino (Ritmann, 1957). Las muestras analizadas se concentran en el límite de andesita-traquiandesita con valores de SiO<sub>2</sub> entre 55,32 y 62,46 %, a excepción de una que cae en el campo de la traquiandesita basáltica (Fig. 10-2.A).

En el diagrama TAS (Cox *et al.*, 1979), adaptado por Wilson (1889) para la clasificación química y nomenclatura de rocas plutónicas, las rocas de BED también presentan una estrecha composición para la mayoría de las muestras, que se concentran en los campos diorita y sienodiorita, salvo una muestra correspondiente a P0 que grafica en el límite entre sienodiorita y granodiorita (Fig. 10-2.B).

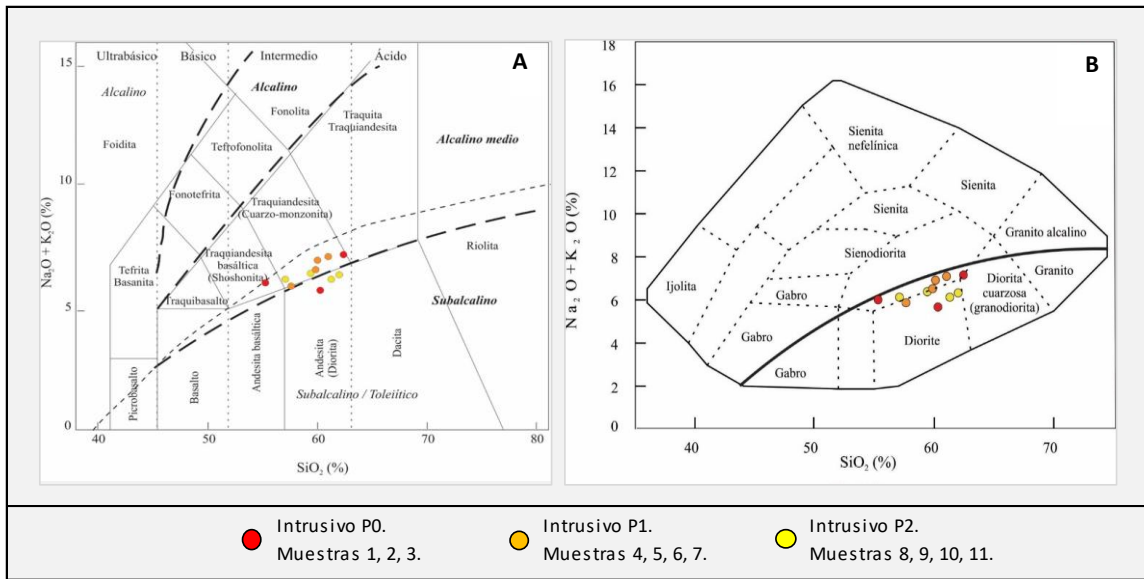


Figura 10-2: Diagramas TAS, Na<sub>2</sub>O/K<sub>2</sub>O vs. SiO<sub>2</sub> para los diferentes intrusivos. A) Le Maitre *et al.*, 1989 y B) Cox *et al.*, 1979.

De acuerdo al Índice de Shand (1943), la relación molar de Al/Ca+Na+K vs. Al/Na+K, establece el carácter metaluminoso o peraluminoso de las rocas. El 73% de las muestras se disponen principalmente en el campo peraluminoso y el 27% restante, correspondientes a dos muestras de P1 y una de P2, caen en el campo metaluminoso (Fig. 10-3); se interpreta que esas muestras estarían subsaturadas en alúmina al contener piroxenos y biotita, lo que se confirma gráficamente. El carácter peraluminoso de la mayoría de las rocas, puede deberse a que las mismas han sufrido alteración hidrotermal del tipo sericítico.

Las rocas tienen composiciones evolucionadas, dado por los valores de SiO<sub>2</sub> entre 55,32 y 62,46% en peso y Mg# (Mg# = Mg/(Mg+Fe) < 53, dando como resultado concentraciones bajas de elementos compatibles con el manto (por ejemplo Ni < 17 ppm, V < 148 ppm).

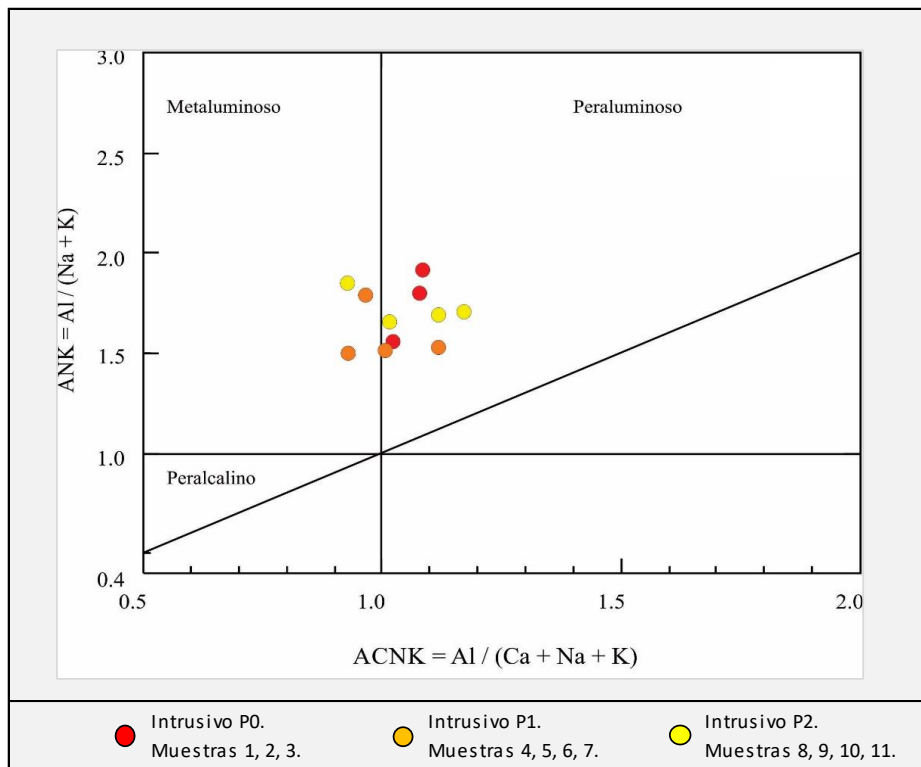


Figura 10-3: Diagrama de alcalinidad-aluminosidad (Shand, 1943).

Las 11 muestras analizadas presentan las siguientes características geoquímicas:

- El rango de  $SiO_2$  en estas rocas es alto y varía entre 55,32 a 62,46%.
- El rango de  $K_2O + Na_2O$  es variable entre 5,70 a 7,18.
- La cantidad de Nb, Zr e Y es alta, con valores promedios de 15, 142 y 18 ppm, respectivamente.
- El rango de CaO es variable entre 2,84 a 6,65%.
- La cantidad de MgO es baja y varía entre 1,52 a 3,51%.

En los diagramas de Harker (1909) para elementos mayores (Fig. 10-4) se grafica en la abscisa el %  $SiO_2$  y en ordenadas los valores % de  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ , MgO, CaO,  $TiO_2$  y  $P_2O_5$ , los cuales en una evolución “normal” irán deprimiéndose, presentando una correlación negativa como se observan en los gráficos, mientras que las curvas de los óxidos alcalinos ( $Na_2O$  y  $K_2O$ ) serán ascendentes y presentan una correlación positiva.

La alúmina muestra muy poca pendiente (negativa y luego positiva) con un pequeño incremento en la zona correspondiente a los porcentajes en sílice intermedios (60-63%). El estudio sugiere cristalización fraccionada de las diferentes facies que componen las dioritas de BED.

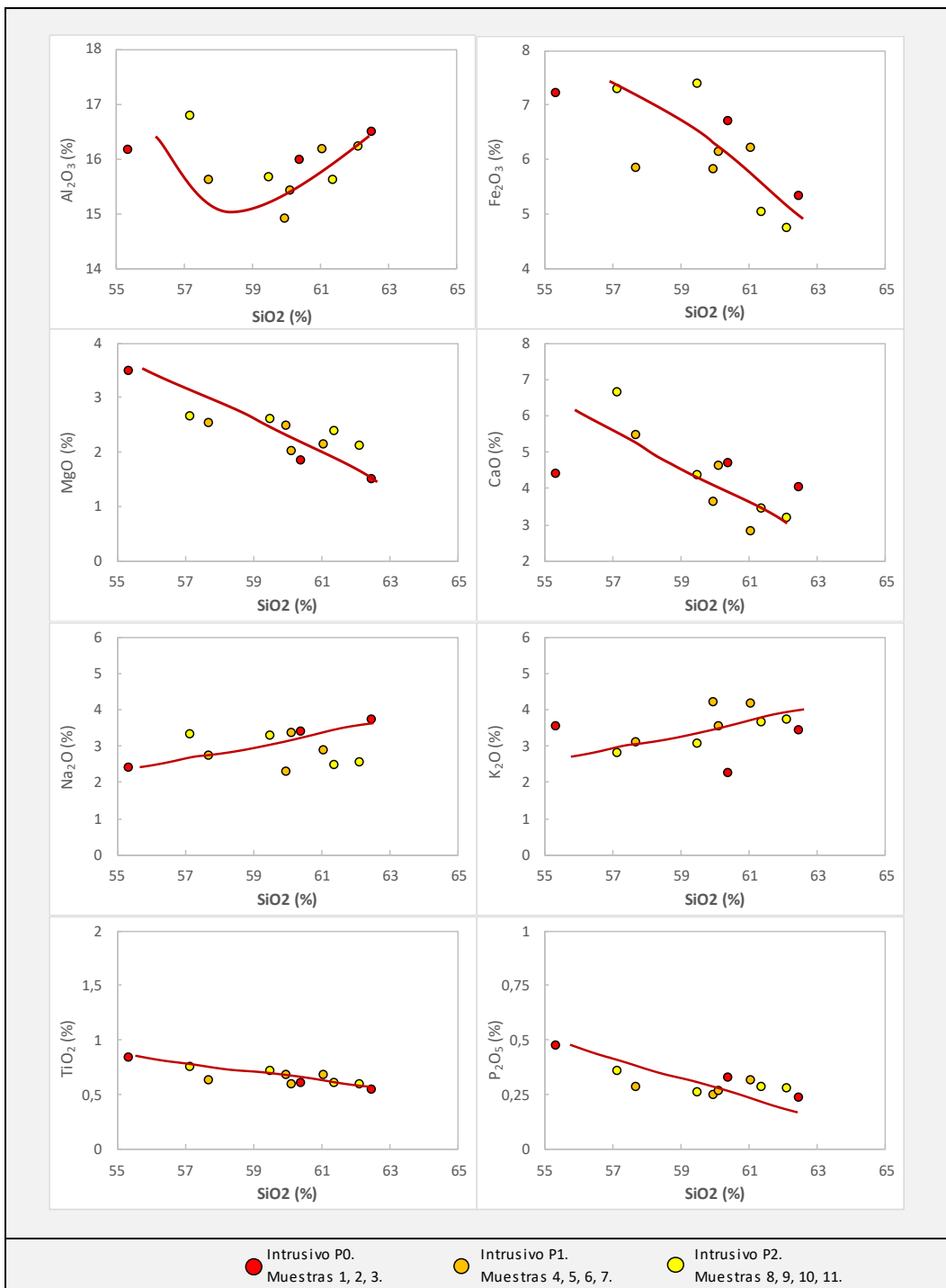


Figura 10-4: Diagramas de Harker para elementos mayores.



Se utilizaron los datos analíticos de Müller y Forestal (1998), provenientes de muestras de BLA y se volcaron conjuntamente con los de BED realizándose varios diagramas para analizar su correlación.

Casi todas las muestras se encuentran en el campo de la serie shoshonítica del diagrama  $\text{SiO}_2$  vs.  $\text{K}_2\text{O}$  (Fig. 10-5.A), a excepción de tres BLA que se presentan en el campo de la serie calcoalcalina de Alto K (Peccerillo y Taylor, 1976).

Todas las muestras presentan composiciones químicas que son típicas de las rocas ígneas potásicas relacionadas con la subducción y se localizan en los respectivos campos del diagrama de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  vs.  $\text{TiO}_2$  (Müller *et al.*, 1992) (Fig. 10-5.B). En el diagrama triangular de  $\text{TiO}_2/100\text{-La-Hfx10}$  (Fig. 10-5.C), se disponen en el campo para arcos continentales y post-colisionales, discriminándolos claramente de las rocas relacionadas con el arco oceánico (Müller *et al.*, 1992).

Por último, en el diagrama  $\text{Ce/P}_2\text{O}_5$  vs.  $\text{Zr/TiO}_2$  (Müller *et al.*, 1992), se observa un escenario de emplazamiento de arco continental para las rocas del BED y BLA (Fig. 10-5.D).

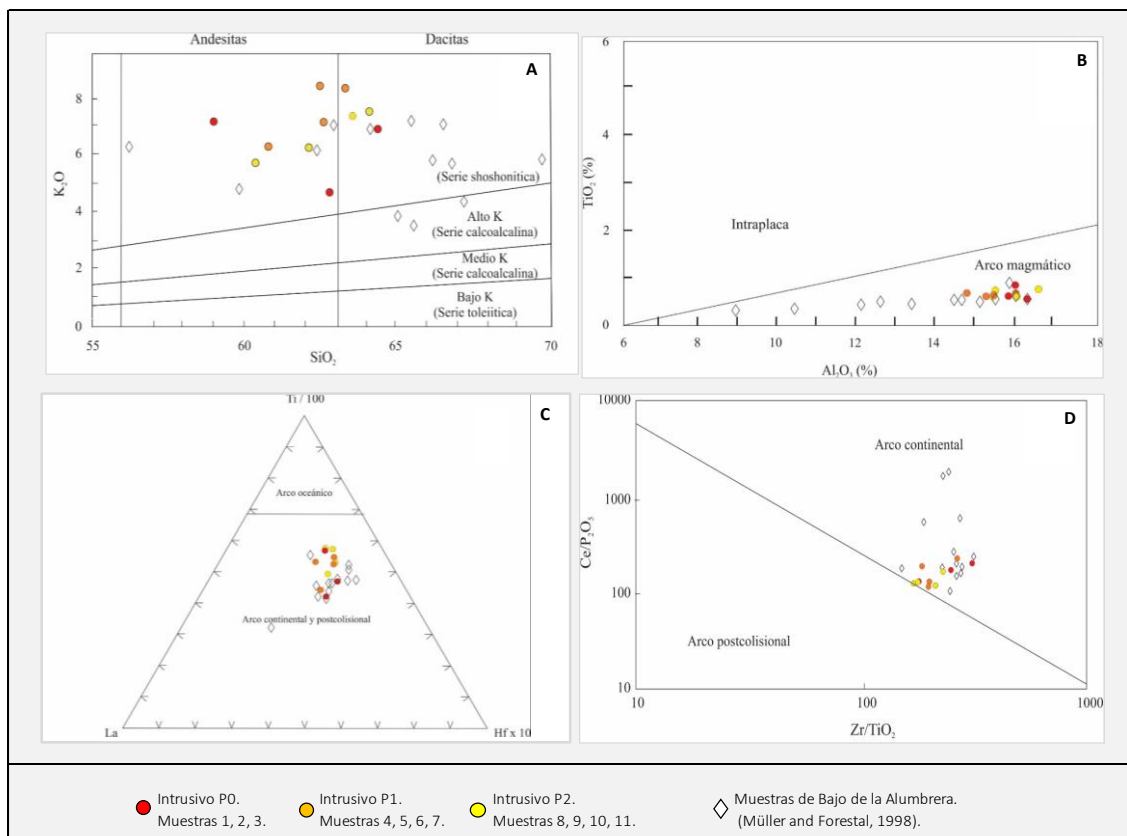


Figura 10-5: A) Diagrama K<sub>2</sub>O vs. SiO<sub>2</sub> en % en peso (Peccerillo y Taylor 1976); B) Diagrama TiO<sub>2</sub> vs. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (% en peso, Müller *et al.*, 1992); C) Diagrama triangular de TiO<sub>2</sub>/100-La-Hfx10; (Müller *et al.*, 1992). D) Diagrama Ce/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> vs. Zr/TiO<sub>2</sub> (Müller *et al.*, 1992), Ce y Zr están expresados en ppm y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y TiO<sub>2</sub> en % en peso.

Las muestras de BLA (Müller y Forestal, 1998) tienen contenidos de Nb débilmente elevados de hasta 34 ppm que son comunes para las rocas ígneas potásicas en configuraciones de arco post-colisional, como por ejemplo, en Porgera en Papúa Nueva Guinea ó Grasberg en Indonesia (Müller y Groves, 1995), pero en algunos casos también pueden ocurrir en zonas de arcos continentales maduros como el de BLA (Müller y Groves, 1995). Para las muestras analizadas de BED, los contenidos de Nb son débilmente elevados (de hasta 18 ppm), con similar comportamiento que en BLA. Por lo tanto, del análisis surge que hay una alta correspondencia entre las muestras de ambos depósitos y por consiguiente se interpreta que las rocas huésped de ambos pertenecen a un arco continental maduro evolucionado sobre la zona de *Benioff* de la interacción entre la placa continental Sudamericana y la placa oceánica de Nazca.

## 10.2 Elementos Traza y Tierras Raras

El grado de alteración de una roca también se puede estimar según el comportamiento de elementos que indiquen inmovilidad. El Zr es uno de los elementos usado para este fin y graficando su abundancia respecto de la de otros elementos representativos, se tendrá un panorama de la movilidad de esos elementos. Se seleccionaron La, Sr y Nb, el primero en representación de los elementos de tierras raras (REE - *Rare Earth Elements*), el segundo de los cationes grandes con pequeña carga (LILE - *Large Ion Lithophile Elements*) y finalmente los cationes pequeños de alta carga (HFSE - *High Field Strength Elements*) estarán representados por el Nb (Fig. 10-6).

El coeficiente de correlación de Parson ( $r$ ) para los elementos representados por La (REE) es de 0,89, su coeficiente de determinación ( $r^2$ ) es de 0,80 y un nivel de probabilidad (valor  $p$ ) de 0,0002; estos valores sugerirían que no fueron afectados en gran medida por procesos posteriores y que se podría suponer que representarían a la composición original de los fluidos.

Para los elementos LILE, representados por Sr, los valores  $r$ ,  $r^2$  y  $p$  serían -0,70, 0,49 y 0,02 respectivamente; esta correlación moderada sugeriría que pudo existir parcial movilización de estos elementos.

Los elementos HSFS representados por Nb indican baja correlación, con valores  $r$ ,  $r^2$  y  $p$  de 0,23, 0,05 y 0,49 respectivamente que estaría indicando una posible movilización de estos elementos durante los procesos hidrotermales posteriores y que por lo tanto no representan a la composición original de los fluidos.

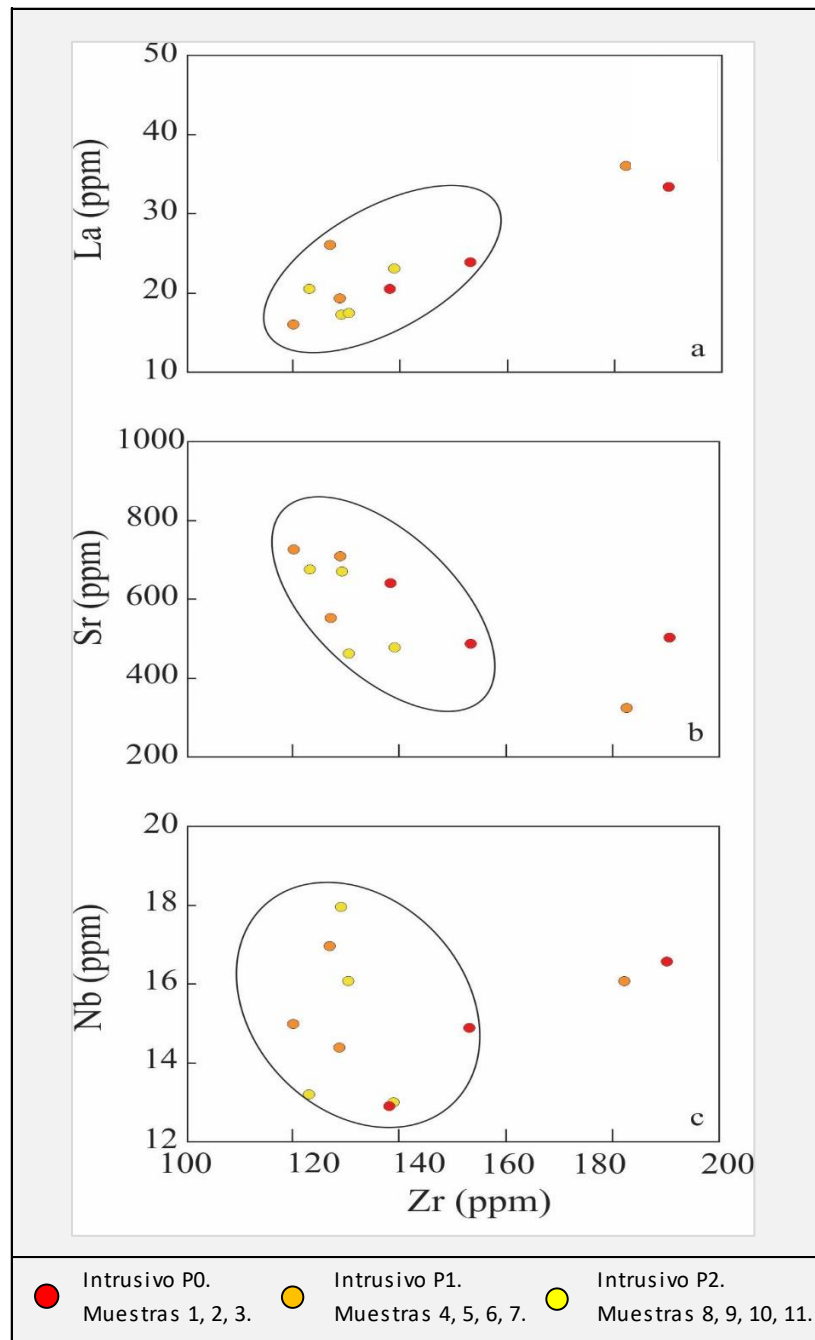


Figura 10-6: Diagramas de Zr respecto a: a) La, b) Nb y c) Sr (Kwelwa *et al.*, 2013).

En los diagramas de Harker (1909), el % SiO<sub>2</sub> respecto a la abundancia en ppm de algunos elementos traza (Fig. 10-7), se puede observar que los elementos compatibles V, Cr y Ni muestran una tendencia a correlación negativa, con un leve indicio de enriquecimiento de P0 a P2. Los elementos incompatibles de cationes grandes con pequeña carga LILE (Rb, Sr y Ba), muestran cierta dispersión en la variación geoquímica, con una correlación

negativa en el intrusivo P0 en todos los elementos y una correlación positiva para los intrusivos P1 y P2 en el Rb y Ba, y negativa en el Sr. Los elementos incompatibles de cationes pequeños y muy cargados HFSE (Y y Nb) muestran tendencias a una ligera correlación negativa, mientras que Zr presenta una tendencia de correlación positiva.

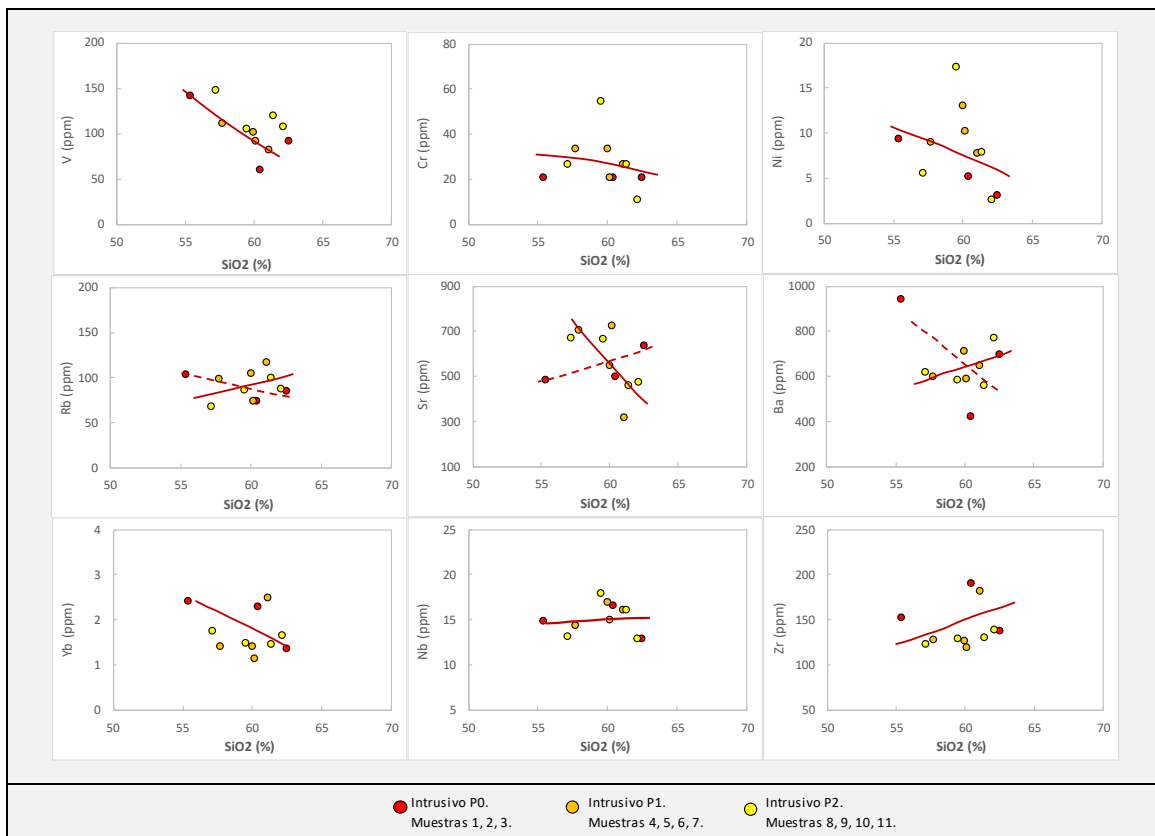


Figura 10-7: Diagramas de Harker para elementos traza y tierras raras.

El diagrama biaxial de Ce/Yb versus Hf/Yb (Fig. 10-8), presenta relaciones Ce/Yb > 20 en todas las muestras, indicando claramente que son típicas para rocas shoshoníticas (Pearce, 1982). Similar comportamiento presentan las muestras de Bajo de la Alumbraera (Müller y Forrestal, 1998), donde las fases intrusivas comagmáticas y contemporáneas que se asocian genéticamente con la mineralización del sistema pórfido de Cu-Au, derivaron de los elementos finales de alto K del espectro ígneo.

Según Müller y Forrestal (2000), se ha documentado ampliamente en la literatura que los sistemas pórfidos de Cu-Au en todo el mundo están acompañados por asociaciones contemporáneas de alteración potásica (por ejemplo: Titley, 1975; Titley y Beane, 1981).

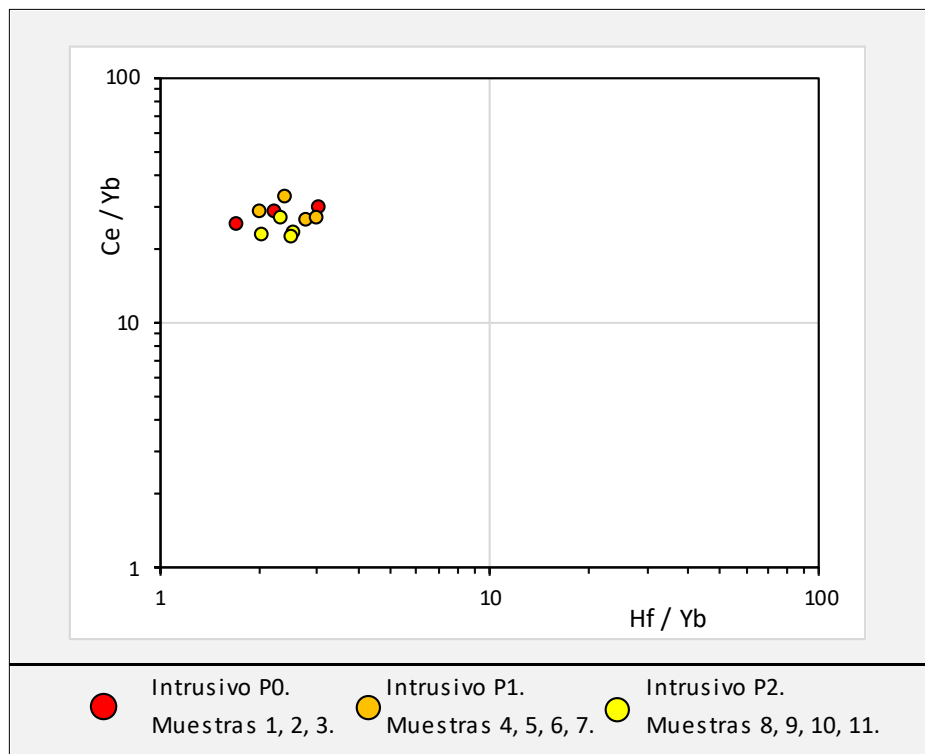


Figura 10-8: Diagrama Biaxial de Ce/Yb versus Hf/Yb (Pearce, 1982; Müller y Forrester, 1998).

Como ha sido indicado por Sillitoe (1979), los sistemas de pórfido de Cu-Au pueden estar asociados con intrusiones ígneas que van desde la composición calco-alcalina y calco-alcalina de alto contenido de K hasta la composición shoshonítica. Sin embargo, a pesar de su rara ocurrencia en la naturaleza, un gran porcentaje de los principales depósitos de Cu-Au porfídicos en todo el mundo se asocia con intrusiones ígneas con composiciones potásicas primarias (Sillitoe, 1997). Aunque hay excepciones como Batu Hijau en la isla de Sumbawa, Indonesia, donde la mineralización de pórfido de Cu-Au se asocia con intrusiones tonalíticas sódicas, incluso allí la mineralización va acompañada por asociaciones contemporáneas de alteración potásica. Por lo tanto, la importancia real no reside en las composiciones potásica o sódica de las intrusiones ígneas asociadas con la mineralización de pórfido de Cu-Au sino en qué la mineralización en esos depósitos se asocia generalmente con metasomatismo potásico. Las proporciones Zr/Hf de las rocas oscilan entre 33 y 37, lo que es consistente con las relaciones de rocas ígneas potásicas de regiones continentales similares, tales como Minette del oeste de México (Carmichael *et al.*, 1996).

Las concentraciones de los elementos traza y tierras raras de las muestras analizadas provenientes de los intrusivos de BED, se presentan en el diagrama de tierras raras normalizadas respecto al condrito C1 de Sun y McDonough (1989), y en el diagrama de elementos traza normalizados respecto al manto primitivo de McDonough y Sun (1995). Ambos muestran frecuentemente anomalías positivas y negativas que reflejan el comportamiento de diferentes grupos de elementos raros. Por ejemplo, los comportamientos de los elementos de alta movilidad LILE (Cs, Rb, K, Ba, Sr, Eu, y  $Pb^{++}$ ) difieren de los elementos de baja movilidad HFSE que incluyen los lantánidos (Sc, Y, Th, U, Pb, Zr, Hf, Ti, Nb y Ta). Los pares de elementos Hf-Zr, y Nb-Ta son muy similares en carga y tamaño y por ende muestran comportamientos geoquímicos similares. Las rocas ígneas potásicas suelen presentar elementos volátiles LILE, LREE y halógenos, especialmente F y Cl (Müller *et al.*, 1992). De acuerdo a los trabajos realizados por Hawkesworth *et al.* (1991, 1993) Pearce y Parkinson (1993), Pearce y Peate (1995) y Gorton y Schandl (2000), se ha demostrado que la composición química de las rocas de las zonas de subducción reflejan la contribución de varios componentes como corteza oceánica, sedimentos, cuñas mantélicas, junto a fluidos y fundidos hidratados de magmas generados por subducción, pudiendo utilizarse la signatura geoquímica distintiva que poseen los elementos Trazas y de las Tierras Raras como herramientas para los estudios petrogenéticos, identificando y cuantificando la contribución de estos componentes.

En el diagrama de tierras raras normalizadas respecto al condrito C1 (Fig. 10-9.A), se observa una marcada uniformidad en la distribución de las curvas de elementos.

En el diagrama de elementos traza normalizados respecto al manto primitivo (Fig. 10-9.B), todas las muestras de BED están enriquecidas en los elementos litófilos de alto radio iónico LILE (Rb, K, Sr, Pb), Th y Gd respecto a los elementos con anomalías negativas de alto potencial iónico HFSE (Nb, Ti), Ce, Tl y Nd. La mayoría de los picos tienen correlación con los datos trazados correspondientes a muestras provenientes del área del Complejo Volcánico Farallón Negro (Sasso, 1997).

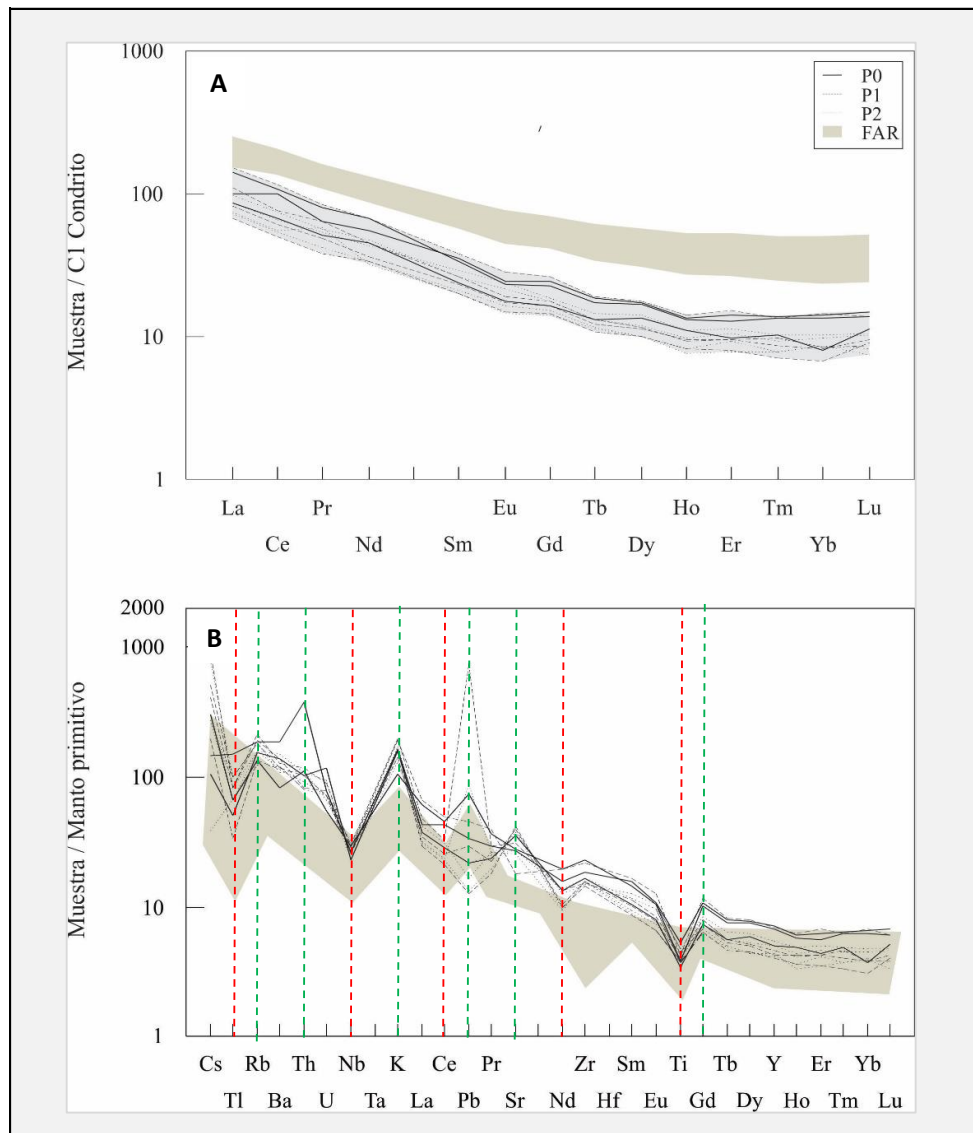


Figura 10-9: A) Diagrama de tierras raras normalizadas respecto al condrito de Sun y McDonough (1989). B) Diagrama de elementos traza normalizados respecto al manto primitivo de McDonough y Sun (1995). Las áreas sombreadas (FAR) corresponden a análisis químicos de rocas provenientes del área del CVFN (Sasso, 1997).

La anomalía negativa de Nb, es el índice de las rocas continentales y puede mostrar su contribución en los procesos de magma (Rollinson, 1993). En las rocas de la zona, el efecto de la subducción sobre las muestras presenta una anomalía negativa de la corteza primaria de Nd y Ce. La anomalía positiva de Ti puede estar relacionada con la presencia de ilmenita, mientras que las anomalías positivas de Sr pueden ser debidas al fraccionamiento de plagioclasa. Considerando las características mencionadas en el diagrama normalizado con respecto a la corteza primaria, basado en Sun y McDonough



(1989), los intrusivos de BED son de tipo rocas ígneas potásicas y relacionadas con el régimen de subducción.

Considerando las características mencionadas en el diagrama normalizado en respecto a la corteza primaria, basado en Sun y McDonough (1989), los intrusivos de BED serían consistentes con una fuente asociada a la participación de fluidos en una cuña mantélica metasomatizada. De acuerdo a varios autores (Hawkesworth *et al.*, 1991, 1993; Pearce y Parkinson, 1993; Pearce y Peate, 1995; y Gorton y Schandl, 2000), estas características sugieren un ambiente geodinámico orogénico relacionado a procesos de subducción-deshidratación de la placa y metasomatismo asociado.

### 10.3 Implicaciones Tectónicas

Las interpretaciones respecto al ambiente geotectónico, realizadas a partir de los datos de los elementos traza y las tierras raras, fueron corroboradas utilizando los diagramas geoquímicos de discriminación tectónica que vinculan al magmatismo a un ambiente de arco relacionado a márgenes continentales activos. En los diagramas de discriminación tectonomagmática para granitos, según Pearce *et al.* (1984), se observa que las muestras de los principales intrusivos mineralizados de BED presentan una afinidad con magmatismo de arco volcánico (Fig. 10-10). Estos rasgos son indicativos de granitos tipo I y no de granitoides generados en dorsales oceánicas, (*sensu* Chappell y White, 1974; Pearce *et al.*, 1984; Best y Christiansen, 2001). La abundancia de minerales hidratados, especialmente biotita, es común en granitoides formados en este tipo de ambiente tectónico. Las abreviaciones utilizadas para los campos son: VAG: *Volcanic Arc Granites* (Granitos de arco volcánico); Syn-COLG: *Syn-Collision Granites* (Granitos sin-colisionales); WPG, *Within-Plate Granites* (Granitos de intraplaca); ORG, *Ocean-Ridge Granites* (Granitos de dorsal oceánica).

El diagrama de Harris *et al.* (1986), probablemente esté más influenciado por la movilidad del Rb, pero se observa un resultado coherente con los obtenidos en los diagramas de Pearce *et al.* (1984), donde las muestras de BED se encuentran en el campo granitos de ambiente colisional (Fig. 10-11).

Con el incremento de la madurez del arco, los granitoides VAG se enriquecen en Rb, Th, U, Ta, Nb, Hf e Y, mientras que se empobrecen en Ba, Sr, P, Zr y Ti (Rollinson, 1993).

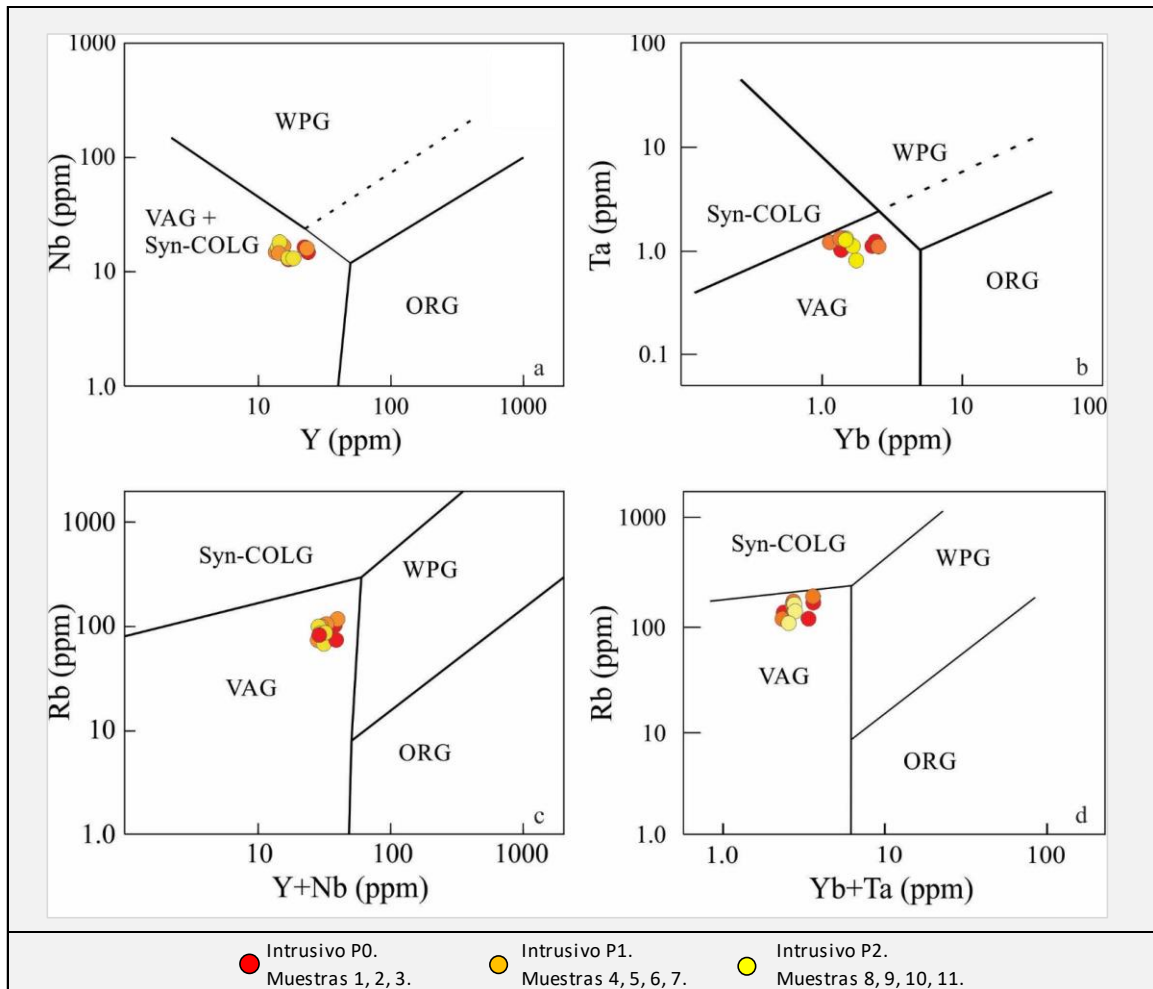


Figura 10-10: Diagramas de discriminación para granitos (Pearce *et al.*, 1984). Las líneas de trazos corresponden al límite para granitos de dorsales anómalas.

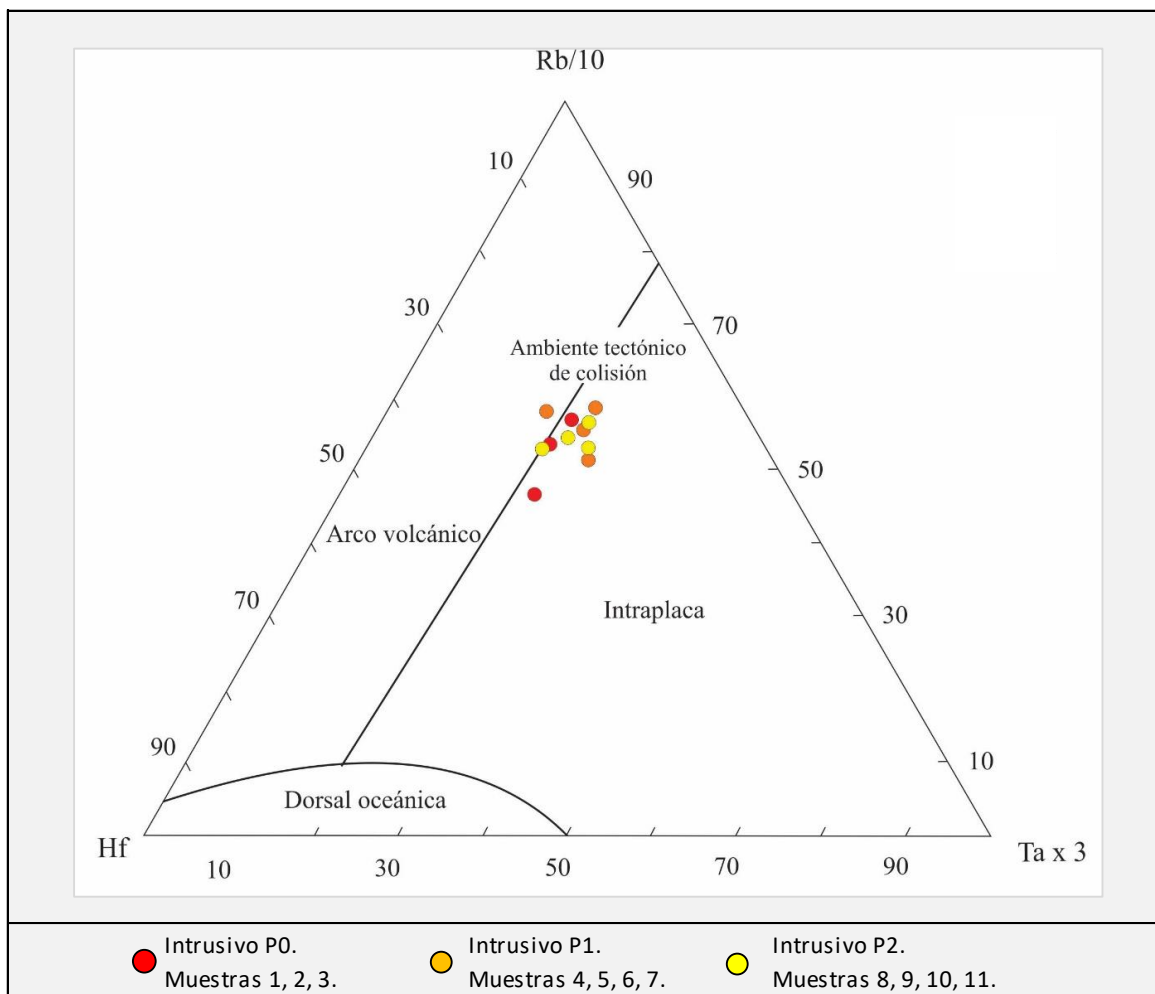


Figura 10-11: Diagrama Hf-Rb/10-Ta x3 para discriminación de granitos (Harris *et al.*, 1986).

## 11 Evaluación y Análisis de Variables Geomecánicas en Testigos de Rocas

### 11.1 Introducción

La evaluación de variables geomecánicas en testigos de diamantina, es relevante dado que sirven de base para la caracterización geotécnica del macizo rocoso. Esta evaluación se complementa con la caracterización geológico-estructural, donde se definen unidades que presentan propiedades similares que inciden directa e indirectamente en la estabilidad del macizo rocoso. El macizo se presenta como bloques afectados por diaclasas, fracturas, fallas, etc., y a su vez los bloques generados presentan procesos geológicos como alteración, mineralización y meteorización, que les confieren características propias.

La densidad es otro de los parámetros que se determina mediante pruebas relativamente sencillas, y ofrecen información crucial para el éxito de una operación en minería. Los datos generados aportan una identificación precisa y exacta de la composición mineral de las muestras y para el cálculo del tonelaje.

### 11.2 Densidad

La densidad se calculó mediante la realización de una estadística básica en la cual se incluyeron la totalidad de datos obtenidos.

Según el procedimiento, el análisis de densidad se realizó cada 2 m mediante el uso de una balanza electrónica, donde se determinan dos clases de pesos:

- Peso aire (a): se colocan los testigos de rocas en el platillo de la balanza y se obtiene el peso (a). Se recomienda colocar entre 2,50 y 3,00 kg de muestra.
- Peso agua (b): se colocan los mismos testigos utilizados en el pesaje anterior en un canasto que se sumerge dentro de un recipiente con agua y una vez estabilizado se obtiene el peso (b).

Con ambos pesos se calcula la densidad de la roca, mediante la siguiente fórmula:

$$\text{densidad} = a / (a-b)$$

La información se carga en la base de datos y por cada intervalo a ensayar se ingresan los siguientes datos: número de pozo, proyecto al cual pertenece, la prioridad del ensayo, el metraje del tramo a medir, el número de muestra, el peso de la muestra en seco y el peso en agua, observaciones si las hubiera y además se ingresa el enlace a la fotografía de los testigos de roca.

La medición de densidad en una mena primaria, a partir de método de desplazamiento por inmersión de la muestra sin parafina en un volumen de agua, genera un mayor volumen de datos. Este método obtiene un valor de densidad en cada intervalo de muestreo en un sondeo de diamantina.

Se presentan los resultados de la estadística descriptiva y del análisis de frecuencia en función del rango realizados a partir de 6.626 datos de densidad (Tabla 11-1 y Fig. 11-1) La media del valor de densidad es de 2,65 g/cm<sup>3</sup> y los valores más frecuentes oscilan entre 2,60 y 2,80 g/cm<sup>3</sup>.

DENSIDAD		Rango	Frecuencia	Fr.Acumulada%	Fr.Absoluta%
Media	2,65	2,2	0	0,00%	0,00%
Error Estándar	0,001	2,4	12	0,18%	0,18%
Mediana	2,65	2,6	1620	24,63%	24,45%
Moda	2,64	2,8	4776	96,70%	72,07%
Desviación Estándar	0,07	3,0	217	99,97%	3,27%
Varianza de Muestra	0,01	3,2	2	100,00%	0,03%
Kurtosis	1,78				
Rango	0,80				
Mínimo	2,23				
Máximo	3,03				
Cantidad	6627,00				
Nivel de Confianza (95.0%)	0,002				

Tabla 11-1: Resumen de estadística básica y frecuencias de densidad.

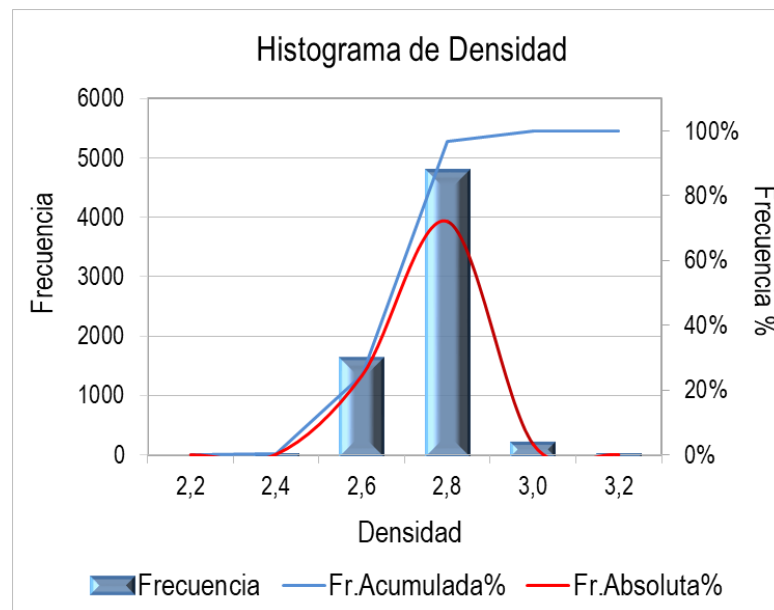


Figura 11-1: Análisis de frecuencia de los valores de densidad.

Se realizó un gráfico de la densidad en función de la profundidad (Fig. 11-2), a partir del cual se desprenden las siguientes observaciones:

- Existe una tendencia general de aumento de los valores de densidad con la profundidad. Hasta aproximadamente los 200 m se mantienen en torno de la media y luego aumenta.
- Valores de densidad bajos en un rango de 2,20 y 2,40 g/cm<sup>3</sup> se encuentran asociados a tramos iniciales de algunos sondeos afectados con una fuerte alteración supérgena, producto de la destrucción de sulfuros por efecto de la percolación de agua meteórica.

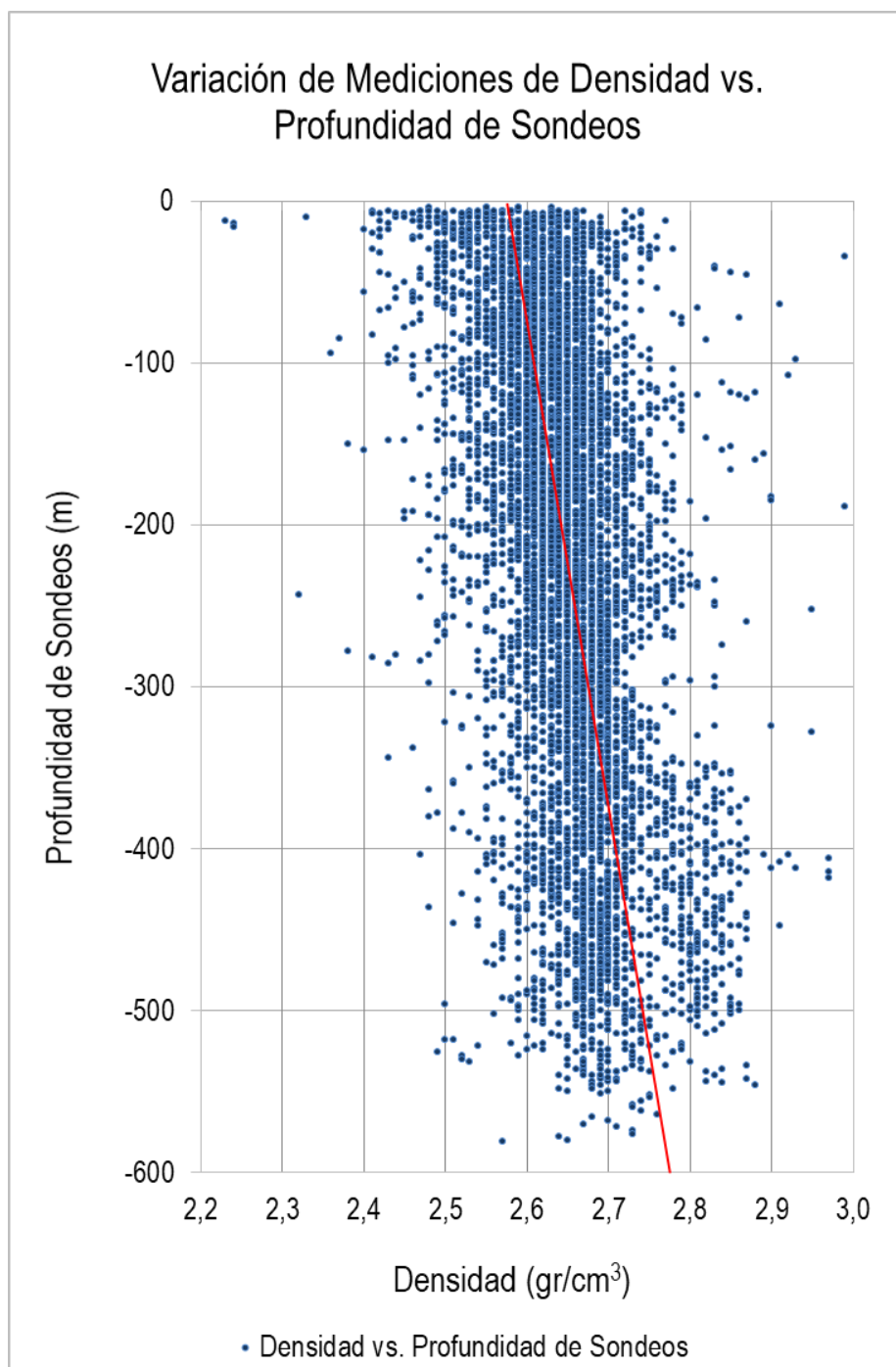


Figura 11-2: Variación de mediciones de densidad versus profundidad de sondeos.

Se analizaron las densidades promedio en función de los distintos tipos litológicos y de las alteraciones (Fig. 11-3). Se observa que la densidad no varía demasiado en función de la litología de BED, la Bx1 presenta el valor de densidad promedio más alto ( $2,66 \text{ g/cm}^3$ ) y el intrusivo P2 el más bajo ( $2,63 \text{ g/cm}^3$ ). Con respecto a las alteraciones, la potásica

(2,64 g/cm<sup>3</sup>) y la destructiva de feldespatos (2,63 g/cm<sup>3</sup>) presentan una densidad promedio similar cuyos valores se ubican en torno de la media, siendo la primera alteración ligeramente mayor. La alteración argílica posee los valores de densidad más bajos (2,55 g/cm<sup>3</sup>), debido a que está asociada a sectores fracturados por fallas principales. Existe una correspondencia relativamente buena entre densidad y la alteración, registrándose mayores valores asociados a alteración potásica y en menor medida a destructiva de feldespatos. Valores altos de densidad también pueden estar asociados a mayor contenido de sulfuros.

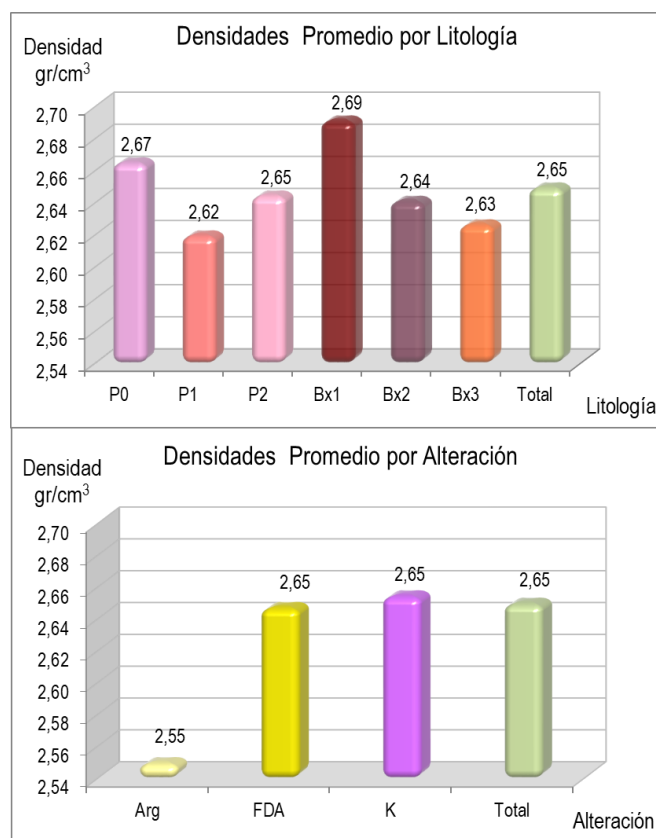


Figura 11-3: Variaciones de densidad con respecto a la litología y alteración.

### 11.3 Índices Geomecánicos

Los índices geomecánicos utilizados son, el de calidad de la roca (RQD - *Rock Quality Designation*) y el índice geológico de resistencia (GSI - *Geological Strength Index*). El índice RQD desarrollado por Deere & Deere, (1988), se define como el porcentaje de



recuperación de testigos de más de 10 cm de longitud sin tener en cuenta las roturas frescas del proceso de perforación respecto de la longitud total del sondeo.

Por su parte el índice GSI (Hoek, 1994; Hoek & Brown, 1997 y Hoek *et al.*, 2002), estima las propiedades geomecánicas del macizo rocoso a partir de observaciones geológicas de campo. Las observaciones se basan en la apariencia del macizo a nivel de estructura y de condición de la superficie. A nivel de estructura se tiene en cuenta el nivel de alteración que sufren las rocas, la unión que existe entre ellas, que viene dada por las formas y aristas que presentan, así como de su cohesión. Para las condiciones de la superficie, se tiene en cuenta si ésta está alterada, si ha sufrido erosión o qué tipo de textura presenta, y el tipo de recubrimiento existente.

La caracterización del macizo rocoso es simple y está basada en la impresión visual de la estructura rocosa, en términos de bloques y de la condición superficial de las discontinuidades indicadas por la rugosidad y alteración de las juntas. La combinación de estos dos parámetros proporciona una base práctica para describir un rango amplio de tipos de macizos rocosos.

Una vez realizadas las observaciones se escoge en la Tabla 11-2 la situación que más se acerca a la realidad del macizo en estudio, obteniendo de esta forma, el valor del GSI. Tal y como se observa en la Tabla 11-2, los valores del GSI varían desde 1 hasta 100. Los valores cercanos al 1 corresponden a las situaciones del macizo rocoso de menor calidad, es decir con la superficie muy erosionada, con arcilla blanda en las juntas, y con una estructura poco resistente debido a las formas redondeadas, y a la gran cantidad de fragmentación que sufre el macizo. Por el contrario, valores de GSI cercanos a 100, implican macizos de gran calidad, ya que significa una estructura marcada por una pequeña fragmentación en la que abundan las formas prismáticas y superficies rugosas sin erosión.

Modificado posteriormente para ser utilizado en testigos de rocas como se observa en la Tabla 11-3; es un sistema para estimar la reducción de la resistencia del macizo rocoso para diferentes condiciones geológicas, analizando la estructura del mismo y las condiciones de las discontinuidades.

INDICE GEOLOGICO DE RESISTENCIA		CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES				
<p>De los códigos de letra que describen la estructura del macizo rocoso y la condición de las discontinuidades, seleccione el cuadro apropiado en esta tabla. Estime el valor típico del Índice Geológico de Resistencia, <b>GSI</b>, de los contornos que muestra la tabla. No trate de obtener un mayor grado de precisión. Indicar un rango de valores para <b>GSI</b>, por ejemplo de 36 a 42, es más realista que indicar un único valor, por ejemplo 38.</p>		MUY BUENA Superficies rugosas y de cajas frescas (sin señales de intemperización/alteración)	BUENA Superficies rugosas, cajas levemente intemperizadas y/o alteradas, con pátinas de óxido de hierro	REGULAR Superficies lisas, cajas moderadamente intemperizadas y/o alteradas	MALA Superficies lisas y cizalladas, cajas intemperizadas y/o alteradas, con rellenos de fragmentos granulares y/o arcillosos firmes	MUY MALA Superficies lisas y cizalladas, cajas muy intemperizadas y/o alteradas, con rellenos arcillosos blandos
ESTRUCTURA DEL MACIZO ROCOSO		EMPEORA LA CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES 				
	<p><b>INTACTO O MASIVO (INTACT OR MASSIVE)</b> MACIZO ROCOSO MASIVO <i>IN SITU</i> O ESPECIMENES DE ROCA INTACTA, CON ESCASAS DISCONTINUIDADES AMPLIAMENTE ESPACIADAS</p>	90 I/VG	I/G	N/D	N/D	N/D
	<p><b>FRACTURADO EN BLOQUES (BLOCKY)</b> MACIZO ROCOSO CONFORMADO POR TROZOS O BLOQUES DE ROCA BIEN TRABADOS DE FORMA CÚBICA Y DEFINIDOS POR TRES SETS DE ESTRUCTURAS, ORTOGONALES ENTRE SÍ</p>	80 B/VG	70 B/G	B/F	B/P	B/VP
	<p><b>FUERTEMENTE FRACTURADO EN BLOQUES (VERY BLOCKY)</b> MACIZO ROCOSO ALGO PERTURBADO, CONFORMADO POR TROZOS O BLOQUES DE ROCA TRABADOS DE VARIAS CARAS ANGULOSOS Y DEFINIDOS POR CUATRO O MAS SETS DE ESTRUCTURAS</p>	60 VB/VG	50 VB/G	VB/F	VB/P	VB/VP
	<p><b>FRACTURADO Y PERTURBADO (BLOCKY / DISTURBED)</b> MACIZO ROCOSO PLEGADO Y /O AFECTADO POR FALLAS CONFORMADO POR TROZOS O BLOQUES DE ROCA DE VARIAS CARAS ANGULOSOS Y DEFINIDOS POR LA INTERSECCION DE NUMEROSOS SETS DE ESTRUCTURAS</p>	40 BD/VG	BD/G	BD/F	BD/P	BD/VP
	<p><b>DESINTEGRADO (DISINTEGRATED)</b> MACIZO ROCOSO MUY FRACTURADO Y QUEBRADO CONFORMADO POR UN CONJUNTO POBREMENTE TRABADO DE BLOQUES Y TROZOS DE ROCA ANGULOSOS Y TAMBIÉN REDONDEADOS</p>	30 D/VG	D/G	D/F	D/P	D/VP
	<p><b>FOLIADO-LAMINADO-CIZALLADO (FOLIATED/LAMINATED/SHEARED)</b> ROCAS DEBILES CON CIZALLE TECTONICO Y PRESENCIA DE FOLIACIONES O LAMINACIONES FINAS. ESQUISTOCIDADES POCO ESPACIADAS QUE PREDOMINAN SOBRE OTROS JUEGOS DE DISCONTINUIDADES, RESULTANDO UNA COMPLETA AUSENCIA DE BLOQUES</p>	20 N/D	N/D	S/F	S/P	S/VP
		10				

Tabla 11-2: Estimación del GSI, basado en observaciones geológicas. Modificado de Hoek *et al.*, 2002.



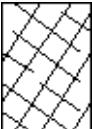









ESTR.	EXPRESIÓN EN SONDAJES DE DIAMANTINA	ESTRUCTURA DEL MACIZO ROCOSO
		INTACTO O MASIVO: Macizo rocoso in situ o especímenes de roca intacta, con escasas discontinuidades ampliamente espaciadas.
		FRACTURADO EN BLOQUES: macizo rocoso conformado por trozos o bloques de roca bien trabados de forma cúbica y definidos por tres sets de estructuras, ortogonales entre sí.
		FUERTEMENTE FRACTURADO EN BLOQUES: Macizo rocoso algo perturbado, conformado por trozos o bloques de roca trabados de varias caras angulosas y definidos por cuatro o más sets de estructuras.
		FRACTURADO Y PERTURBADO: Macizo rocoso plegado y/o fallado con bloques angulares formados por la intersección de numerosos sets de estructuras
		DESINTEGRADO: Macizo rocoso muy fracturado y quebrado conformado por un conjunto pobremente trabado de bloques y trozos de roca angulosos y también redondeados.
		FOLIADO -LAMINADO -CIZALLADO: Rocas débiles plegadas y cizalladas tectónicamente. Carencia de formación de bloques debido a la esquistocidad que prevalece sobre otras estructuras

Tabla 11-3: Estimación del GSI, modificado posteriormente para ser utilizado en testigos de rocas.

Se detalla a continuación el análisis de las variables GSI numérico (GSI) y RQD porcentual (RQD%). Las clasificaciones empleadas para dichas variables se muestran en la Tabla 11-4.

GSI		RQD	
GSI letra	GSI numérico	RQD porcentual	Clasificación de Macizo
I/VG	> 80	0-25%	Muy Malo
I/G - B/VG	80-70	25-50%	Malo
B/G - VB/VG	70-60	50-75%	Regular
B/F - VB/G - BD/VG	60-50	75-90%	Bueno
B/P - VB/F - BD/G - D/VG	50-40	90-100%	Muy Bueno
B/VP - VB/P - BD/F - D/G - D/F	40-30		
VB/VP - BD/P - BD/VP - D/P - D/VP	30-20		
D/VP - S/P - S/VP	20-10		

<b>Intact or Massive</b>	(Intacto o Masivo)	<b>I</b>	<b>Very Blocky</b>	(Fuertemente en Bloques)	<b>VB</b>
<b>Blocky</b>	(En Bloques)	<b>B</b>	<b>Blocky/Disturbed</b>	(En Bloques/Perturbados)	<b>BD</b>
<b>Disintegrated</b>	(Desintegrado)	<b>D</b>	<b>Laminated/Sheared</b>	(Laminado/Cizallado)	<b>S</b>
<b>Very Good</b>	(Muy Bueno)	<b>VG</b>	<b>Good</b>	(Bueno)	<b>G</b>
<b>Poor</b>	(Malo)	<b>P</b>	<b>Very Poor</b>	(Muy Malo)	<b>VP</b>
<b>Fair</b>	Regular	<b>F</b>			

Tabla 11-4: Valores de referencia y utilizados en el logeo geotécnico.

En las Tablas 11-5, 11-6 y Figura 11-4, se presentan los resultados de la estadística descriptiva y del análisis de frecuencia en función del rango para las variables RQD% y GSI.

RQD%		Rango	Frecuencia	Fr.Acumulada%	Fr.Absoluta%
Media	56,86	0,0	707	10,61%	0,00%
Error Estándar	0,400	20,0	616	19,86%	9,25%
Mediana	64,00	40,0	782	31,59%	11,74%
Moda	0,00	60,0	1002	46,63%	15,04%
Desviación Estándar	32,66	80,0	1385	67,42%	20,79%
Varianza de Muestra	1066,36	100,0	2171	100,00%	32,58%
Rango	100,00				
Mínimo	0,00				
Máximo	100,00				
Cantidad	6663				
Nivel de Confianza (95.0%)	0,784				

Tabla 11-5: Resumen de estadística básica y frecuencias de RQD%.

GSI	
Media	56,57
Error Estándar	0,269
Mediana	65,00
Moda	80,00
Desviación Estándar	22,00
Varianza de Muestra	483,84
Rango	80,00
Mínimo	0,00
Máximo	80,00
Cantidad	6663
Nivel de Confianza (95.0%)	0,528

Rango	Frecuencia	Fr.Acumulada%	Fr.Absoluta%
0,0	35	0,53%	0,00%
20,0	750	11,78%	11,26%
40,0	869	24,82%	13,04%
60,0	1408	45,96%	21,13%
80,0	3601	100,00%	54,04%

Tabla 11-6: Resumen de estadística básica y frecuencias de GSI.

Se realizó el cálculo del coeficiente de correlación entre RQD% y GSI y el valor obtenido de correlación es muy bueno (0,92).

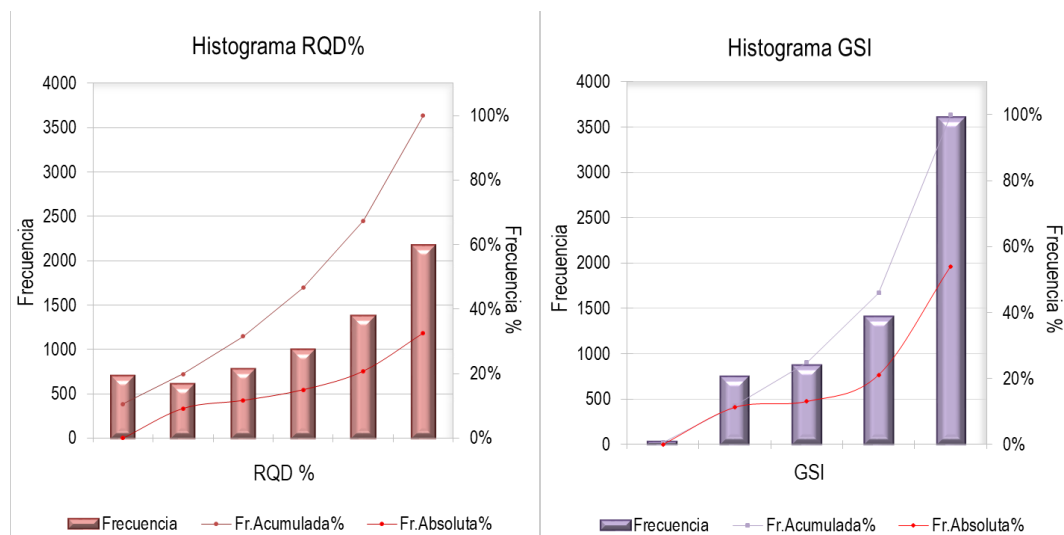


Figura 11-4: Análisis de frecuencia de los valores de RQD% y GSI.

De los resultados de la estadística descriptiva de todos los datos, se observa que la media del valor de RQD% es de 57%. Este valor se ubica en el rango 50-75% de la clasificación que se corresponde con un Macizo Rocoso Regular, mientras que el valor de la media de GSI numérico es 57 correspondiente al rango 50-60 de la clasificación, se trata un macizo rocoso Fracturado en Bloques (*Blocky*) formado por trozos de bloques de roca bien trabados de forma cúbica y definidos por tres sets de estructuras ortogonales entre sí, con condiciones de las discontinuidades de regulares a buenas (*superficies lisas a rugosas con caras leve a moderadamente intemperizadas y/o alteradas*).

En conclusión según los datos analizados, ambos parámetros reflejan condiciones del macizo rocoso de regular a bueno. La distribución de RQD % promedio por litología, presenta valores mínimos de 50,00 % en el intrusivo P2 y valores máximos de 59,57 % en el intrusivo P1. Con respecto a la distribución de RQD % promedio por alteración, la destructiva de feldespatos presenta valores de 54,98 % y la alteración potásica de 58,80 %. La alteración argílica posee los valores % de RQD más bajos (16,80), debido a que está asociado a sectores fracturados por fallas principales (Fig. 11-5).

La distribución de GSI promedio por litología y alteración presenta una correlación muy buena, comportándose de la misma manera que el RQD % (Fig. 11-6).

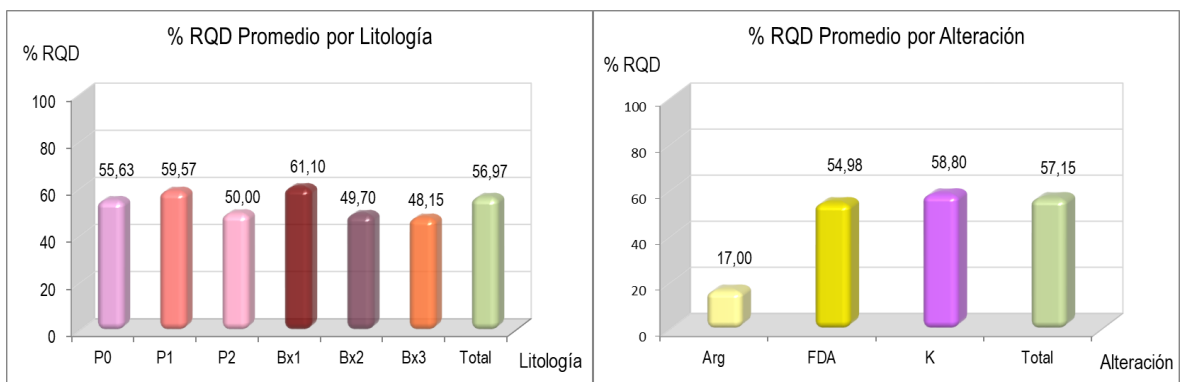


Figura 11-5: Variaciones de % RQD con respecto a la litología y la alteración.

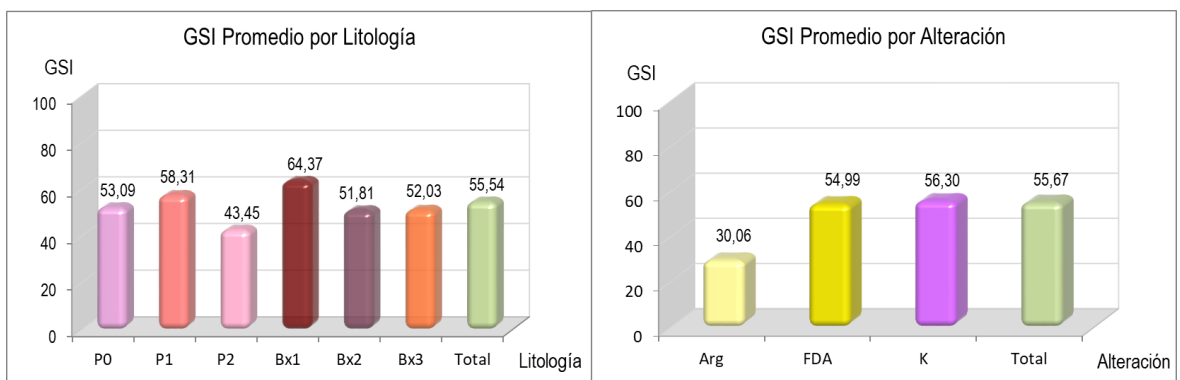


Figura 11-6: Variaciones de GSI con respecto a la litología y la alteración.

#### 11.4 Recuperación de Muestras

Se presenta una estadística básica (Tabla 11-7) y los valores más frecuentes de la recuperación de muestras de testigos cada 2 m (Fig. 11-7). Se muestra un excelente

comportamiento de recuperación, reflejando que el 98,51% de los datos tiene un rango de recuperación de 2,00 m.

RECUPERACION		Rango	Frecuencia	Fr.Acumulada%	Fr.Absoluta%
Media	1,96	0,0	33	0,50%	0,00%
Error Estándar	0,002	0,5	2	0,53%	0,03%
Mediana	2,00	1,0	15	0,75%	0,23%
Moda	2,00	1,5	45	1,43%	0,68%
Desviación Estándar	0,17	2,0	6564	99,94%	98,51%
Varianza de Muestra	0,03	2,5	3	99,98%	0,05%
Rango	2,60	3,0	1	100,00%	0,02%
Mínimo	0,00				
Máximo	2,60				
Cantidad	6663				
Nivel de Confianza (95.0%)	0,004				

Tabla 11-7: Resumen de estadística básica de recuperación de muestras testigos de roca cada 2,00 m.

De los resultados de la estadística descriptiva se observa que la media del valor de recuperación para todos los datos es de 1,96 m.

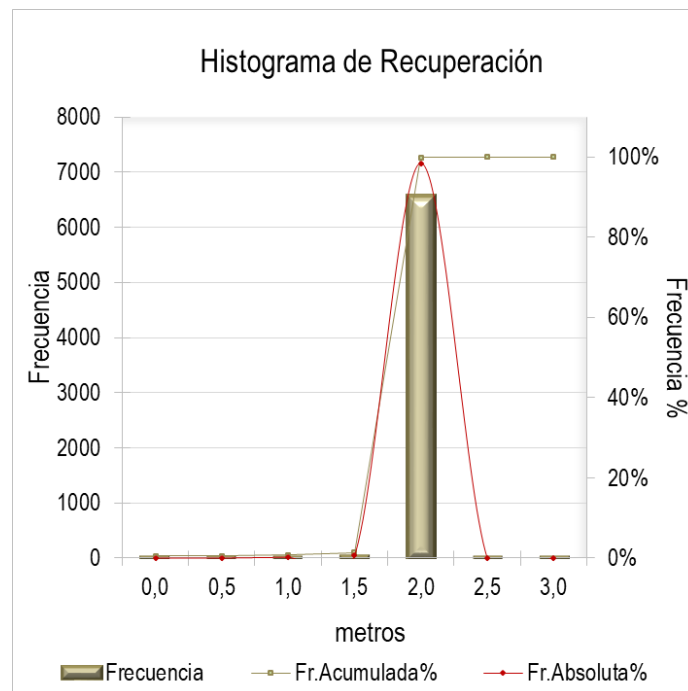


Figura 11-7: Gráfico de frecuencias de recuperación de muestras testigos de roca cada 2,00 m.

## 11.5 Carga Puntual y Compresión Uniaxial

El ensayo de carga puntual (PLT – *Point Load Test*) se realiza con el objetivo de obtener un valor aproximado de la resistencia de la roca en forma rápida, de bajo costo y sin una preparación específica de la muestra. Este parámetro se puede correlacionar con la *resistencia a compresión simple o compresión uniaxial (UCS)* mediante la siguiente fórmula:

$$\text{UCS} = f \cdot \text{PLT}$$

Existen diferentes valores para el factor  $f$ , empleando el de Franklin y Broch (1972) con un valor  $f = 24$ . El valor de carga puntual se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$\text{PLT} = f / d^2$$

Donde  $f$  es la fuerza de carga expresada en kilonewton (kN) y  $d$  la distancia entre puntas.

En la base de datos se cargan los valores para cada intervalo de 2 m a ensayar: diámetro del testigo, distancia entre puntas, fuerza de carga y tipo de rotura (por compresión o por Vetilla). Mediante fórmulas se calcula el valor de PLT y el valor de UCS, ambos se expresan en megapascales (MPa).

**Relación entre unidades:  $1\text{kN/m}^2 = 1\text{kPa}$      $1\text{MPa} = 1000\text{kPa} = 1000\text{kN/m}^2$**

En las Tablas 11-8 y 11-9 se presentan los resultados de la estadística descriptiva y del análisis de frecuencia en función del rango calculados a partir de los datos de PLT y UCS (Fig.11-8). La media del valor de carga puntual es de 3,56 MPa y los valores más frecuentes oscilan en un rango 4 y 8 MPa. Para la compresión uniaxial la media es 85,51 MPa y los valores más frecuentes se encuentran enmarcados entre 60 y 120 MPa.



PLT MPa	
Media	3,56
Error Estándar	0,034
Mediana	3,20
Moda	0,00
Desviación Estándar	2,63
Varianza de Muestra	6,92
Rango	18,80
Mínimo	0,00
Máximo	18,80
Cantidad	6115
Nivel de Confianza (95.0%)	0,07

Rango	Frecuencia	Fr.Acumulada%	Fr.Absoluta%
0,0	752	12,30%	0,00%
4,0	2990	61,19%	48,90%
8,0	2007	94,01%	32,82%
12,0	337	99,53%	5,51%
16,0	27	99,97%	0,44%
20,0	2	100,00%	0,03%

Tabla 11-8: Resumen de estadística básica y frecuencias de PLT.

UCS Mpa	
Media	85,51
Error Estándar	0,807
Mediana	76,80
Moda	0,00
Desviación Estándar	63,13
Varianza de Muestra	3985,02
Rango	451,20
Mínimo	0,00
Máximo	451,20
Cantidad	6115
Nivel de Confianza (95.0%)	1,58

Rango	Frecuencia	Fr.Acumulada%	Fr.Absoluta%
0,0	752	12,30%	0,00%
60,0	1647	39,23%	26,93%
120,0	2110	73,74%	34,51%
180,0	1138	92,35%	18,61%
240,0	356	98,17%	5,82%
300,0	91	99,66%	1,49%
360,0	17	99,93%	0,28%
420,0	3	99,98%	0,05%
480,0	1	100,00%	0,02%

Tabla 11-9: Resumen de estadística básica y frecuencias de UCS.

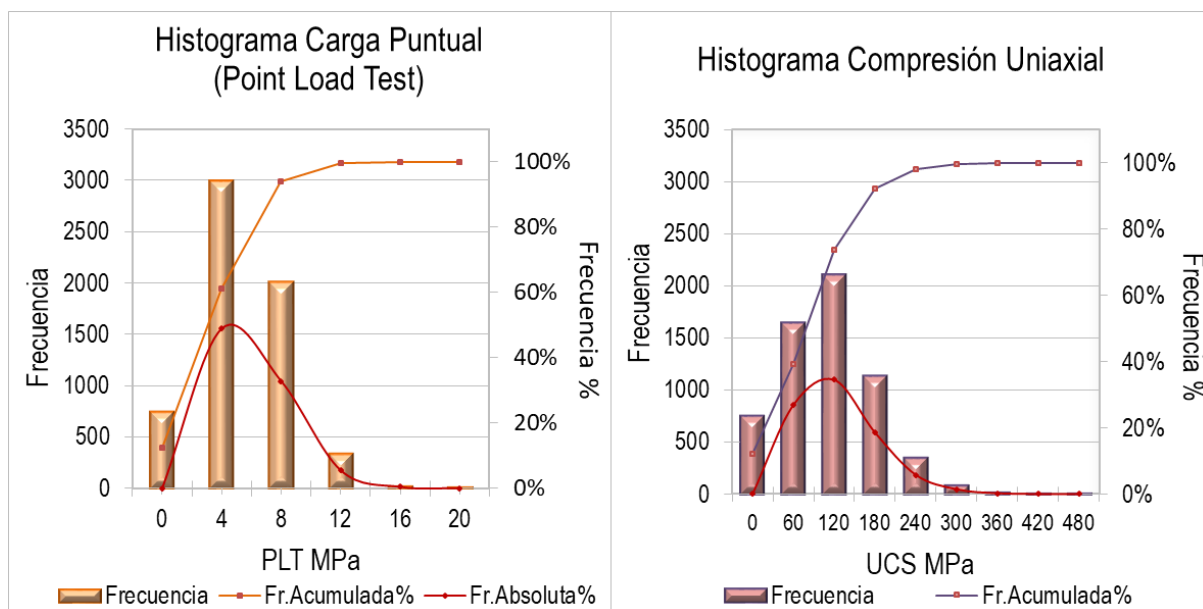


Figura 11-8: Análisis de frecuencia de los valores de PLT y UCS.

Con los datos de compresión uniaxial se puede ingresar a diversas tablas geotécnicas para obtener la dureza o resistencia del macizo rocoso. En este caso, la Tabla 11-10, presenta la clasificación de las rocas a partir de valores de UCS, para el caso de las muestras de BED, los valores más frecuentes oscilan entre 60 y 120 MPa, la calidad del macizo se resume en una roca dura a muy dura.

CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS A PARTIR DE VALORES UCS (Mpa)				
Resistencia a la compresión simple (Mpa)	ISRM (1981)	Geological Society of London (1970)	Bieniawski (1973)	Ejemplos
< 1	Suelos		Muy Baja	Sal, lutita, limolita, marga, toba, carbón.
1 - 5	Muy Blanda	Blanda > 1,25		
5 - 12,5	Blanda	Moderadamente Blanda		
12,5 - 25		Moderadamente Dura		
25 - 50	Moderadamente Dura		Baja	Esquistos, pizarras.
50 - 100	Dura	Dura	Media	Rocas metamórficas esquistosas, mármol, granito, arenisca, caliza porosa.
100 - 200	Muy Dura	Muy Dura	Alta	Rocas ígneas y metamórficas duras, areniscas muy cementadas, calizas, dolomías.
> 200		Extremadamente Dura	Muy Alta	Cuarcita, gabro, basalto.
> 250	Extremadamente Dura			

Tabla 11-10: Clasificación de las rocas a partir de UCS.

La distribución de PLT promedio por litología presenta valores mínimos de 2,19 para la brecha Bx3 y valores máximos de 3,84 en el intrusivo P1. Con respecto a la distribución de PLT promedio por alteración, la alteración destructiva de feldespatos presenta valores de 3,11 y la alteración potásica de 3,79. La alteración argílica posee los valores de PLT más bajos (1,27), en correspondencia a una roca más blanda y asociada a sectores fracturados por fallas principales (Fig. 11-9).

La distribución de UCS promedio por litología y alteración presenta una correlación muy buena, comportándose de la misma manera que el PLT (Fig. 11-10).

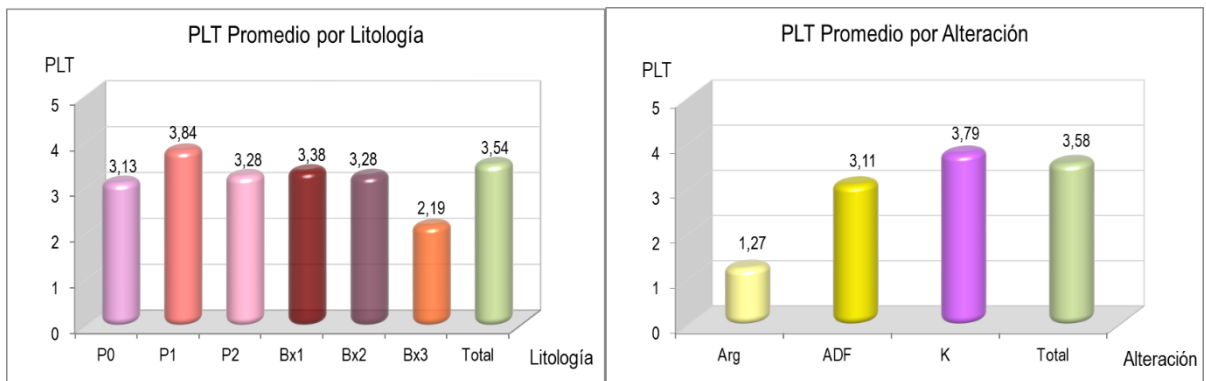


Figura 11-9: Variaciones de PLT con respecto a la litología y la alteración.

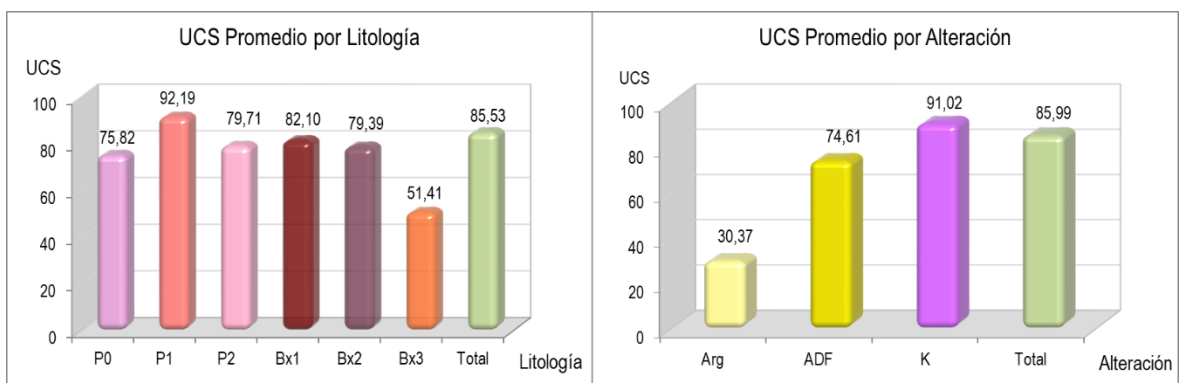


Figura 11-10: Variaciones de UCS con respecto a la litología y la alteración.

## 11.6 Susceptibilidad Magnética

El magnetismo de las rocas es el estudio del comportamiento y propiedades magnéticas de los distintos tipos de rocas y de los minerales que las constituyen, tal y como se encuentran en la naturaleza. La caracterización magnética de una muestra requiere la medición de diversos parámetros, siendo unos de los más importantes, la susceptibilidad magnética, que es el grado de magnetización de un determinado material en respuesta a un campo magnético. En las rocas es una respuesta a la presencia de minerales conductores como la magnetita y/o pirrotina, causando fuertes anomalías. La susceptibilidad magnética fue medida en cada muestra testigo de roca usando un susceptibilímetro “Kappameter KT-9”. La unidad de medición del KT-9 es en SI (Sistema Internacional), rangos de unidades de  $0.01 \times 10^{-3}$  hasta  $999 \times 10^{-3}$ , con una sensibilidad de  $0.01 \times 10^{-3}$  SI. Las unidades son “adimensionales”, e indica que a mayor valor, mayor es

la susceptibilidad magnética. Se realizan tres mediciones de susceptibilidad por intervalo de 2,00 m, el valor final del intervalo resulta del promedio de las tres mediciones.

En la Tabla 11-11 se presenta una estadística básica y los valores más frecuentes de susceptibilidad magnética. La susceptibilidad promedio es 22,57 y los rangos más frecuentes oscilan entre 100 y 50 (Fig. 11-11).

Susceptibilidad Magnética		Rango	Frecuencia	Fr.Acumulada%	Fr.Absoluta%
Media	22,57	0	34	0,43%	0,00%
Error Estándar	0,281	50	6925	88,09%	87,66%
Mediana	14,11	100	815	98,41%	10,32%
Moda	0,00	150	97	99,63%	1,23%
Desviación Estándar	24,93	200	24	99,94%	0,30%
Varianza de Muestra	621,30	250	2	99,96%	0,03%
Rango	344,33	300	2	99,99%	0,03%
Mínimo	0,00	350	1	100,00%	0,01%
Máximo	344,33				
Cantidad	7885				
Nivel de Confianza (95.0%)	0,55				

Tabla 11-11: Resumen de estadística básica de susceptibilidad magnética y frecuencias.

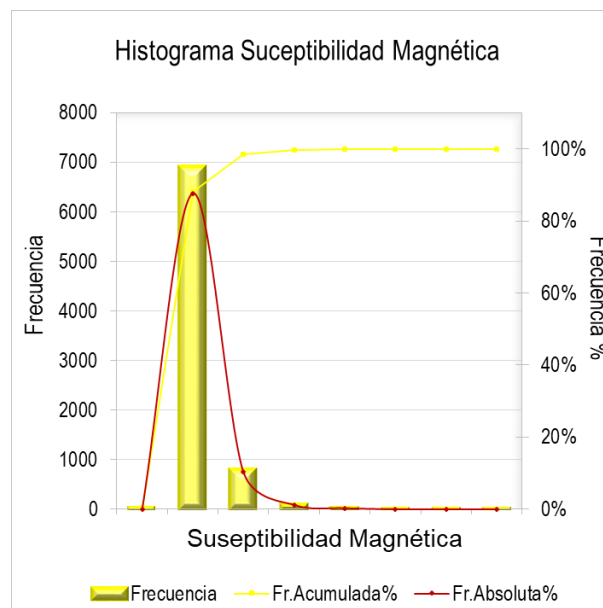


Figura 11-11: Gráfico de Estadística básica y Frecuencias de Susceptibilidad Magnética.

## 12 Nivel de Erosión

La depresión de la mina Bajo de la Alumbrera (BLA) tiene una superficie de 3.200 m por 2.200 m y una elevación central promedio de 2.550 m s.n.m. y está enmarcado por rocas de composición andesítica del CVFN. La intrusión de una serie de pórfidos dacíticos en este Complejo generó circulación de fluidos hidrotermales a gran escala que alteraron y mineralizaron tanto a las fases intrusivas como a las rocas volcánicas de la caja.

Considerando el modelo de génesis realizado por Proffett (2003) para la mina BLA, y el nivel de erosión de la misma, en forma preliminar se interpreta que el depósito de Bajo El Durazno se encuentra en un nivel superior, entre unos 200 y los 250 m, dependiendo del fallamiento del sector (Fig. 12-1). También se incluyen en el mismo los diferentes niveles erosivos de otros depósitos del CVFN. La hipótesis presentada se fundamenta en los resultados exploratorios obtenidos de diferentes programas de perforación DDH que se realizaron y sus respectivas descripciones, interpretaciones y evidencias geológicas (Bruna Novillo *et al.*, 2009, 2010a, b y 2011a, b y c).

Se resalta la importancia de considerar estos modelos para realizar la correlación correspondiente como guías flexibles y adaptables, ya que los mismos no son extrapolables en su totalidad, ni tampoco guías rígidas a aplicar en las distintas potenciales zonas de interés del complejo volcánico.

Otro parámetro que se utilizó en la interpretación del nivel de erosión fue la comparación en el contenido de As (ppm), obtenido de análisis realizados cada 10 muestras de sondeos DDH a través del método ICP, tanto para BLA y como para BED. Del análisis de los resultados se desprende que en BED hasta los 250 m de profundidad los valores de As presentan mayor variabilidad con un promedio de 17 ppm, para continuar por debajo de esa profundidad con valores más homogéneos, cuyos resultados son menores a 10 ppm con un promedio de 5 ppm. El análisis estadístico de los valores de As en BED, presenta una media de 13 ppm, mientras que para BLA los valores de As se mantienen en forma constante por debajo de 10 ppm, con una media de 2 ppm.

La secuencia de exposición relativa de los diferentes niveles erosivos de otros depósitos del CVFN con respecto a BLA desde el menos expuesto hasta el más erosionado, es:

- 1- Bajo Agua Tapada;**
- 2- Bajo Las Pampitas;**
- 3- Bajo El Durazno;**
- 4- Bajo de la Alumbreira**
- 5- Bajo San Lucas.**

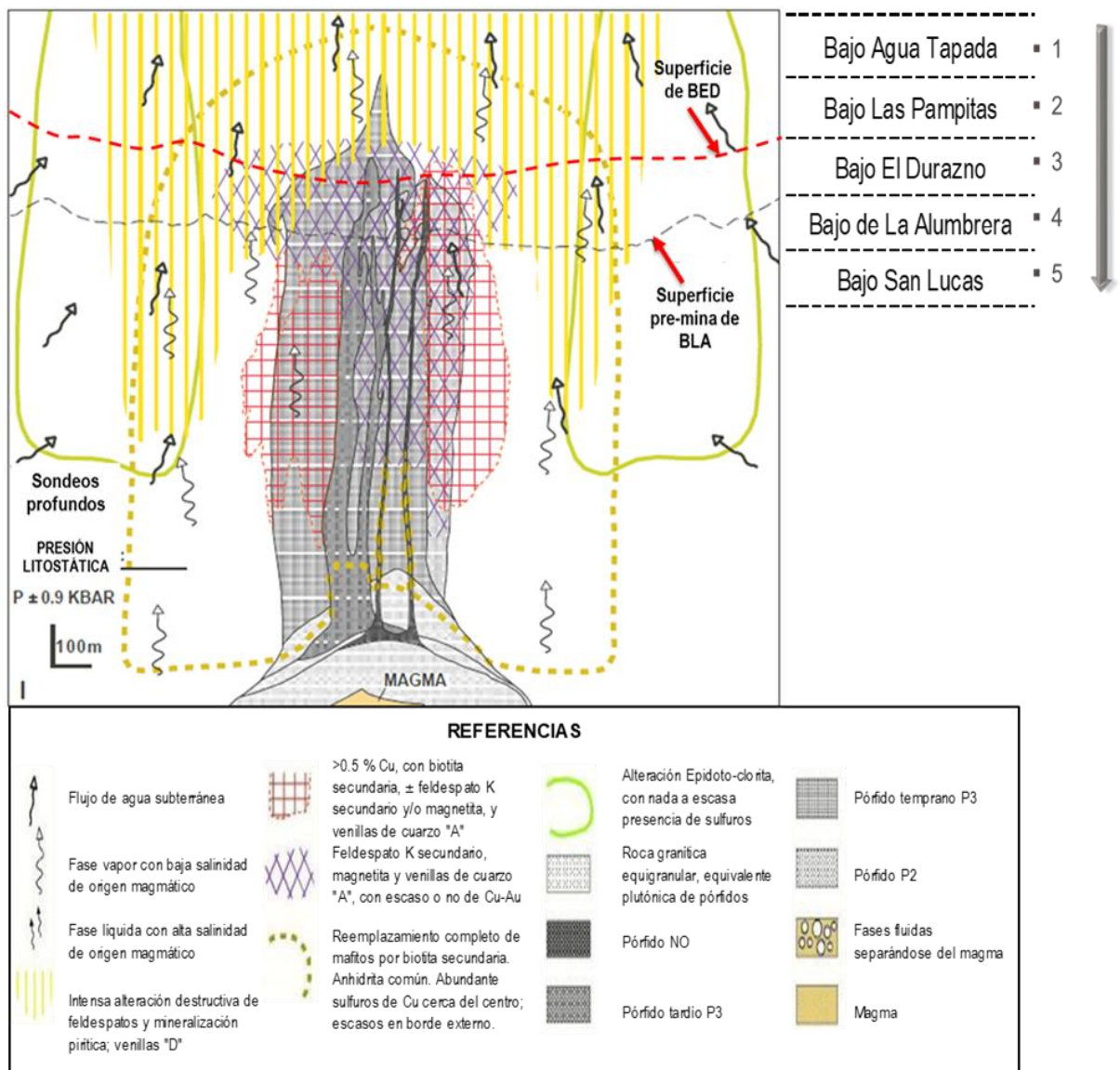


Figura 12-1: Sección final de la historia geológica temprana de Bajo de la Alumbreira (modificado de Proffett, 2003). Historia de emplazamiento de los pórfidos de Bajo de la Alumbreira, basado en la sección 49, mirando al NNO. Interpretación de diferentes niveles erosivos en otros depósitos del CVFN.

## 13 Tipo de Depósito

### 13.1 Pórfidos de Cobre Ricos en Oro

Según las conclusiones de Perelló y Cabello (1989), en la revisión de las características geológicas más relevantes de una población de 47 depósitos tipo pórfido cuprífero con leyes cabeza promedio  $\geq 0,3$  gpt Au, se extracta lo siguiente:

- Su edad queda comprendida entre el Arqueano (2.700 Ma) y el Plio-Pleistoceno (1,1-1,2 Ma) predominando los depósitos terciarios. Si bien este hecho se puede atribuir a un menor nivel de erosión, la identificación de sistemas porfídicos en terrenos precámbricos resulta más especulativa y problemática debido a que la deformación y metamorfismo obliteran las características primitivas de los depósitos.
- Las rocas de caja varían desde complejos volcánicos comagmáticos con los intrusivos, hasta rocas sedimentarias y metamórficas. Los intrusivos pertenecen tanto a las series calcoalcalina como alcalina y shoshonítica. La composición de los intrusivos en los depósitos de afinidad calcoalcalina, varía desde términos ácidos (riolíticos) hasta básicos (dioríticos). Los depósitos alcalinos se asocian, principalmente, con sienitas y los shoshoníticos, con andesitas y dacitas.
- Existe una correlación positiva entre la ley de oro y la profundidad de emplazamiento del sistema porfídico. Los sistemas subvolcánicos poseen, en general, leyes de oro superiores a los depósitos de emplazamiento más profundo. El oro se encuentra, principalmente, en su forma nativa, libre o como inclusiones en calcopirita y/o bornita. En algunos casos, se asocia a piritita, molibdenita y silicatos y, localmente, aparece en forma de telurios y electrum.
- Las leyes más elevadas de Au se alcanzan en zonas de alteración potásica con biotita, cuarzo, magnetita, anfíboles y en menor proporción, feldespato potásico. Valores altos de oro también se asocian a zonas de alteración argílica avanzada y cuarzo-sericítica±clorita, comúnmente sobreimpuestas a zonas tempranas de alteración potásica. La mayoría de los depósitos posee abundante magnetita y localmente, intensa silicificación. La magnetita puede estar contenida en la zona de alteración potásica o

formar, junto a cuarzo y anfíboles, el núcleo del sistema; o bien, distribuirse irregularmente en el depósito.

- Las leyes de Au muestran una correlación positiva con las de Cu en la mayoría de los depósitos. Un número considerable de yacimientos muestra leyes elevadas de Mo; similares contenidos de Au y Mo se observan algunos de variada composición y situación geotectónica. Esto es contrario a lo propuesto por Kesler (1973) en el sentido que los depósitos tipo pórfido cuprífero se agrupan en dos miembros opuestos: Cu-Mo y Cu-Au, sin términos intermedios. Favorece, por el contrario, la perspectiva de que estos sistemas forman parte de un amplio espectro que incluye, entre otros, pórfidos de Cu, Cu-Mo, Cu-Mo-Au, Cu-Au, Mo y Au.
- Debido a esta variación gradual en el contenido de Au y Mo, Cox y Singer (1988) señalaron que la división entre pórfidos cupríferos ricos y pobres en oro no debe depender solamente del contenido de oro en el sistema sino, más bien, debe tomar en cuenta la ley de Mo en cada caso, basado en la relación  $Au \text{ (gpt)}/Mo \text{ (\%)} \geq 30$ .
- La íntima asociación de oro con el cobre en zonas de alteración potásica sugiere condiciones de mineralización de alta temperatura. La información disponible indica que los fluidos responsables de esta mineralización poseerían temperaturas por encima de los 500°C y salinidades superiores a 45% peso equivalente NaCl y serían, de esta manera, compatibles con un origen magmático. El transporte de oro, en estas condiciones, se realizaría mediante complejos clorurados. El hecho que pórfidos ricos en oro se encuentren en variados ambientes geotectónicos, muy diversos en cuanto a composición, petrología y rocas de caja, estaría, en opinión de los autores, en contra de un origen cortical del oro (y cobre). Este hecho favorecería, por el contrario, una fuente fundamentalmente subcortical, abarcando desde las zonas más profundas de la corteza hasta el manto superior. Conclusiones parecidas se han expresado en relación al origen del cobre y molibdeno en algunos pórfidos cupríferos andinos (Sillitoe y Gappe, 1984).

Según Sillitoe (1990), los depósitos de cobre pórfido ricos en oro poseen todas las características geológicas esenciales de sus homólogos pobres en oro. El oro puede estar



presente en zonas de existencias de vetillas y/o diseminado dentro o cercano a los intrusivos pórfidicos. Estas reservas pueden constituir los focos de sistemas hidrotermales más extensos, dentro de los cuales pueden producirse oro de vetas epitermales de alta y baja sulfuración, skarns y reemplazos en rocas carbonatadas y no carbonatadas. Los depósitos presentan características de baja ley pero contienen altos tonelajes, con una ley media de 0,4-1,0% de cobre, < 1 gpt de oro y tonelajes de 50-500 Mt (Titley y Beane, 1981 y Sillitoe, 2000).

Sillitoe (1979) sostiene que son pórfidos ricos en Au todos aquellos que poseen una ley media  $\geq 0,4$  gpt Au (e.g.: Bajo de la Alumbrera, Argentina; Saindak, Pakistán y Ok Tedi y Panguna, Papúa y Nueva Guinea).

Para Cox y Singer (1988), la división entre pórfidos cupríferos ricos y pobres en oro deben tomar en cuenta la ley de Mo, basado en la relación  $\text{Au (gpt)/Mo (\%)} \geq 30$ .

El proyecto BED presenta una ley media de 0,33 gpt para el Au y de 0,12% para el Cu, tiene una relación  $\text{Au/Mo} \geq 80$ .

Según Gendall (1994), algunas características de estos depósitos semejantes a BED son:

- Los depósitos de pórfido de cobre-oro pueden estar relacionados con la profundidad, evidenciada en la zonación vertical asociada de los metales de mena.
- La meteorización y la erosión controlan la preservación.
- Las relaciones de  $f\text{O}_2/f\text{S}_2$  dentro de un sistema pórfido y la presencia o ausencia de magnetita puede determinar el potencial de oro.
- Los depósitos de pórfido cobre-oro son generalmente de menor tamaño que sus homólogos de cobre-molibdeno.
- La meteorización, la erosión y la exposición de los tipos de alteración, dan una indicación de que el pórfido está siendo mineralizado.
- Los tipos de alteración pueden ayudar a distinguir entre sistemas favorables de pórfido de oro-cobre y depósitos de pórfido estéril.

- La composición mineral del pórfido intrusivo puede indicar el potencial de los posibles portadores de oro-cobre.
- Las estructuras regionales y los lineamientos estructurales pueden favorecer la concentración de estos depósitos.
- El grado de fractura y vetillas pueden indicar los sitios más favorables para la deposición de mineral.
- Una sola característica no puede ser usada como base para la exploración para estos sistemas de pórfido de cobre-oro. El empleo de criterios ponderados de varias características puede ser el único método posible de poner en práctica un programa de exploración acertado.

Las rocas hospedantes no controlan el contenido de oro del depósito, pero su composición o característica estructural puede controlar la deposición de mineral más allá del *stock* de pórfido. La liberación de fluidos ricos en oro, mayormente en ácidos y altamente salinos del cuerpo magma, emplazado en rocas carbonatadas será más adecuado para un depósito de oro periférico que si las rocas de caja son una cuarcita no reactiva. Por lo tanto, las reacciones químicas entre las soluciones de mineral y las rocas hospedantes son importantes para localizar los fluidos ricos en minerales más allá del intrusivo porfídico.

Según Murakami *et al.* (2009), la correlación de la relación Cu/Au con la profundidad está influenciada principalmente por las variaciones del grado total de Au. A pesar de los controles mineralógicos locales dentro de algunos yacimientos, la relación general Cu/Au de los depósitos no muestra una correlación significativa con el tipo predominante de sulfuro de Cu-Fe, es decir, calcopirita o bornita. La fuente primaria de magma probablemente contribuye a la dotación de metal en la escala del distrito minero y en algunos depósitos individuales, pero no explica la amplia correlación de las proporciones de los metales con la presión de la formación de mineral.

La correlación observada de la relación Cu/Au con la presión del fluido, puede explicarse por el transporte dominante de Cu y Au en un vapor rico en S, que coexiste con menor salmuera en dos fases en sistemas magmático-hidrotermales. A una profundidad relativamente moderada (aproximadamente < 3 km), la solubilidad de ambos metales

disminuye rápidamente con la disminución de la densidad de la pluma de vapor ascendente, forzando la coprecipitación de Cu y Au. En contraste, el enfriamiento de vapor magmático a niveles más profundos (aproximadamente  $> 3$  km) y una mayor presión de confinamiento es probable que precipite Cu±Mo solamente, mientras que el oro en complejos bisulfurados permanece disuelto en el vapor relativamente denso.

Al enfriarse, este vapor puede finalmente contraerse a un líquido epitermal de baja salinidad, que puede contribuir a la formación de depósitos de oro epitermales a varios kilómetros por encima del depósito de pórfido Cu±Mo pobre en Au. Los sistemas de baja presión de salmuera+vapor son favorables para la coprecipitación de ambos metales, lo que genera depósitos de pórfido Cu±Au ricos en Au. Los depósitos epitermales de oro pueden estar asociados con tales sistemas superficiales, pero es probable que deriven sus componentes formadores de mineral de una fuente más profunda, que puede incluir en un depósito de pórfido Cu±Mo oculto.

### 13.2 Modelo Geológico y Conceptos

Los depósitos de cobre pórfidico ricos en oro se encuentran típicamente en cinturones orogénicos y en los límites de las placas convergentes o en asociación con el emplazamiento de existencias de alto nivel durante el tectonismo extensional relacionado con la falla de deslizamiento y expansión de retroarco. Normalmente hay múltiples emplazamientos intrusivos en profundidades someras, evidenciados por la preservación de secuencias volcánicas contemporáneas.

Sus litologías varían de cuarzo-diorita calcoalcalina hasta granodiorita y cuarzo-monzonita. Generalmente los intrusivos son cuerpos cilíndricos o en forma de campana con pequeñas expresiones superficiales pero son muy grandes en profundidad. Comúnmente estos pórfidos son concéntricos, formando una zona anular de alto grado con un núcleo estéril (Sillitoe, 2000).

Los depósitos de pórfido ricos en oro se encuentran generalmente en el nivel superficial de la corteza, a 1-2 km de profundidad. La mayor parte de los depósitos varían desde  $> 100$  m hasta  $< 1$  km de diámetro y el tramo vertical de toda la suite de alteración está aproximadamente a 4 km de la paleo-superficie (Sillitoe, 2000).

### **13.3 Características Geológicas**

En este punto, y aprovechando la información generada por las perforaciones DDH de las campañas de exploración en las principales áreas diseminadas del CVFN, se interpreta y se da a conocer una revisión de las variables geológicas que pudieran condicionar la presencia de oro en los sistemas de pórfidos. Entre éstas hay que considerar factores regionales (edad de los depósitos), factores específicos (rocas de caja, tipo de intrusivos, afinidades petrológicas y alteración hidrotermal) y la presencia del oro (nivel de erosión, oxidación y mineralogía), su posición al interior del sistema porfídico y su relación con los diferentes tipos de alteración hidrotermal (Tabla 13.1).

Depósito (Bajos)	Edad	Tipo de Intrusivo	Petrología	Roca de Caja	Alteración Hidrotermal	Asociación Alteración-Oro
1- Agua Tapada	6-8,5 Ma (K-Ar)	Pórfido dacítico	Shoshonítica (< calcoalcalina rica en K)	CVFN, intrusivo dacítico.	ADF sobreimpuesta, K, Ep-Cl. Silificación. Brechamiento.	Alt. K, Mineraliz. dis y en vn Qz+FK+Mag, Qz±Ccp±Mag. Bx hidrotermal.
2- Las Pampitas	7-8 Ma (K-Ar)	Pórfidos diorítico y dacítico	Shoshonítica	CVFN)intrusivo Molzonítico Alto de La Blenda.	K, Ep-Cl, núcleo Qz-Mag, ADF sobreimpuesta. Silificación y brechamiento.	Alt. K, Mineraliz. dis y en vn masivas de Ccp+Py+Mag+Hm/Mag y drusas de Qz. Vn tipo A y B, Qz+Py+H Ccp+ bandeamiento de Mag. Ccp dis fina y en Vcp.
3- El Durazno	7-8 Ma (K-Ar)	Pórfido diorítico	Shoshonítica	CVFN, intrusivo diorítico.	K, Ep-Cl, núcleo Qz-Mag, ADF sobreimpuesta. Silificación y brechamiento.	Alt. K, Mineraliz. dis y en vn Qz+Mag+Gp-Anh+Ccp, vn Mag+Py+Ccp, Ccp dis fina, V Ccp Qz+Ccp+Mag+Py. Sil y Bx Hidrotermales.
4- La Alumbraera	7 Ma (40Ar/39Ar)	Pórfido dacítico	Shoshonítica (< calcoalcalina rica en K)	CVFN, intrusivo dacítico.	K, Ep-Cl, núcleo Qz-Mag, ADF sobreimpuesta. Silificación y Calco-sódica en raíz sistema.	Alt. K, Mineraliz. dis y en vn Qz+Mag, vn Gp-Anh+Ccp+Mol, vn Mag+Py+Ccp, Ccp dis fina, V Ccp Qz+Ccp+Mag+Py.
5- San Lucas	7 Ma (K-Ar)	Pórfido dacítico	Shoshonítica	Fm. Suncho (esquistos y pizarras), Fm. Capillitas (granito), intrusivo diorítico.	K, ADF sobreimpuesta. Calco-sódica en raíz sistema.	Alt. K, Mineraliz. dis y en vn Qz+FK ± Anh ± Py ± Mag, Qz+Gp/Anh±Cb±Ccp/Py/Mol.
Depósito (Bajos)	Nivel de Erosión	Nivel de Oxidación	Mineralización	Mineralogía Sulfuros de Cu	Otros	Mineralización de Oro
1- Agua Tapada	+400 a +450m con respecto a BLA, dependiendo del fallamiento del sector.	±30m	Pórfido de Au-Cu. Velas de Sl (>Qz-Cb+Au-Ccp-Sp-Gn). Vn Sulfuros <<Qz+Py+Ccp+Spl+Gn. Bx Hidrotermal.	Ccp	Py, Sp, Gn	En Ccp, libre y <Py.
2- Las Pampitas	+300 a +350m con respecto a BLA, dependiendo del fallamiento del sector.	±100m	Pórfido de Cu-Au. Venillas epitermales oxidadas (Au-Ccp-Bo/Ccp)	Ccp (<Bn/Ccp)	Py	En Ccp, libre y <Py.
3- El Durazno	+200 a +250m con respecto a BLA, dependiendo del fallamiento del sector.	±30m	Pórfido de Au-Cu. Brechas hidrotermales (Au-Cu)	Ccp (<Bn/Ccp)	Py, Mol, Spt	En Ccp, libre y <Py.
4- La Alumbraera	Cota promedio central 2.550m. Paleosuperficie +2.500m en el CVFN.	±30m	Pórfido de Cu-Au-Mo. Velas de Sl (Qz-Cb+Au-Ccp-Sp-Gn)	Ccp (<Bn/Ccp, <Cc-Cv/Ccp-Py)	Py, Mol, Gn, Sp, Spt	En Ccp, libre y <Py.
5- San Lucas	-300 a -350m con respecto a BLA, dependiendo del fallamiento del sector.	±40m	Pórfido de Cu-Au-Mo.	Ccp (<Bn/Ccp, <Cc/Ccp)	Py, Mol	En Ccp, libre y <Py.

Tabla 13-1: Características geológicas de las principales áreas diseminadas del CVFN.  
Abreviaturas usadas de la Tabla 8.1.

---

## **14 Interpretación y Génesis del Depósito**

### **14.1 Introducción**

La génesis y evolución del sistema porfídico BED están controlado por estructuras regionales y locales que permitieron el emplazamiento de rocas intrusivas relacionadas a un sistema porfídico con mineralización económica de Au-Cu ( $\pm$ Mo).

### **14.2 Génesis y Evolución del Yacimiento**

La génesis y evolución geológica es interpretada de forma preliminar en base a las observaciones de campo, complementadas con la descripción e interpretaciones realizadas en testigos de rocas. La interpretación de las relaciones entre las intrusiones de pórfidos, las alteraciones hidrotermales y las mineralizaciones, conducen a un modelo paragenético para el proyecto BED. Una serie esquemática muestra las diferentes etapas de intrusión y alteración comenzando con el pórfido diorítico P0 y posteriormente las intrusiones de los pórfidos P1 y P2, diques P4 y brechas ígneas o intrusivas Bx1, Bx2 y Bx3 (Fig.14.1).

La historia de formación, emplazamiento, mineralización y tipos de alteración son el producto de la evolución de un sistema dinámico, en el cual sucesivas intrusiones (fases intrusivas), cargadas cada una de fluidos magmáticos, fueron desarrollando las zonas de alteración de acuerdo a un patrón espacial relacionado a temperaturas alcanzadas en distintos momentos y lugares. La génesis de BED se establece a partir de relaciones de contacto, características de mineralogías y datos geoquímicos, asumiendo que las intrusiones de fusión diorítica que escapan de una cámara magmática, han formado las diferentes etapas de pórfido y diques, químicamente uniformes. Las relaciones de contacto indican que las diferentes intrusiones (P0, P1 y P2) eran más o menos uniformes en la composición y se emplazaron antes del enfriamiento completo de las unidades precedentes (sin márgenes refrigerados), con contactos pocos claros, sutiles, complejos e irregulares, observándose escasos xenolitos y truncamientos de vetillas. Los contactos de los diques dioríticos P4, considerados como post-minerales tipo pórfiro, melanocráticos, de grano fino y poco fracturados, a veces se presentan algo más netos, lo que permitiría inferir que el estado de las rocas que intruyeron podría haber sido algo más frágil.

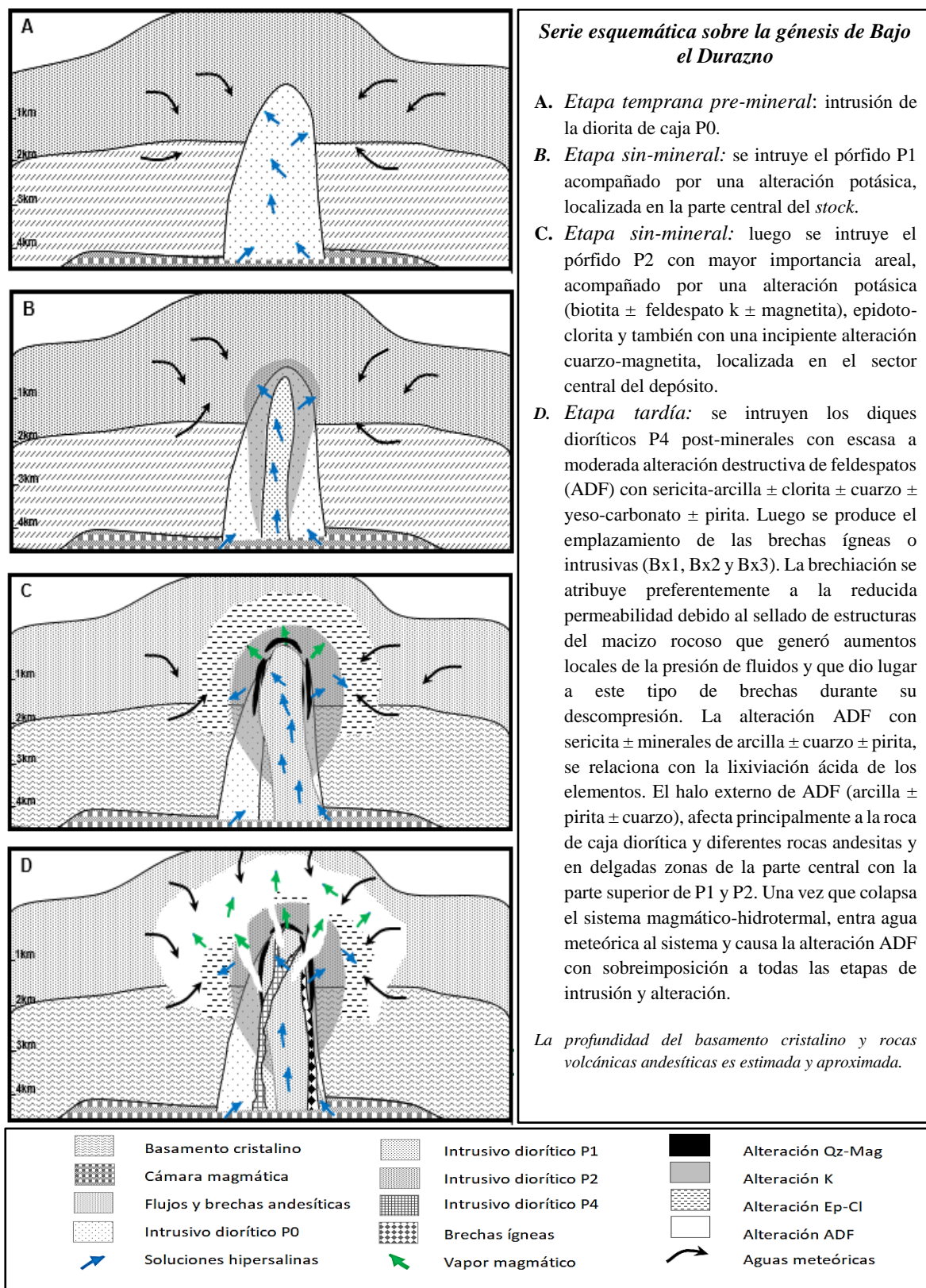


Figura 14-1: Serie esquemática sobre la génesis de Bajo El Durazno, con sus diferentes etapas de intrusión y alteración.

### ***Fase temprana pre-mineral***

Se desarrolla el emplazamiento del intrusivo diorítico P0 que atraviesa el basamento cristalino y las rocas andesíticas, correspondientes al CVFN y que consisten en una secuencia compleja de unidades que comprenden: intercalaciones de brechas andesíticas (monolíticas y heterolíticas), flujos autobrechados, tobas soldadas, conglomerados volcánicos, diques masivos oscuros y flujos masivos menos comunes que varían en composición de andesíticos a basálticos.

### ***Etapa sin-mineral***

Se desarrolla el emplazamiento de un *stock* porfídico compuesto por dos fases (P1 y P2) de similar composición y sutiles diferencias texturales, el cual corta a la fase intrusiva diorítica P0, que actúa de roca de caja. Las diferencias entre las fases de pórfido P1 y P2 parece ser principalmente un reflejo de los efectos de alteración, sin embargo hay variaciones en la granometría y las características de tamaño de grano y la matriz son también factores importantes para diferenciar entre P1 y P2. Generalmente se observa que el intrusivo P1 es de grano fino, de fase melanocrática y que fue emplazado antes que la fase de grano más gruesa del pórfido P2.

Las manifestaciones más fuertes de desarrollo de vetillas de cuarzo-magnetita están restringida al pórfido P2, en el sector central del depósito, donde la magnetita se presenta en forma masiva y como bandas oscuras a lo largo de los márgenes de la vetillas, produciendo la obliteración parcial de la textura. El intrusivo P0, adyacente al *stock* principal (P1-P2), sufrió principalmente una moderada a fuerte biotitización, acompañada por una ligera deposición de oro-cobre debido al cambio de la composición del fluido por la interacción con la roca y a la disminución de la temperatura durante la migración del fluido desde los intrusivos centrales hacia los bordes del depósito. La alteración epidoto-clorita se concentra en la parte externa del depósito y fue casi contemporánea con la alteración potásica en el centro, pero continuó después de que terminó la misma. Un gradiente de temperatura relativamente amplio entre las intrusiones dioríticas del *stock* principal y la roca de caja, así como la circulación de agua meteórica en las partes externas del sistema, son probablemente responsables de una disminución de la temperatura del



fluido mineral. La alteración potásica, se dispone en la parte central, afectando a los pórfidos P1 y P2 con variable intensidad.

Las vetillas relacionadas con el estadio principal de la mineralización contienen combinaciones principalmente de cuarzo±carbonato+magnetita+calcopirita±pirita, menor presencia de vetillas capilares de calcopirita y aún en menor cantidad, de yeso-anhidrita±carbonato±pirita+magnetita±molibdenita±calcopirita-bornita±magnetita.

También presenta mineralización en forma diseminada en matriz fina y en parches sobre magnetita-hematita±biotita secundaria±clorita.

La distribución del mineral entre los diferentes tipos de pórfidos, revela valores mayores de Au y Cu para los pórfidos dioríticos P1 y P2. Asimismo el Au y Cu están positivamente correlacionados y las leyes promedio de mineral en el pórfido diorítico P1 (0,55 gpt Au y 0,15 % Cu), presentan una mayor concentración con respecto a P2 (0,33 gpt Au y 0,15 % Cu). La correlación de Au y Cu en todo el depósito no es lineal y la relación Au/Cu se incrementa, con el aumento de las leyes de Cu. El intrusivo diorítico P0, es mineralizado débil a moderadamente, conteniendo las principales leyes en las áreas cercanas en los bordes de contacto con el intrusivo P2.

Las mejores leyes promedio de oro y cobre se presentan en la zona de alteración potásica, la cual constituye el mayor volumen de rocas afectadas.

### ***Etapa tardía***

Se intruyen los diques dioríticos P4 post-minerales con escasa a moderada alteración destructiva de feldspatos (ADF), integrada por sericita-arcilla±clorita±cuarzo±yeso-carbonato±pirita. Luego se produce el emplazamiento de las brechas ígneas o intrusivas (Bx1, Bx2 y Bx3). La brechación se atribuye preferentemente a la reducida permeabilidad debido al sellado de estructuras del macizo rocoso generó aumentos locales de la presión de fluidos que dio lugar a este tipo de brechas durante su descompresión. El pórfido P4 post-mineral tiene baja a nula concentraciones de Au y Cu, y en escasas ocasiones es afectado débilmente por la brecha Bx1. Con respecto a la variación de las leyes en las brechas, las brechas Bx1 y Bx3 presentan valores similares de Au y Cu al intrusivo P2 y

están positivamente correlacionados. La brecha Bx3 revela valores ligeramente mayores de Au y Cu, similares a P1 y de comportamiento similar que las brechas Bx1 y Bx2.

La alteración destructiva de feldspatos (ADF) con sericita±minerales de arcilla±clorita±cuarzo±pirita, se relaciona con la lixiviación ácida de los elementos y preferentemente se asocia a los bordes, donde se correlaciona con la diorita P0, y en delgadas zonas de la parte central, con la parte superior de P1 y P2. Hacia afuera del halo ADF, la alteración predominante es arcilla±pirita±cuarzo, que afecta principalmente a la roca de caja diorítica y andesitas. La fuerte alteración secundaria finalizó antes del emplazamiento de los diques tardíos de P4, que están afectados por una débil a moderada alteración ADF. Una vez que colapsa el sistema magmático-hidrotermal, entra agua meteórica al sistema y causa la alteración ADF con sobreimposición a todas las etapas de intrusión y alteración. La alteración destructiva de feldspatos (ADF) tiene valores muy bajo de oro, posiblemente asociado al halo pirítico, donde hay predisposición de alojar metales preciosos en vetillas distales de cuarzo o en el cuarzo de matriz. La mineralización de Cu y Au está estrechamente asociada con la alteración potásica, sin embargo, hay anomalías importantes de oro y cobre en la alteración argílica restringida sólo a sectores de falla principales. Todas estas fallas son post-minerales y los valores anómalos están evidenciando que actuaron como conductos de soluciones, presentando principalmente carbonato-yeso-arcilla como relleno principal, y por sectores son acompañados por cuarzo y escasos sulfuros.

El proceso que formó la alteración con sericita±minerales de arcilla±clorita±cuarzo±pirita, se relaciona con la lixiviación ácida que elimina la mayoría de los elementos a través de la hidrólisis. La evolución del fluido magmático y la separación en fases líquida y vapor puede desempeñar un papel importante en las fases posteriores de alteración, por ejemplo, a partir de la investigación en Yerington se sabe que este tipo de fluido puede causar una alteración ADF temprana en los niveles superiores del depósito (Proffett y Dilles, 1991). La distribución de alteración que penetra hacia la zona inferior del depósito, indica alguna influencia del agua meteórica.

Las vetillas tipo D asociadas a la alteración destructiva de feldspatos presentan un patrón radial alrededor del centro de la zona de alteración potásica y fueron emplazadas en fases

posteriores a la etapa tardío-magmática o potásica del depósito, en condiciones de rocas ya cristalizadas presentando un comportamiento netamente frágil, menores presiones, temperaturas y débiles salinidades con lo que se deduce que existe ya una influencia de aguas meteóricas y mezcla de ellas con fluidos magmáticos en esta etapa tardía del sistema (Camus, 2003).

## 15 Consideraciones Finales y Conclusiones

El presente trabajo de investigación tuvo como principales objetivos lograr un estudio, análisis e interpretación de la geología del proyecto Bajo El Durazno, para generar valor social, ambiental y económico en la región, mediante el re-análisis y conocimiento de la información para un mejor aprovechamiento de sus activos mineros. Busca conocer y caracterizar los procesos que actuaron en las diferentes etapas de las intrusiones multifase (varias fases intrusivas), considerar como soporte los fundamentos del modelo de recursos recuperables, vincular espacial, temporal y genéticamente las mineralizaciones con las unidades geológicas presentes y además correlacionar y comparar el modelo evolutivo de Bajo El Durazno con el de Bajo de la Alumbrera y el de otros sistemas de cobres porfíricos similares presentes en el CVFN.

A continuación se resumirán las principales conclusiones obtenidas:

### 15.1 Estructura

- a) El área presenta un sistema estructural con dos familias principales de fracturas asociadas a lineamientos regionales, una en sentido NO-SE y su conjugada de sentido NE-SO, también existen estructuras menores de orientación E-O y N-S. Las fallas de orientación NO-SE se encuentran en un rango comprendido entre 320° a 350°, mientras que las de orientación NE-SO presentan valores entre 50° a 60°. La inclinación general del fallamiento del área se encuentra entre los 68° y 80°. Los rellenos presentes en las fracturas son de espesor variable, con un predominio de minerales como yeso, arcillas, carbonatos y roca disgregada.
- b) Las estructuras con orientación NO-SE condicionan las tres quebradas mayores presentes en el depósito. Las estructuras de orientación NE-SO condicionan quebradas secundarias correspondientes a la red de drenaje y el emplazamiento de algunos cuerpos litológicos tales como el intrusivo diorítico P1 y los diques post-minerales P4.
- c) Las brechas ígneas o intrusivas presentan un fuerte control estructural; donde la brecha Bx1 tiene una tendencia general NNO-SSE, evidenciando un control por

parte de estructuras de orientación N-S, mientras que las brechas Bx2 y Bx3 están controladas por lineamientos principalmente NE-SO.

## 15.2 Litología

- a) Las rocas de caja son andesitas correspondientes al CVFN y consisten de una secuencia compleja de rocas volcánicas de composición predominantemente andesíticas, con intercalaciones de brechas andesíticas, flujos autobrechados, tobas soldadas, conglomerados volcánicos, diques masivos oscuros y flujos masivos.
- b) La relativa secuencia de intrusivos (P0, P1, P2 y P4) considerados en el trabajo como dioríticos, puede ser inferida a través de contactos observados e interpretados a través de cambios texturales, xenolitos, truncamiento de vetillas y bordes de reacción y enfriamiento. Los contactos interpretados, son pocos claros, sutiles, complejos e irregulares, observándose escasos xenolitos y truncamientos de vetillas. Estas observaciones permiten inferir que los intrusivos son de composiciones y características similares y se encontraban en un estado dúctil-frágil cuando fueron intruidos.
- c) Los contactos de los diques dioríticos P4, considerados como post-minerales tipo pórfido, melanocráticos, de grano fino y poco fracturados, a veces se presentan algo más netos, lo que permitiría inferir que el estado de las rocas que intruyeron podría haber sido algo más frágil.

## 15.3 Alteración

- a) La mineralogía y zonación de las facies de alteración corresponde a: 1) formación de las zonas de alteración cuarzo-magnetita en vetillas, restringida al pórfido P2, en el sector central del depósito, seguida por alteración potásica (Bt±Fk±Mag), y epidoto-clorita (Ep-Chl±Cal); 2) desarrollo de la alteración ADF (Alteración Destructiva de Feldespatos), formada por las alteraciones fílica (Qz-Ser±Py) y argílica intermedia (hacia fuera y arriba en la parte superior), por sectores en forma escasa a moderada, sobreimpuesta a la alteración potásica; y 3) formación de facies de alteración argílica avanzada en la parte superior del sistema. La

densidad de *stockwork* y/o vetillas, varía regularmente entre los diferentes intrusivos pero su presencia es predominantemente moderada, donde la mineralización es principalmente diseminada con presencia de sulfuros en cantidades variables entre trazas hasta un máximo de 4% en volumen de sulfuros.

- b) Las manifestaciones más fuertes de desarrollo de vetillas de cuarzo-magnetita están restringida al pórfido P2, en el sector central del depósito, donde la magnetita se presenta en formas masivas y como bandas oscuras a lo largo de los márgenes de la vetillas, produciendo la obliteración parcial de la textura. Las redes irregulares de vetillas de magnetita se producen en asociación con moderada alteración potásica y silicificación. Los porcentajes de vetillas de cuarzo con leyes de Au-Cu débilmente anómalas, varían entre > 30% y 10% en volumen, mientras que los porcentajes de magnetita varían entre 30% en forma masiva y entre 10% y 5% en forma de vetillas y diseminada en matriz. En el intrusivo P1 la presencia de vetillas de cuarzo±magnetita es muy escasa y de moderada intensidad con vetillas de cuarzo que varían entre 3% y 10% en volumen, los porcentajes de magnetita varían entre 3% y 7% en forma de vetillas y diseminada en matriz. La densidad de vetillas de cuarzo±magnetita es escasa en el pórfido P0, en rangos variables entre < 1 y 3% en volumen. El dique porfídico tardío post-mineral P4 tiene una muy escasa a nula densidad de diferentes tipos de vetillas tardías, en un rango < 1% en volumen.
- c) El modelo de alteración, es similar al de Bajo de la Alumbraera, pero en detalle, las diferencias entre los dos sistemas incluyen principalmente: un desarrollo mucho más intenso de un *stockwork* de vetillas de cuarzo y vetillas en la alteración cuarzo-magnetita en Bajo de la Alumbraera y un área más restringida de alteración potásica y, posiblemente por el nivel de erosión, facies de arcilla y sílice desarrolladas más extensamente en Bajo El Durazno.

## 15.4 Oxidación

- a) La zona de oxidación, producto de la meteorización en la parte superior ocasionada por circulación de aguas meteóricas, es identificado desde la quebrada

principal hasta una profundidad promedio de 30 m. La misma está representada por alteración supergénica, con lixiviación de sulfuros, pátinas de limonita-goethita sobre sulfuros en vetillas, magnetita parcialmente reemplazada por hematita (martitización) y óxidos de cobre, tales como malaquita y en algunos casos neotocita. La intensidad de oxidación es débil a moderada en general.

## 15.5 Mineralización

- a) La evidencia geológica y las leyes expuestas con los programas de perforaciones DDH de los años 2009, 2010 y 2011, permiten interpretar y soportar dos tipos de mineralización: uno asociado a un sistema tipo pórfido Au-Cu, donde el emplazamiento del magma y su posterior actividad hidrotermal ha causado una mineralización que sería predominantemente diseminada, con algo de vetillas y/o *stockwork*, englobando a por lo menos entre 3-4% de sulfuros en total, conformando una anomalía en dirección NE-SO. El enjambre de varios tipos de vetillas se encuentra principalmente en los pórfidos P1 y P2 tal como se reconoce en el sondeo 50.0-44.3 a la profundidad de 160 m en línea vertical desde la topografía. El segundo tipo de mineralización de Au-Cu está asociado a brechas ígneas o intrusivas, donde la brechación se atribuye preferentemente a la liberación violenta de fluidos desde los stocks en enfriamiento, produciendo varios eventos de brechamiento y fracturamiento hidráulico. La mineralización por sectores es variable intensa a moderada y se presenta en fragmentos de P0, P1 y P2, en forma diseminada con magnetita y en vetillas capilares.
- b) La distribución de la mineralización de Au-Cu asociada a los intrusivos ocurre en finas vetillas, en vetas y en forma diseminada en los pórfidos dioríticos (P1 y P2) y la diorita de la caja (P0), disminuyendo en leyes de los pórfidos dioríticos tempranos a los pórfidos más jóvenes, de los cuales el pórfido post-mineralización (P4), es prácticamente estéril. Las inclusiones de calcopirita en finas vetillas de cuarzo, cuarzo-carbonato, yeso, yeso-carbonato, en matriz diseminada muy fina y asociada con la alteración de feldespato potásico-biotita-cuarzo+magnetita secundaria fina diseminada en matriz, indican que las principales etapas de mineralización ocurrieron en las dos intrusiones dioríticas P1 y P2.

- c) La distribución asociada a un segundo evento de mineralización, está representada por cuerpos de brechas ígneas o intrusivas denominados Bx1, Bx2 y Bx3. Tales brechas se asocian principalmente a zonas de debilidad y/o estructuras y se evidencian en varios sondeos. Las brechas presentan contactos netos con la roca encajonante; los fragmentos son subangulosos a subredondeados y heterolíticos (andesita y pórfidos P0, P1 y P2). A mayor profundidad se observa principalmente textura fluidal atribuida al transporte ascendente del material por fluidos (fluidización).
- d) Hay otro evento posterior, asociado a fallas principales post-minerales, que está relacionado a la alteración argílica por fallas (Arg) con valores promedios anómalos de Au-Cu-Mo y Ag, que están evidenciando que las fallas actuaron como conductos de soluciones, presentando principalmente carbonato-yeso-arcilla como relleno principal, acompañados en algunos sectores por cuarzo y escasos sulfuros. Este evento tardío de menor temperatura, involucró posiblemente circulación de H<sub>2</sub>O sobreimponiendo sitios con una segunda generación de minerales del grupo del arcillas±carbonatos-clorita-yeso en las rocas porfíricas (P2-P0). Esta tendencia con una mayor concentración de Mo en los bordes y con un comportamiento de correlación inversa a la mineralización del Au-Cu, coincide con el modelo de Cu, Au y Mo de Bajo de la Alumbrera.
- e) La mineralización refleja principalmente, valores de Au (@ > 0.30 gpt) con valores de Cu subordinados (@ < 0.20%). El emplazamiento de las brechas es considerado post-mineral, debido a que se observa por ejemplo en el sondeo 50.0-44.2, cómo afecta al dique diorítico P4 con escasa alteración ADF y trazas a nula mineralización. Se reconoce en varios sondeos que tales brechas se asocian principalmente a zonas de debilidad y/o estructuras, y que la mineralización que las acompaña afecta a los pórfidos que actúan de roca de caja (P0, P1 y P2) de forma gradacional.
- f) La mineralización de oro sigue abierta principalmente hacia el NE en profundidad y parcialmente al SE, ambos sectores con contenido de cobre < 0,20%. El modelo



geológico no descarta que el contenido de cobre aumente en profundidad, lo que debe aún ser comprobado con sondeos profundos.

- g) Existe una buena correlación entre las concentraciones de oro y cobre. Cuando aumenta el oro, tiende a aumentar el cobre, lo que corrobora la pendiente positiva de la recta de regresión. Los valores para el coeficiente de correlación en el Au vs. Cu para los intrusivos+brechas son buenos y es de 0,82, la relación entre el oro y el cobre es de aproximadamente de 4:1; la misma se cumple salvo que los valores de oro sean muy altos ( $> 0,30$  gpt Au) situación en la que el Cu no acompaña en la misma medida y no se mantienen la relación 4:1.
- h) La correlación entre oro y plata es positiva pero como un coeficiente mucho más bajo (0,50). Las mayores dispersiones y menor correlación se presentan en las leyes altas de plata, que no significan tenores elevados de oro para los intrusivos, brechas y/o ambos. La relación entre la plata y el oro es de aproximadamente de 1,2:1.
- i) La distribución de la mineralización del molibdeno está espacialmente bien definida y representada por valores de leyes bajas  $\leq 0,010\%$  Mo. Las estimaciones cuantitativas y cualitativas de los minerales, así como las observaciones macroscópicas, indican que las brechas Bx1-Bx2-Bx3 y el pórfido diorítico P0 contiene concentraciones de molibdeno ligeramente superiores a las intrusiones P1 y P2 mineralizadas con Au y Cu, evidenciando que la deposición de la molibdenita fue ligeramente posterior y más periférica con respecto que la del Au y Cu.
- j) El proyecto BED presenta una ley media de 0,33 gpt para el Au y de 0,12 % para el Cu. Según Cox y Singer (1988), la división entre pórfidos cupríferos ricos y pobres en oro deben tomar en cuenta la ley de Mo, basado en la relación Au (gpt)/Mo (%)  $\geq 30$ ; BED tiene una relación Au/Mo  $\geq 80$ .
- k) Se proponen dos hipótesis para explicar la presencia del yeso: 1) Dada por la presencia de anhidrita, que es formada cuando los minerales cálcicos, liberan este catión ( $\text{Ca}^{++}$ ), y el mismo es fijado por combinación de sulfatos durante la mineralización primaria. El yeso tendría origen post-mineral, y se forma por hidratación de la anhidrita. 2) Formación de yeso tardío, de ocurrencia en zonas de

falla ó en vetillas. Estas últimas rellenan espacios abiertos provocados por el aumento de volumen dado por la hidratación de la anhidrita, y están cortando vetillas del tipo “D”. La génesis para este tipo de yeso se basa en la presencia de soluciones de sulfato formadas por la oxidación de la piritita que reaccionan con carbonato de calcio o con soluciones ricas en ese catión.

## 15.6 Geoquímica

- a) Los resultados de 11 análisis lito-geoquímicos en muestras recolectadas en testigos de rocas de las principales secuencias de intrusivos dioríticos (P0, P1 y P2), presentan las siguientes características geoquímicas:
- El rango de SiO<sub>2</sub> en estas rocas es alto y varía entre 55,32 y 62,46%.
  - El rango de K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O es variable entre 5,70 y 7,18.
  - La cantidad de Nb, Zr e Y es alta con valores promedios de 15, 142 y 18 ppm, respectivamente.
  - El rango de CaO es variable entre 2,84 y 6,65%.
  - La cantidad de MgO es baja y varía entre 1,52 y 3,51%.
- b) Las rocas tienen composiciones evolucionadas y evidenciadas por los valores de SiO<sub>2</sub> entre 55,32 y 62,46 % en peso y Mg# ( $Mg\# = Mg / (Mg + Fe) < 53$ , dando como resultado concentraciones bajas de elementos compatibles con el manto (por ejemplo Ni < 17 ppm, V < 148 ppm).
- c) La composición normativa de los intrusivos mineralizados (P0, P1 y P2), está integrada por cuarzo (11,18-22,92 %), plagioclasa (36,09-50,46 %), ortoclasa (13,84-25,58 %), hipersteno (3,79-8,74 %) y como accesorios rutilo, ilmenita, hematita, apatita, zircón y titanita.
- d) Se utilizaron los datos analíticos de Müller y Forestal (1998), provenientes de muestras obtenidas de Bajo de la Alumbreira, graficándolos conjuntamente con los de Bajo El Durazno. Se realizaron varios diagramas para analizar su correlación.

Casi todas las muestras se encuentran en el campo de la serie shoshonítica a excepción de tres de BLA que se dispersan en el campo de la serie calcoalcalina de Alto K. Todas las muestras presentan composiciones químicas que son típicas de las rocas ígneas potásicas relacionadas con la subducción y se presentan en el campo de arcos continentales y post-colisionales, discriminándolos claramente de las rocas relacionadas con el arco oceánico. En síntesis, se observa un escenario de emplazamiento de arco continental para las rocas del BED y BLA.

- e) En las muestras analizadas de BED, los contenidos de Nb son débilmente elevados de hasta 18 ppm, con similar comportamiento que en BLA. Por lo tanto, del análisis surge que hay una alta correspondencia entre las muestras de ambos depósitos y por consiguiente se interpreta que las rocas huéspedes de ambos pertenecen a un arco continental maduro evolucionado sobre la zona de Benioff de la interacción entre la placa continental sudamericana y la placa oceánica de Nazca.
- f) En el diagrama de elementos de tierras raras normalizadas respecto al condrito C1 se observa una marcada uniformidad en la distribución de las curvas de elementos.
- g) En el diagrama de elementos traza normalizados respecto al manto primitivo todas las muestras de BED están enriquecidas en los elementos litófilos de alto radio iónico LILE (Rb, K, Sr, Pb), Th y Gd respecto a los elementos con anomalías negativas de alto potencial iónico HFSE (Nb, Ti), Ce, Tl y Nd. La mayoría de los picos tienen correlación con los datos trazados correspondientes a muestras provenientes del área del Complejo Volcánico Farallón Negro (Sasso 1997).
- h) En los diagramas de discriminación tectonomagmática para granitos según Pearce *et al.* (1984), se observa que las muestras de los principales intrusivos mineralizados de BED presentan una afinidad con magmatismo de arco volcánico. Estos rasgos son indicativos de granitos tipo I y no de granitoides generados en dorsales oceánicas, (*sensu* Chappell y White, 1974; Pearce *et al.*, 1984; Best y Christiansen, 2001). La abundancia de minerales hidratados, especialmente biotita, es común en granitoides formados en este tipo de ambiente tectónico.

## 15.7 Variables Geomecánicas en Testigos de Rocas

- a) La media del valor de densidad es de  $2,65 \text{ g/cm}^3$  y los valores más frecuentes oscilan entre  $2,60$  y  $2,80 \text{ g/cm}^3$ . La misma no varía demasiado en función de la litología de BED, la Bx1 presenta el valor de densidad promedio más alto ( $2,66 \text{ g/cm}^3$ ) y el intrusivo P2 el más bajo ( $2,63 \text{ g/cm}^3$ ). Con respecto a las alteraciones, la potásica ( $2,64 \text{ g/cm}^3$ ) y la destructiva de feldespatos ( $2,63 \text{ g/cm}^3$ ) presentan una densidad promedio similar cuyos valores se ubican en torno de la media, siendo la primera alteración ligeramente mayor. La alteración argílica posee los valores de densidad más bajos ( $2,55 \text{ g/cm}^3$ ), debido a que está asociada a sectores fracturados por fallas principales. Existe una correspondencia relativamente buena entre densidad y la alteración, registrándose mayores valores asociados a alteración potásica y en menor medida a destructiva de feldespatos. Valores altos de densidad también pueden estar asociados a mayor contenido de sulfuros.
- b) La distribución de RQD % promedio por litología, presenta valores mínimos de  $50,00\%$  en el intrusivo P2 y valores máximos de  $59,57\%$  en el intrusivo P1. Con respecto a la distribución de RQD % promedio por alteración, la destructiva de feldespatos presenta valores de  $54,98\%$  y la alteración potásica de  $58,80\%$ . La alteración argílica posee los valores % de RQD más bajos ( $16,80$ ), debido a que está asociado a sectores fracturados por fallas principales. La distribución de GSI promedio por litología y alteración presenta una correlación muy buena, comportándose de la misma manera que el RQD %. Ambos parámetros reflejan condiciones del macizo rocoso de regular a bueno.
- c) La distribución de PLT promedio por litología presenta valores mínimos de  $2,19$  para la brecha Bx3 y valores máximos de  $3,84$  en el intrusivo P1. Con respecto a la distribución de PLT promedio por alteración, la alteración destructiva de feldespatos presenta valores de  $3,11$  y la alteración potásica de  $3,79$ . La alteración argílica posee los valores de PLT más bajos ( $1,27$ ), en correspondencia a una roca más blanda y asociada a sectores fracturados por fallas principales. La distribución de UCS promedio por litología y alteración presenta una correlación muy buena, comportándose de la misma manera que el PLT.

### 15.8 Nivel de Erosión

- a) Considerando el modelo de génesis realizado por Proffett (2003) para la mina BLA, y el nivel de erosión de la misma, en forma preliminar se interpreta que el depósito BED se encuentra en un nivel superior, entre unos 200 a 250 m, dependiendo del fallamiento del sector.
- b) La secuencia de exposición relativa de los diferentes niveles erosivos de otros depósitos del CVFN con respecto a BLA, desde el menos expuesto hasta el mas erosionado, es: 1- Bajo Agua Tapada; 2- Bajo Las Pampitas; 3- Bajo El Durazno; 4- Bajo de la Alumbraera y 5- Bajo San Lucas. La hipótesis presentada se fundamenta en los resultados exploratorios obtenidos de diferentes programas de perforación DDH que se realizaron y sus respectivas descripciones, interpretaciones y evidencias geológicas. Se resalta la importancia de considerar estos modelos para realizar la correlación correspondiente, como guías flexibles y adaptables, ya que los mismos no son extrapolables en su totalidad, ni tampoco guías rígidas a aplicar en los distintos “blancos” del complejo volcánico.

### 15.9 Génesis y Evolución del Yacimiento

- a) La génesis y evolución geológica es interpretada de forma preliminar en base a las observaciones de campo, descripción e interpretaciones realizadas en testigos de rocas. La interpretación de las relaciones entre las intrusiones de pórfidos, las alteraciones hidrotermales y las mineralizaciones, conducen a un modelo paragenético para el proyecto BED. Una serie esquemática muestra las diferentes etapas de intrusión y alteración comenzando con el pórfido diorítico P0 y posteriormente las intrusiones de los pórfido P1, P2, diques P4 y brechas ígneas o intrusivas Bx1, Bx2 y Bx3.
- b) La historia de formación, emplazamiento, mineralización y tipos de alteración son el producto de la evolución de un sistema dinámico, en el cual sucesivas intrusiones (fases intrusivas), cargadas cada una de fluidos magmáticos, van desarrollando las zonas de alteración de acuerdo a un patrón espacial relacionado a temperaturas alcanzadas en distintos momentos y lugares. La génesis de BED se establece a partir de características de contacto, mineralogía y datos geoquímicos, asumiendo

que las intrusiones de fusión diorítica que escapan de una cámara magmática, han formado las existencias y diques químicamente uniformes de las diferentes etapas de pórfido.

- c) Las características de contacto indican que las diferentes intrusiones (P0, P1 y P2) eran más o menos uniformes en la composición y se colocaron antes del enfriamiento completo de las unidades precedentes (sin márgenes refrigerados), con contactos pocos claros, sutiles, complejos e irregulares, observándose escasos xenolitos y truncamientos de vetillas. Los contactos de los diques dioríticos P4, considerados como post-minerales tipo pórfido, melanocráticos, de grano fino y poco fracturados, a veces se presentan algo más netos, lo que permitiría inferir que el estado de las rocas que intruyeron podría haber sido algo más frágil.

---

**16 Bibliografía**

- Alderete, M. C. (1999). Bajo El Durazno, Catamarca. En Zapettini, E.O. (ed.) Recursos Minerales de la República Argentina, Instituto de Geología y Recursos Minerales, SEGEMAR, Anales 35: 1463-1466 p, Buenos Aires.
- Allison, A.E. (1986). The geology of the Bajo el Durazno porphyry copper-gold prospect, Catamarca province, Argentina: Unpublished M.Sc. thesis, Tucson, AZ, University of Arizona, 167 p.
- Allmendinger R.W., Ramos V.A., Jordan T.E., Palma M., Isacks B.L. (1983). Paleogeography and Andean structural geometry, northwest Argentina. *Tectonics* 2: 1-16 p.
- Angelelli V. (1984). Yacimientos Metalíferos de la República Argentina II. Comisión de Investigaciones Científicas, Buenos Aires, 401-402 p.
- Aubry, L.; Roperch, P.; de Urreiztieta, M.; Rossello, E.; Chauvin, A. (1996). A Paleomagnetic study along the south-eastern edge of the Altiplano-Puna Plateau Neogene tectonic rotations. *Journal of Geophysical Research* 101: 17883-17889 p.
- Barazangi M.; Isacks B. (1976). Spatial distribution of earthquakes and subduction of the Nazca plate beneath South America. *Geology* 4: 686–692 p.
- Bassi, H.; Rochefort, G. (1980). Estudio geológico del yacimiento cupro-aurífero de la Alumbreira. Servicio Minero Nacional. Ministerio de Economía. Secretaría de Estado de Minería. Buenos Aires. Anales XVIII. 1-78 p.
- Best, M.G.; Christiansen, E. H. (2001). *Igneous Petrology*. XVI+458 pp. Oxford: Blackwell Science.
- Bevis M.; Isacks B. (1984). Hypocentral trend surface analysis: probing the geometry of the Benioff zones. *Journal of Geophysical Research* 89: 6153–6170 p.

- Broch E.; Franklin J.A. (1972). The point-load strength test. *Int. J. Rock. Mech. Min. Sci.*, vol 9, side 669- 697 p.
- Bruna Novillo, J.; Bassan, J.; Rossi, M. (2014). Los Riesgos en los Fundamentos del Modelo de Recursos Recuperables. XIX Congreso Argentino de Geología. 2-6 Junio, 2014. 1-2 p. Córdoba, Argentina.
- Bruna Novillo, J.; Carrazana, A.; Pavetti, E.; Simon, V.; Barrionuevo, M. (2011a). Proyecto Bajo El Durazno Au-Cu, Provincia de Catamarca, Argentina. Exploración áreas diseminadas. Informe Final Interno. Diciembre, 2011. Minera Alumbreira Ltd.-YMAD. 1-225 p.
- Bruna Novillo J.; Carrazana, A.; Garcia, M.; Pavetti, E. (2011b). Proyecto Bajo Agua Tapada Cu-Au, Provincia de Catamarca, Argentina. Exploración áreas diseminadas. Informe Final Interno. Mayo, 2011. Minera Alumbreira Ltd.-YMAD. 1-127 p.
- Bruna Novillo, J.; Carrazana, A.; Garcia, M.; Villavicencio, F.; Pavetti, E. (2011c). Proyecto Bajo San Lucas Cu-Au, Provincia de Catamarca, Argentina. Exploración áreas diseminadas. Informe Final Interno. Marzo 2011. Minera Alumbreira Ltd.-YMAD. 1-116 p.
- Bruna Novillo, J.; Carrazana, A.; Garcia, M.; Villavicencio, F. (2010a). Proyecto Bajo El Durazno Au-Cu, Provincia de Catamarca, Argentina. Exploración áreas diseminadas. Informe Final Interno. Diciembre, 2010. Minera Alumbreira Ltd.-YMAD. 1-186 p.
- Bruna Novillo, J.; Carrazana, A.; Zapata I.; Garcia, M. (2010b). Proyecto Bajo Las Pampitas Cu-Au, Provincia de Catamarca, Argentina. Exploración áreas diseminadas. Informe Final Interno. Febrero, 2010. Minera Alumbreira Ltd.-YMAD. 1-118 p.
- Bruna Novillo, J.; Bassan, J.; Rossi, M. (2009). Los Fundamentos del Modelo de Recursos Recuperables. USACH - SIMIN (XVI Simposium de Ingeniería en Minas Santiago, 18-21 Agosto, 2009: 1-14. Santiago, Chile. Los Fundamentos



del Modelo de Recursos Recuperables. USACH - SIMIN (XVI Simposium de Ingeniería en Minas Santiago, 18-21 Agosto, 2009: 1-14. Santiago, Chile.

Bruna Novillo, J.; Carrazana, A.; Gregorat, S. (2009). Proyecto Bajo El Durazno Au-Cu, Provincia de Catamarca, Argentina. Exploración áreas diseminadas. Informe Final Interno. Octubre, 2009. Minera Alumbreira Ltd.-YMAD. 1-160 p.

Buret, Y.; Wotzlaw, J-F.; Roozen, S.; Guillong, M.; von Quadt, A.; Heinrich, C. A. (2017). Zircon petrochronological evidence for a plutonic-volcanic connection in porphyry copper deposits. The Geological Society of America. Data Repository item 2017203 | doi:10.1130/G38994.1.

Buret, Y.; von Quadt, A.; Heinrich, C.; Selby, D.; Wälle, M.; Peytcheva, I. (2016). From a long-lived upper-crustal magma chamber to rapid porphyry copper emplacement: Reading the geochemistry of zircon crystals at Bajo de la Alumbreira (NW Argentina): *Earth and Planetary Science Letters*, v. 450, p. 120–131, doi: 10.1016/j.epsl.2016.06.017.

Burnham, C. W. (1985). Energy release in subvolcanic environments: Implications Energy release in subvolcanic environments: Implications for breccia formation. *Economic Geology*, Vol. 80, 515-1522 p.

Burnham, C. W.; Ohmoto, H. (1980). Late stage processes of felsic magmatism. In Ishihara, S. Y Takenouchi, S., eds., *Granitic magmatism and related mineralization*. Soc. Mining Geologists Japan, Spec. Issue 8. 1-11 p.

Burnham, C.W. (1979). Magmas and hydrothermal fluids, in Barnes, H.L.ed., *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*, 2nd edition: New York, John Wiley and Sons. Bushnell, S.E, 1988, *Mineralization*. 71-136 p.

Camino, R. (1979). Cordillera Frontal. En: Turner, J.C.M. (Ed.): *Segundo Simposio de Geología Regional Argentina*, Academia Nacional de Ciencias. Córdoba. 1: 397-453 p,

- Caelles, J.C. (1979). The geological evolution of the Sierras Pampeanas Massif, La Rioja and Catamarca provinces, Argentina: Unpublished Ph.D. thesis, Kingston, ON, Queen's University, 514 p.
- Caelles, J.; Clark, A.; Farrar, E.; McBride, S.; Quirt, S. (1971). Potassium-argon ages of porphyry copper deposits and associated rocks in the Farallón Negro-Capillitas district, Catamarca, Argentina: *Ec.Geology*, 66: 961-964 p.
- Camus, F. (2003). *Geología de los sistemas porfíricos en los Andes de Chile*. Servicio Nacional de Geología y minería. Santiago, Chile. 267 p.
- Carmichael, I.S.E.; Lange, R.A.; Luhr, J. (1996). Quaternary minettes and associated volcanic rocks of the Mascota, western Mexico: a consequence of plate extension above a subduction modified mantle wedge. *Contrib. Mineral. Petrol.* 124, 302–333 p.
- Chambefort, I. (2005). The Cu-Au Chelopech Deposit, Panagyurishte District, Bulgaria: Volcanic Setting, Hydrothermal Evolution and Tectonic Overprint of Late Cretaceous High-Sulfidation Epithermal Deposit. PhD Thesis, Université de Geneve, *Terre et Environnement*, 52, 173 p.
- Chappell, B.W.; White, A.J.R. (1974). Two contrasting granite types. *Pacific Geology* 8, 173–174 p.
- Clark, A. H.; Sasso, A. M. (2000). The shoshonite porphyry Cu-Au association at Bajo de la Alumbrera, Catamarca Province, Argentina, by D. Muller and P. Forrestal: a discussion: *Mineralogy and Petrology*, v. 68, p. 297-304.
- Corbett, G.; Leach, T. (1998). Southwest Pacific rim gold-copper systems: structure, alteration, and mineralisation. *Society of Economic Geologists Special Publication* 6, 234 p.
- Corbett, G.; Leach, T. (1997). Short course manual. Southwest Pacific rim gold-copper systems: Structure, alteration and mineralization. 5/97 Ed. 317 p.

- Coughlin, T.J.; O'Sullivan, P.B.; Kohn, B.P.; Holcombe, R.J. (1998). Apatite fission-track thermochronology of the Sierras Pampeanas, central western Argentina: implications for the mechanism of plateau uplift in the Andes. *Geology* 26:999–1002.
- Coward, M. (2006). El Durazno. Status Report. Minera Alumbreira Ltd. October 2006. 28 p.
- Cox, K. G.; Bell, J. D.; Pankhurst, R. J. (1979). *The Interpretation of Igneous Rocks*. George Allen & Unwin. 450 p.
- Cox, O.P.; Singer, D.A. (1988). Distribution of gold in porphyry copper deposits. US Geological Survey, Open File Report, No. 88-46, 22 p.
- De la Roche, H.; Leterrier, J.; Grandclaude, P.; Marchal, M. (1980). A classification of volcanic and plutonic rocks using R1, R2-diagrams and major element analysis—its relationships with current nomenclature. *Chemical Geology* 29, 183-210 p.
- Deere, D.U.; Deere, D.W. (1988), The Rock Quality Designation (RQD) Index in Practice, *Rock Classification Systems for Engineering Purposes*, ASTM STP 984, ed. Louis Kirkaldie, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 91-101 p.
- Dostal, J.; Zentilli, M.; Caelles, J.C.; Clark, A.H. (1977). Geochemistry and origin of volcanic rocks of the Andes (26°–28°): *Contributions to Mineralogy and Petrology*, v. 63, 113–128 p.
- García, H.H. (1969). Consideraciones sobre algunas alineaciones de desarrollos hidrotermales tipo pórfido cuprífero en el noroeste Argentino: *Rev. Dir. Nac. Geol. Min.* 18, 55-66 p.
- Gendall, I.R. (1994). *The Porphyry Copper System and the Precious Metal-Gold Potential*. Degree of Master of Science (Exploration Geology) at Rhodes University, Grahamstown. 1-142.

- Guilbert, J.M. (1995). Geology, alteration, mineralization, and genesis of the Bajo de la Alumbraera porphyry copper-gold deposit, Catamarca province, Argentina: *Arizona Geological Society Digest*, v. 20, p. 646–656.
- Giudici, J. (2001). PROYECTO YMAD - SA25-ARG008. INFORME TECNICO FINAL 2° Año de Exploración. MIM Argentina Exploraciones S.A. Setiembre de 2001. 1-49 p.
- Giudici, J. (2000b). PROYECTO YMAD - SA25-ARG003. INFORME TECNICO FINAL del 1° Año del Acuerdo YMAD – MIM. MIM Argentina Exploraciones S.A. Agosto del 2000. 1-53 p.
- Giudici, J. (2000a). PROYECTO YMAD - SA25-ARG002. INFORME TECNICO DE AVANCE. MIM Argentina Exploraciones S.A. Mayo de 2000. 1-46 p.
- González Bonorino, F. (1950). Descripción Geológica de la Hoja 13e, Villa Alberdi, Tucumán. Dirección Nacional de Minería, Boletín 74. Buenos Aires, 78 p.
- Gorton, M. P.; Schandal, E. S. (2000). From continents to island arcs: a geochemical index of tectonic setting for arc-related and within-plate felsic to intermediate volcanic rocks. *The Canadian Mineralogist*, 38: 1065-1073.
- Gustafson, L.B.; Hunt, J.P. (1975). The porphyry copper deposit at El Salvador, Chile: *Economic Geology*, v. 70, p. 857–912.
- Halter, W.E.; Bain, N.; Becker, K.; Heinrich, C.A.; Landtwing, M.; VonQuadt, A.; Clark, A.H.; Sasso, A.M.; Bissig, T.; Tosdal, R.M. (2004). From andesitic volcanism to the formation of a porphyry Cu-Au mineralizing magma chamber: the Farallon Negro Volcanic Complex, northwestern Argentina: *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 136: 1-30.
- Harker, A. (1909). *The natural history of igneous rocks*. Methuen, London.
- Harris, A. C.; Allen, C. M.; Bryan, S. E.; Campbell, I. H.; Holcombe, R. J.; Palin, J. M. (2004). ELA-ICP-MS U-Pb zircon geochronology of regional volcanism

hosting the Bajo de la Alumbrera Cu-Au deposit: implications for porphyry-related mineralization. *Mineralium Deposita* 39: 46-67

Harris, A.C.; Bryan, S. E.; Holcombe, R. J. (2006). Volcanic setting of the Bajo de la Alumbrera porphyry Cu-Au deposit, Farallon Negro Volcanics, Northwest Argentina: *Economic Geology*, 101, 71-94.

Harris, N. B. W.; Pearce, J. A.; Tindle, A. G. (1986). Geochemical characteristics of collision zone magmatism. In M. P. Coward, & A. C. Ries (Eds.), *Collision Tectonics* (pp. 67-81). Geological Society of London Special Publication 19.

Hawkesworth, C.J.; Gallagher, K.; Hergt, J.M.; Mcdermott, F. (1993): Mantle slab contributions in arc magmas. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* 21, 175-204.

Hawkesworth, C. J.; Gallagher, K.; Hergt, J. M.; McDermott, F. (1991). Mantle and slab contributions in arc magmas. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 21, 175-204.

Healter, E.W.; Heinrich, C.A.; Pettke, T. (2005). Magma evolution and the formation of porphyry Cu-Au ore fluids: evidence from silicate and sulfide melt inclusions. *Mineralium Deposit* (2005) 39: 845-863. DOI 10.1007/s00126-004-0457-5.

Heinrich, C.A.; Halter, W.; Pettke, T.; Günther, D.; Ulrich, T. (2004). The Bajo de la Alumbrera porphyry Cu-Au deposit in the Farallón Negro Volcanic Complex. *Isotope Geochemistry and Mineral Resources*, ETH Zürich. UNESCO-SEG Mendoza. August 2004. Pág. 1-40.

Henley, R.W. (1973). Solubility of gold in hydrothermal eh chloride solutions. *Chemical Geology*, Vol. 11, p. 73~7.

Hoek, E.; Caranza-Torres, C.T.; Corcum, B. (2002). Hoek–Brown failure criterion-2002 edition. In: Bawden HRW, Curran J, Telsenicki M (eds) *Proceedings of the North American Rock Mechanics Society (NARMS-TAC 2002)*. Mining Innovation and Technology, Toronto, pp 267–273.

- Hoek, E.; Brown, E.T. (1997). Practical estimates of rock mass strength. *Int. J. Rock Mech Min Sci. Geomech Abstr* 34:1165–1186.
- Hoek, E. (1994). Strength of rock and rock masses. *News J. ISRM* 2(2):4–16
- Hug, A. (1999). Petrography and genesis of the Capillitas diatreme, Farallón Negro Volcanic Complex. Unpublished M.Sc. (diploma) thesis, ETH Zürich, 74 p.
- Irvine, T.; Baragar, W. (1971). A guide to the chemical classifications of the common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Science*, 8: 523-548.
- Isacks, B.; Jordan, T.; Allmendinger, R.; Ramos, V.A. (1982). La segmentación tectónica de los Andes Centrales y su relación con la placa de Nazca subductada. 5° Congreso Latinoamericano de Geología. *Actas* 3: 587-606, Buenos Aires.
- Jones, J. P. (1994). The Farallon Negro-Bajo de la Alumbrera volcano-plutonic cluster: VII Congreso Geológico Chileno, *Actas*, v. 2, p. 1571-1575.
- Jones, J. P. (1997). The Farallon Negro-Bajo de la Alumbrera volcano-plutonic cluster: XIII Congreso Geológico Argentino y III Congreso de Exploración de Hidrocarburos, *Actas*, v. 3, p. 17-27.
- Jordan, T.E.; Allmendinger, R.W. (1986). The Sierras Pampeanas of Argentina: A modern analog of Rocky Mountain foreland deformation: *American Journal of Science*, v. 260, p. 737–764.
- Jordan, T.E.; Isacks, B.L.; Allmendinger, R.W.; Brewer, J.A.; Ramos, V.A.; Ando, C.J. (1983). Andean tectonics related to geometry of subducted Nazca plate: *Geological Society American Bulletin*, v. 94, p. 341–361.
- Kay, S.; Mpodozis, C.; Coira, B. (1999). Neogene magmatism, tectonism, and mineral deposition of the Central Andes (22° to 33° S latitude). *Society of Economic Geology Special Publication* 7: 27–59.
- Köppen, W. (1900). Versuch einer Klassifikation der Klimate, vorzugsweise nach ihren Beziehungen zur Pflanzenwelt. – *Geogr. Zeitschr.* 6, 593–611, 657–679.

- Kwelwa, S.; Many, S.; Vos, I.M.A. (2013). Geochemistry and petrogenesis of Intrusions at the Golden Pride gold deposit in the Nzega greenstone belt, Tanzania. *African Journal of Earth Sciences*, 86:53-64.
- Landtwing, M.; Dillenbeck, E.; Leake, M.; Heinrich, C. (2002). Evolution of the breccia-hosted porphyry Cu-Mo-Au deposit at Agua Rica, Argentina: Progressive unroofing of a magmatic hydrothermal system. *Ec. Geol.* 97: 1273-1292.
- Le Bas, M.; Le Maitre, R.; Streckeisen, A.; Zanettin, B. (1986). A Chemical Classification of Volcanic Rocks Based on the Total Alkali-Silica Diagram. *Journal of Petrology* 27(3): 745-750.
- Le Maitre, R. W. (1989). A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms. Recommendations of the IUGS Commission on the Systematics of Igneous Rocks. Oxford: Blackwell. 1-15 p.
- Le Maitre, R.W.; Bateman, P.; Dudek, A.; Keller, J.; Lameyre, J.; Le Bas, M.J.; Sabine, P.A.; Schmid, R.; Sorensen, H.; Streckeisen, A.; Woolley, A.R.; Zanettin, B. (1989). A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms: Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommittee on the Systematics of igneous rocks. Blackwell Scientific, Oxford, 193 pp.
- Linares, E.; González, R. A. (1990). Catálogo de edades radiométricas de la República Argentina 1957–1987. Pub Especial Rev Asoc Geol Arg. Serie B, 19 p.
- Llambías, E.J. (2011). Imágenes Geológicas del Complejo Volcánico Farallón Negro. Inédito. <http://www.slideshare.net/YMAD/farallon-negro>
- Llambías, E.J. (2003). Geología de los Cuerpos Ígneos (2da. Edición corregida y aumentada). Asociación Geológica Argentina. Serie B Didáctica y Complementaria N°27: 182 p., Buenos Aires.

- Llambías, E.J. (1972). Estructura del grupo volcánico Farallón Negro, Catamarca, Republica Argentina: Revista Asociación Geológica Argentina, v. 27, 161-169 p.
- Llambías, E.J. (1970). Geología de los yacimientos mineros Agua de Dionisio, Provincia de Catamarca, República Argentina: Revista Asociación de Mineralogía y Petrología Sedimentario, v. 1, 2-32 p.
- Malvicini, L.; Llambías, E. (1963). Mineralogía y origen de los minerales de manganeso y asociados en Farallón Negro, Alto de la Blenda y Los Viscos, Hualfín, Catamarca: Rev. Asociación Geológica Argentina, v. 18, 77-202 p.
- Márquez-Zavalía, M.F.; Heinrich, C.A. (2016). Fluid evolution in a volcanic-hosted epithermal carbonate–base metal–gold vein system: Alto de la Blenda, Farallón Negro, Argentina. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. *Miner Deposita* (2016) 51:873–902 p.
- Madrid, J. (2007). Programa de Perforaciones Propuesta. Proyecto El Durazno. Minera Alumbra Ltd. Diciembre 2007. 1-4 p.
- McDonough, W.F.; Sun, S.S. (1995). The composition of the Earth. *Chemical Geol* 120:223-253 p.
- Meier, D. L. (2008). Low-salinity fluids at the Bajo de la Alumbra porphyry Cu-Au deposit, Argentina. MSc Thesis, ETH Zürich. 68 p.
- Meier, D.L.; Heinrich, C.A.; Guillong, M.; Marquez-Zavalía, M.F. (2008). Low-Salinity fluids at the Bajo de la Alumbra porphyry Cu-Au deposit, Argentina. Swiss Geoscience Meeting 2008. Lugano, Switzerland. 224 p.
- Meldrum, S.J. (2000). El Durazno Porphyry Prospect, YMAD Project, Argentina. Field Observations, Data Compilation and Initial Impressions. May 10<sup>th</sup>, 2000. 1-20 p.



- Mirré, J. C.; Aceñolaza, F.G. (1972). El hallazgo de *Oldhamia* sp. (Traza fósil) y su valor como evidencia de edad cámbrica para el supuesto Precámbrico del Borde occidental del Aconquija, provincia de Catamarca. *Ameghiniana Revista de la Asociación Paleontológica Argentina*, 9 (1): 72-78 p.
- Montenegro, N.; Carrazana, A.; Bruna Novillo, J. (2010). El sistema de vetas de Sulfuración Intermedia en Mina Bajo de la Alumbreira, Catamarca, Argentina. *En Argentina Mining*. 1-13 p.
- Montenegro, N.; Morales, F. (2004). Distrito mineralizado Farallón Negro, Yacimientos Mineros Aguas de Dionisio, Departamento Belén, Provincia de Catamarca, República Argentina. En: Márquez-Zavalía, M. F. (Ed.), 2004, Curso latinoamericano de Metalogenia UNESCO-SEG 2004 – Guía de Campo. Mendoza, Argentina. 83-99 p.
- Müller, D.; Forestal, P. (2000). The shoshonite porphyry Cu-Au association at Bajo de la Alumbreira, Catamarca Province, Argentina. *Mineralogy and Petrology*, 68: 305-308 p.
- Müller, D.; Forestal, P. (1998). The shoshonite porphyry Cu-Au association at Bajo de la Alumbreira, Catamarca Province, Argentina. *Mineralogy and Petrology*, 64: 47-64 p.
- Müller, D.; Groves, D. I. (1995). Potassic Igneous Rocks and Associated Gold-Copper Mineralization. Ed. Springer – Verlag Berlin Heidelberg 1995. 1-178 p.
- Müller, D.; Rock, N.M.S.; Groves, D. I. (1992). Geochemical discrimination between shoshonitic and potassic volcanic rocks in different tectonic settings: a pilot study. *Mineralogy and Petrology* 46, 259–289 p.
- Mutti, D.; Marzano, M.; Carrazana, A.; Bruna Novillo, J. (2013). Episodios de la mineralización de Molibdeno en Bajo de la Alumbreira, Catamarca, Argentina. Congreso Argentino de Geología Económica (San Juan, Argentina). Setiembre, 2013. 8 p.

- Murakami, H.; Seo, J.H.; Heinrich, C.A. (2009). The relation between Cu/Au ratio and formation depth of porphyry-style Cu–Au ± Mo deposits. *Miner Deposita*: DOI 10.1007/s00126-009-0255-1. Editorial handling: B. Lehmann. Published online: 13 August 2009. Springer-Verlag 2009. 11 pp.
- Pearce, J.A.; Peate, D.W. (1995): Tectonic implications of the composition of volcanic arc magmas. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* 23, 251-285 p.
- Pearce, J.A.; Parkinson, I.J. (1993): Trace element models for mantle melting: application to volcanic arc petrogenesis: In *Magmatic Processes and Plate Tectonics* (H.M. Prichard, T. Alabaster, N.B.W. Harris & C.R. Neary, eds.). Shiva Press, Nantwich, U.K. 373-403 p.
- Pearce, J.A.; Harris, N.B.W.; Tindle, A.G. (1984). Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *J. Petrol.*, 25: 956-983 p.
- Pearce, J. A. (1982). Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries. In: Thorpe RS (ed.) *Andesites*. Wiley, New York, pp 525-548 p.
- Peccerillo, A.; Taylor, S.R. (1976). Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 58: 63-81 p.
- Peirano, A. (1944). Agua de Dionisio. Un centro volcánico moderno en el distrito de Hualfín, departamento de Belén, provincia de Catamarca. *Cuadernos de Mineralogía y Geología, Tucumán* 3:12 p.
- Perelló, J.; Cabello, J. (1989). Pórfidos cupríferos ricos en Oro; una revisión. *Revista Geológica de Chile*, Vol.16, No.1, 73-92 p.
- Phillips, W.J. (1973). Mechanical effects of retrograde boiling and its probable importance in the formation of some porphyry ore deposits. *Transactions Inst. Mining and Metallurgy* (section B: Appl. Earth Sci.). Printed in England, 90-98 p.

- Phillips, W.J. (1972). Hydraulic fracturing and mineralization. *Journal of the Geological Society of London*, Vol. 128, p 337-359. London.
- Proffett, J. (2003). Geology of the Bajo de la Alumbrera porphyry copper-gold deposit, Argentina: *Economic Geology*, 98, 1535-1574 p.
- Proffett, J. (1997). Geology of the Bajo de la Alumbrera porphyry copper-gold deposit, Catamarca Province, Argentina. *Minera Alumbrera Ltd.*, May, 1997. 1-169 p.
- Proffett, J.M.; Dilles, J.H. (1991). Middle Jurassic volcanic rocks of the Artesia Lake and Fulstone Spring sequences, Buckskin Range, Nevada: in Buffa, R. H. and Coyner, A. R., eds., *Geology and ore deposits of the Great Basin, field trip guidebook compendium*, Geological Society of Nevada, 1031-1036 p.
- Ramos, V.A. (2000). The southern Central Andes. 560–604 p.
- Ramos, V.A. (1999). Plate tectonic setting of the Andean Cordillera. *Episodes* 22(3): 183-190 p.
- Ramos, V.A. (1986). El diastrófismo oclóyico: un ejemplo de tectónica de colisión durante el Eopaleozoico en el noroeste Argentino. *Revista Instituto Ciencias Geológicas. Jujuy*. 6: 13-28 p.
- Reyes, A.G. (1990). Petrology of Philippine geothermal systems and the application of alteration mineralogy to their assessment: *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v. 43, 279-309 p.
- Ritmann, A. (1957). On the serial character of igneous rocks. *Egyptian J. Geol.* 1:23-48 p.
- Rollinson, H.R. (1993). *Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation*. Longman Scientific & Technical, 352 p.
- Romani, R.R. (1968). Los pórfidos cupríferos de “Bajo de la Alumbrera” y “Agua Durazno”, Dpto. Belén, provincia de Catamarca, Rep. Arg. Inédito. YMAD.

- Saegart, W.E.; Lewis, D.E. (1977). Characteristics of Philippine porphyry copper deposits and summary of current production and reserves. *SME-AIME Transactions*, Vol. 262, 199-209 p.
- Sasso, A.M.; Clark, A.H. (1998). The Farallón Negro group, NW Argentina: magmatic, hydrothermal and tectonic evolution and implication for Cu-Au metallogeny in the Andean Back-arc. *SEG Newsletter* 34:1, 8-18 p.
- Sasso, A.M. (1997). Geological evolution and metallogenetic relationships of the Farallon Negro Volcanic, NW Argentina. Ph.D dissertation, Kingston, Ontario, Queen's University, 842 p.
- Sasso, A.M. (1996), Progress Report: Farallon Negro and Capillitas Districts Research: Unpublished report submitted to M.I.M. Exploration Pty. Ltd., Placer Dome Sud America Ltd., BHP Minerals International Exploration Inc., and Recursos Americanos Argentines S.A., Queen's University, 94 p.
- Sasso, A.M. (1995). Progress Report: Farallon Negro and Calpillitas districts research: Unpublished report submitted to M.I.M. Exploration Pty. Ltd., Placer Dome Sud America Ltd., BHP Minerals International Exploration Inc., and Recursos Americanos Argentines S.A., Queen's University, 52 p.
- Sasso, A.M. (1993). Evolution and origin of porphyry Cu-Au and epithermal Au-Ag mineralization Farallon Negro District, Catamarca, Northwest Argentina: Ph.D. thesis proposal (submitted to Recursos Americanos Argentina and International Music). May 11, 1993, Kingston, Ontario Queen's University, 12 p.
- Sasso, A.M.; Clark, A.H.; Farrar, E. (1995). Tectonic controls on scale of upper Miocene porphyry Cu-Au mineralization centers 250 km to the east of coeval mineralization in the Chilean Andes, in Clark, A.H., ed., *Giant Ore Deposits 11: Controls on the Scale of Orogenic Magmatic-Hydrothermal Mineralization: Proceedings of the Second Giant Ore Deposits Workshop*, Queen's University, April, 1995, Kingston, Ontario, 101-111 p.

- Seward, T.M. (1984). The transport and depositic-n of gold in hydrothermal systems. In *Gold 82: The Geology, Geochemistry and Genesis of Gold Deposits* (Forster, R.P.; editor). Geological Society of Zimbabwe. Special Publication, No. 1, 165-181 p.
- Schöpa, A.; Annen, C.; Dilles, J.H.; Stephen, R.; Sparks, J.; Blundy, J.D. (2017). Magma Emplacement Rates and Porphyry Copper Deposits: Thermal Modeling of the Yerington Batholith, Nevada *Economic Geology*, 112: 1653-1672 p.
- Shand, S. J. (1943). *Eruptive Rocks. Their Genesis, Composition, Classification, and Their Relation to Ore-Deposits with a Chapter on Meteorite*. New York: John Wiley & Sons. 1-444 p.
- Sillitoe, R.H. (2010). Porphyry copper systems: *Economic Geology*, v. 105, 3-41 p.
- Sillitoe, R.H. (2000). Gold-rich porphyry deposits: Descriptive and genetic models and their role in exploration and discovery, in Hagemann, S. G., and Brown, P. E., eds., *Gold in 2000: Reviews in Economic Geology*, v. 13, 315-345 p.
- Sillitoe, R.H. (1997) Characteristics and controls of the largest porphyry copper–gold and epithermal gold deposits in the circum-Pacific region. *Aust J Earth Sci* 44:373-388 p.
- Sillitoe, R.H. (1993). Epithermal models: genetic types, geometrical controls and shallow features, in Kirkham, R.V., Sinclair, W.D., Thorpe, R.I., Duke, J.M. (eds.), *Mineral Deposit Modeling: Toronto*, Geological Association of Canada, Special Paper, 40, 403-417 p.
- Sillitoe, R.H. (1990). Gold-rich porphyry copper deposits of the circum-Pacific region – An 105 updated overview, In: *Pacific Rim Congress 90, AIMM*, 119-126 p.
- Sillitoe, R.H. (1988). Environments, styles and origins of gold deposits in western Pacific island ares. In *Bicentennial Gold 88. Extended Abstracts Oral programme*, Geological Association of Australia. [Abstr]. No. 22, 127-138 p.

- Sillitoe, R.H. (1985). Ore-related breccias in volcanoplutonic arcs. *Economic Geology* 80 (6): 1467 -1514 p.
- Sillitoe, R.H. (1984). Space-time distribution, crustal setting and Cu/Mo ratios central Andean porphyry copper deposits: metallogenic implications. In *Geology and Metallogenesis of Copper Deposits* (Friedrich, G.H. et al., editors). *Society of Geology Applied to Mineral Deposits, Proceedings of the Copper Symposium, International Geological Congress, No. 27, Special Publication, No. 4, 1984, 235-250 p. Moscow.*
- Sillitoe, R.H. (1982). Unconventional metals in porphyry deposits. SME Preprint 82-63, AIME Annual Meeting, 13 p. Dallas, Texas.
- Sillitoe, R.H. (1979). Some thoughts on gold-rich porphyry copper deposits. *Mineralium Deposita*, Vol. 14, 161-174 p.
- Sillitoe, R.H. (1973a). Geology of the Farallón Negro Porphyry copper deposits, Northwest Argentina: Unpublished report, United Nations Development Project, 25 p.
- Sillitoe, R.H. (1973b). The tops and bottoms of porphyry copper deposits. *Econ Geol Bull Soc Econ Geol* 68:799-815 p.
- Sillitoe, R.H.; Gappe, I.M. (1984). Philippine porphyry copper deposits; geologic setting and characteristics: Bangkok, Committee for Coordination of Joint Prospecting for Mineral Resources in Asian Offshore Areas (CCOP). Technical Publication, v. 14, 89 p.
- SMGA, (2009). Estudio de Línea de Base Ambiental, Bajo El Durazno. Capítulo 1 a 7. Servicios Mineros y Gestoría Ambiental. Para Minera Alumbrera Ltd. Mayo 2009. Informe Interno MAA. 168 p.
- Streckeisen, A. (1978). IUGS Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks: Classification and nomenclature of volcanic rocks, lamprophyres, carbonatites

and melilitic rocks; recommendation and suggestions. *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Abhandlungen* 134, 1-14 p.

Streckeisen, A.; Le Maitre, R.W. (1979). A chemical approximation to the modal QAPF classification of the igneous rocks. *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Abhandlungen* 136, 169-206 p.

Sun, S. S.; McDonough, W.F. (1989). Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. En: Saunders, A.D. y Norry, M.J. (eds.), *Magmatism in the Ocean Basin. Special Publication of the Geological Society of London*, 42: 313-345 p.

Takenouchi, S. (1981). Fluid inclusion studies of several Philippine porphyry copper deposits. *Geological Survey of Japan, Report, No. 261*, 149-167 p.

Taylor R.; Pollard J. (1993). Mineralized Breccia System. *Methods of Recognition and Interpretation. Key Centre in Economic Geology. Contribution 46. Australia*. 26 p.

Titley, S.R. (1975). Geological characteristics and environment of some porphyry copper occurrences in the southwestern Pacific: *Ecoa. Gv v. 70*, 499-514 p.

Titley, S.R.; Beane, R.E. (1981). Porphyry copper deposits: Part I: Geologic settings, petrology, and tectogenesis: *ECONOMIC GEOLOGY 75TH ANNIVERSARY VOLUME*, 235-269 p.

Trudu, A.G.; Bloom, M.S. (1988). A genetic model for the origin of hypogene gold in porphyry copper systems: The Tirad porphyry copper-gold deposit (Guinaoang, NW Luzon, Philippines). In *Bicentennial Gold 88, Extended Abstracts, Oral Programme. Geological Society of Australia [Abstr.]*, No. 22, 211-216 p.

Tosdal, T.M. (1996). The Amazon-Laurentia connection as viewed from Middle Proterozoic rocks, western Bolivia and northern Chile. *Tectonics*. 827-842 p.

- Ulrich, T.; Günther, D.; Heinrich, C.A. (2002). The Evolution of a porphyry Cu-Au deposit, based on LA-ICP-MS analysis of fluid inclusions: Bajo de la Alumbreira, Argentina: *Economic Geology*, 97, 1889-1920 p.
- Ulrich, T.; Heinrich, C.A., (2001). Geology and alteration geochemistry of the porphyry Cu-Au deposit at Bajo de la Alumbreira, Argentina (vol. 96, pg 1719, 2001): *Economic Geology*, v. (vol. 96, pg 1719; correctly reprinted in 2002): vol. 97, 1863-1888 p.
- Urreiztieta, M.; Gapais, D.; Le Corre, C.; Cobbold, P.R.; Rossello, E. (1996). Cenozoic dextral transpression and basin development at the southern edge of the Puna Plateau, NW Argentina. *Tectonophysics* 254: 17-39 p.
- Viramonte, J.G.; Galliski, M.A.; Araña Saavedra, V.; Aparicio, A.; García Cacho, L.; Martín Scorza, C. (1984). El finí volcanismo básico de la depresión de Arizaro, provincia de Salta. 9º Congreso Geológico Argentino, Buenos Aires. *Actas* 3: 234-251 p.
- Von Quadt, A.; Erni, M.; Martinek, K.; Moll, M.; Peytcheva, I.; Heinrich, C. A. (2011). The life times of ore-forming magmatic-hydrothermal systems. *Geology* 39, 731-734 p.
- Wilson, M. (1989). *Igneous petrogenesis*, Unwin Hyman, London. 466 p.



---

**17    Anexos**

*Anexo I*

*PROGRAMA DE PERFORACIONES*

*2009, 2010 y 2011*

<b>Pozos Realizados 2009, 2010 y 2011</b>							
	<b>POZO</b>	<b>ESTE</b>	<b>NORTE</b>	<b>COTA</b>	<b>PROFUNDIDAD</b>	<b>AZIMUT</b>	<b>DIP</b>
<b>2009</b>	42.0-51.2	42706,37	82619,56	2430,27	202,60	250	-45
	44.0-51.2	42683,32	82673,84	2431,85	150,00	250	-45
	44.3-42.3	42431,60	82596,18	2443,30	380,00	70	-50
	46.0-51.2	42664,47	82731,46	2433,79	162,40	68	-44
	47.0-51.4	42666,70	82766,51	2434,89	472,00	251	-41
	48.4-53.3	42699,94	82825,19	2436,81	475,00	253	-42
	50.0-44.2	42437,20	82776,64	2450,03	172,50	250	-60
	50.0-44.3	42442,29	82778,87	2450,49	451,50	70	-45
	53.0-42.4	42353,20	82839,40	2453,98	229,50	70	-45
<b>2010</b>	MT01	42431,96	82760,06	2448,59	254,40	358	-89
	MT02	42468,22	82755,35	2455,38	296,00	70	-81
	MT03	42468,73	82755,57	2455,45	302,00	70	-66
	MT04	42682,16	82673,91	2431,86	262,60	63	-87
	46.1-51.2	42664,47	82731,46	2433,79	497,00	254	-49
	49.3-54.4	42431,96	82760,06	2448,59	444,50	255	-54
<b>2011</b>	41.0-51.2	42716,39	82590,79	2429,20	503,60	249	-52
	41.1-41.4	42449,99	82501,94	2430,38	502,40	69	-46
	42.1-41.0	42411,40	82519,53	2432,56	551,30	72	-55
	43.0-51.2	42693,44	82646,08	2430,82	544,90	243	-46
	45.0-51.0	42670,70	82700,68	2432,54	501,80	246	-55
	45.0-51.1	42667,37	82699,27	2432,49	250,00	72	-49
	46.0-42.4	42420,00	82647,64	2442,93	501,00	53	-53
	47.0-42.3	42406,37	82669,89	2444,29	581,10	59	-51
	47.1-51.3	42667,09	82769,17	2434,67	262,00	70	-52
	48.0-43.3	42425,59	82708,49	2446,06	502,50	64	-50
	48.0-52.3	42682,48	82803,02	2435,65	542,00	238	-54
	48.0-52.4	42683,77	82802,78	2435,79	250,00	99	-60
	51.0-44.1	42419,51	82800,10	2450,21	250,60	249	-68
	51.0-44.2	42416,37	82801,62	2450,20	511,40	57	-60
	51.0-55.3	42733,09	82916,17	2440,69	548,10	238	-63
	51.4-55.2	42715,51	82937,00	2441,52	494,60	252	-48
	51.4-55.3	42714,85	82935,71	2441,55	280,00	72	-64
	53.1-57.2	42762,19	82995,05	2445,77	525,20	248	-66
55.3-42.3	42313,66	82917,15	2459,86	541,60	63	-60	
<b>TOTAL m = 13.396,10</b>							

*Anexo II*

*ANÁLISIS LITO-GEOQUÍMICOS*

*(ACME labs)*



Acme Analytical Laboratories (Vancouver) Ltd.  
 9050 Shaughnessy St Vancouver BC V6P 6E5 CANADA  
 PHONE (804) 253-3158

www.acmelab.com

Client: JULIO BRUNA

Submitted By: JULIO BRUNA  
 Receiving Lab: Argentina-Mendoza  
 Received: March 20, 2013  
 Report Date: May 08, 2013  
 Page: 1 of 2

**CERTIFICATE OF ANALYSIS**

**MEN13000340.4**

**CLIENT JOB INFORMATION**

Project: NONE\_GIVEN  
 Shipment ID:  
 P.O. Number: Sin Referencias  
 Number of Samples: 25

**SAMPLE DISPOSAL**

**SAMPLE PREPARATION AND ANALYTICAL PROCEDURES**

Method Code	Number of Samples	Code Description	Test Wgt (g)	Report Status	Lab
D60	25	Dry @ 60 Deg. C.			MEN
R200	25	Crush to 65% 10 mesh			MEN
P200	25	Pulverize to 65% - 200 mesh			MEN
4AB1	25	Whole Rock Analysis Majors and Trace Elements	0.2	Completed	VAN

**ADDITIONAL COMMENTS**

Version 4: 4A4B included.

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

Invoice To: JULIO BRUNA

CC:









*Anexo III*

*DESCRIPCIONES PETROGRÁFICAS Y CALCOGRÁFICAS*



### FICHA PETROGRÁFICA - CALCOGRÁFICA

<b>Muestra:</b>	<i>1</i>	<b>Sondeo:</b>	<i>47.0-42.3</i>
<b>Corte:</b>	<i>C_1</i>	<b>Metros:</b>	<i>81,70</i>
<b>Proyecto:</b>	<i>Bajo El Durazno</i>	<b>Litología:</b>	<i>Diorita P0</i>

### DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

**Color:** gr-md

**Litología:** Diorita

**Unidad:** P0

**Alt. primaria:** K escasa a moderada



**Minerales:** Bt sec. y Mag dis (principalmente por sectores).

**Alt. secundaria:** ADF escasa.

**Minerales:** Ch/Bt y Ser/Pl (menor arcilla sobre Pl)

**Mineralización:** escasa en vetillas y dis. Ccp, Py, tr Hem. Py + Ccp dis. Py en Vn Qz.  
Ccp en Vn Qz + Mag. Vn de Qz con sutura de Mag tipo B.

### DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

La roca se caracteriza por presentar una textura holocristalina porfírica, con fenocristales de plagioclasa y biotita (Fig. An-1.A). Los fenocristales de plagioclasa se presentan en hábito tabular, su forma varía de euhedra a subhedra con bordes corroídos, están parcialmente alterados a sericita.

Los fenocristales de biotita primaria tabular se observan de manera escasa, en su mayoría se encuentran reemplazados por agregados de láminas de biotita secundaria y en algunos sectores por clorita.

La matriz es equigranular de grano fino, compuesta principalmente por cuarzo y biotita secundaria fina en sectores.

Vetillas de cuarzo y biotita secundaria con minerales opacos (Fig. An-1.B).

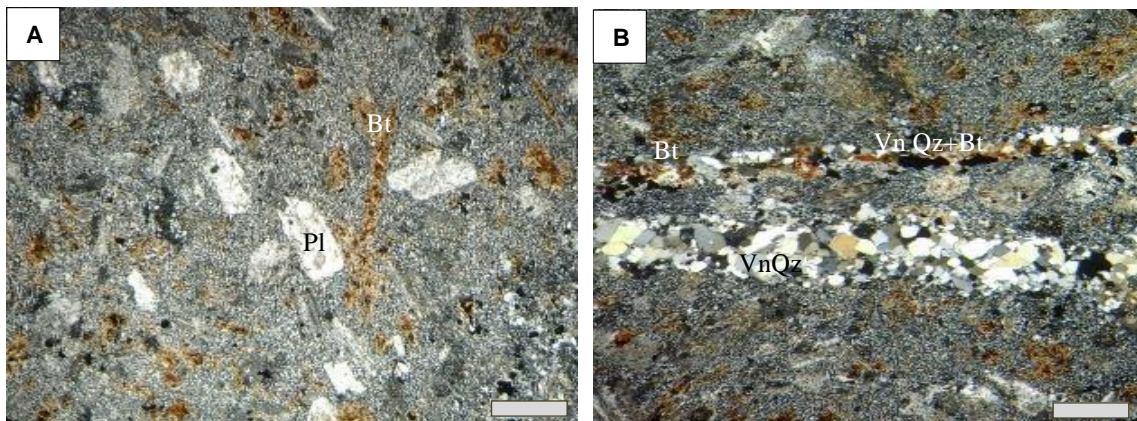


Figura An-1. Fotomicrografías (n x) de secciones delgadas de muestras pertenecientes a P0. A) Textura porfírica. Fenocristales de plagioclasa (Pl) con leve alteración a sericita, biotita secundaria (Bt), opacos diseminados en matriz de grano fino. B) Vetillas de cuarzo (Vn Qz) y biotita secundaria (Vn Qz+Bt) con minerales opacos. Barra de escala: 0,5 mm.

Los minerales opacos identificados son calcopirita, pirita, magnetita y hematita y se encuentran finamente diseminados en la matriz, en granos individuales o asociados formando agrupaciones, en contacto con la biotita secundaria. También se encuentran desarrollando vetillas discontinuas asociados a cuarzo anhedral y biotita secundaria de grano fino.

Magnetita se presenta en cristales subhedrales a anhedrales, subredondeados a irregulares, de tamaños que varían entre  $< 1 \mu\text{m}$  y  $10 \mu\text{m}$ , llegando en casos excepcionales a formar cristales de unas  $100 \mu\text{m}$ . La magnetita está siendo parcial a totalmente reemplazada en forma pseudomórfica por hematita, proceso conocido como martitización y que se produce cuando la alteración hidrotermal que afecta a la magnetita es causada por una oxidación o fluido ácido (Ohmoto, 2003).

La calcopirita se presenta en granos individuales o agrupados desarrollando pequeños “clusters” o vetillas, generalmente irregulares y discontinuas. Estas vetillas suelen ser de  $\text{Ccp} \gg \text{Py} \pm \text{Mag}$  (Fig. An-2.A) o de  $\text{Mag} \pm \text{Hem} > \text{Ccp}$  (Fig. An-2.B) y su potencia varía entre 2 y  $20 \mu\text{m}$ .

Pirita es mucho más escasa que los minerales descritos anteriormente y ocurre en granos anhedrales a subhedrales, equidimensionales, diseminados, a veces presentan inclusiones muy pequeñas ( $< 1 \mu\text{m}$ ) de calcopirita.

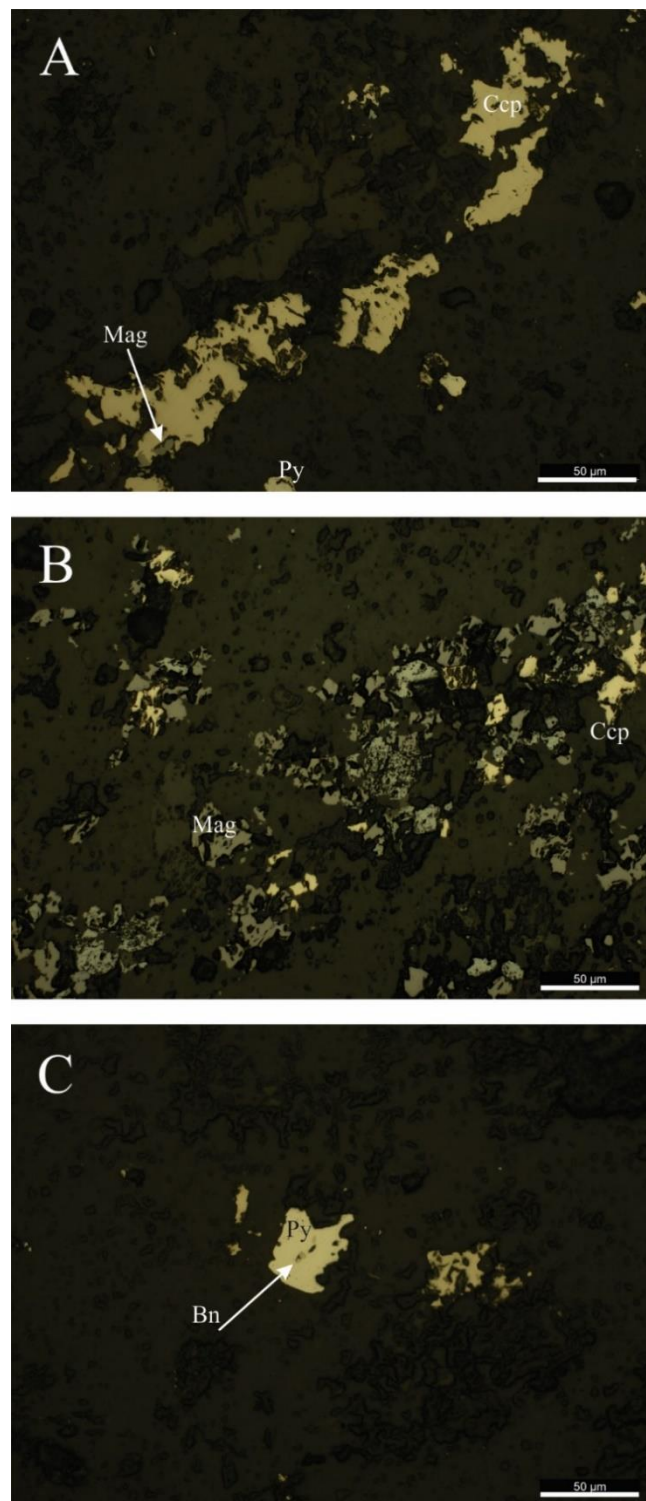


Figura An-2. Fotomicrografías de los minerales opacos presentes en P0. A) Vetilla de calcopirita (Ccp) con magnetita (Mag) y pirita (Py) subordinadas. B) Vetilla de magnetita con participación menor de calcopirita. C. Pirita con inclusiones de bornita (Bn). Barra de escala: 50 µm.

### FICHA PETROGRÁFICA - CALCOGRÁFICA

<b>Muestra:</b>	2	<b>Sondeo:</b>	42.0-41.0
<b>Corte:</b>	C_2	<b>Metros:</b>	84,00
<b>Proyecto:</b>	Bajo El Durazno	<b>Litología:</b>	Diorita P0

### DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

**Color:** gr-md

**Litología:** Diorita

**Unidad:** P0

**Alt. primaria:** ADF moderada



**Minerales:** Ser-arcilla/Pl y parches de Ser+Py parcial en matriz. Ser en halos de vn tipo D.

**Alt. secundaria:** K escasa. **Minerales:** Fk en halos de vn Mag, Bt sec fina en matriz. Mag dis en matriz y en vn.

**Mineralización:** escasa a moderada en vetillas y dis. Ccp en Vcp-vn Mag+Py, vn Cb-Qz+Py y menor dis fina en matriz en parches + Mag. 3% Py dis en matriz y en vn.

### DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

La roca presenta una textura holocristalina porfírica, con fenocristales de plagioclasa, biotita y hornblenda como minerales principales (Figs. An-3.A y B). Los fenocristales de plagioclasa zonados se encuentran sericitizados en el núcleo, presentan forma euhedral a subhedral.

Los fenocristales de hornblenda presentan forma euhedral, se ven alterados en sus bordes por biotita secundaria, a veces el reemplazo es completo y se reconoce que el mineral reemplazado es hornblenda por su característica sección basal. Los fenocristales de biotita primaria se presentan en forma subhedral, con escasa alteración.

La matriz es equigranular de grano fino, compuesta por cuarzo, en menor medida biotita secundaria en sectores. Vetilla de cuarzo con opacos, en menor proporción presencia de anhidrita y sericita (Fig. An-3.C).

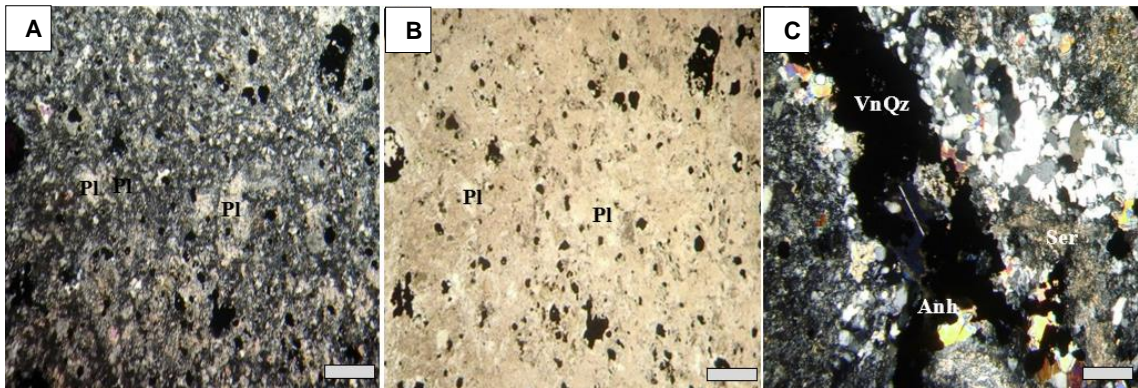


Figura An-3. Fotomicrografías de secciones delgadas de muestras pertenecientes a P0. A y B) Textura porfírica relíctica. Fenocristales de plagioclasa (Pl) sericitizada en matriz de grano fino con minerales opacos diseminados. C) Vetilla de cuarzo con minerales opacos, en menor proporción presencia de anhidrita (Anh) y sericita (Ser). A) Nícoles cruzados. B) Nícoles paralelos. C) Nícoles cruzados. Barra de escala: 50  $\mu\text{m}$ .

Los minerales opacos (pirita, magnetita, calcopirita, bornita -en orden de abundancia-) se encuentran diseminados en la matriz, y desarrollando vetillas discontinuas junto con cuarzo que son cortadas por otras continuas de minerales opacos con borde sericítico.

La pirita es más abundante que en el corte anterior que procede de una profundidad algo más somera; se presenta en cristales aislados (< 1  $\mu\text{m}$  hasta 50  $\mu\text{m}$ ), agrupados o desarrollando vetillas. Estas por lo general son discontinuas y están integradas por Py y Py $\pm$ Mag (Fig. An-4.A), asociadas a cuarzo. Los cristales de pirita son anhedrales a subhedrales, irregulares a equidimensionales y frecuentemente presentan inclusiones de calcopirita y bornita. La magnetita ocurre en cristales de variado tamaño (1 a 40  $\mu\text{m}$ ), diseminada en cristales aislados, reunidos en pequeñas agrupaciones o desarrollando Vetillas de hasta 50  $\mu\text{m}$  de potencia, en las que a veces participa en mucha menor proporción calcopirita (Mag:Ccp=20:1) (Fig. An-4.B).

Los cristales de magnetita presentan incipiente martitización. La calcopirita, si bien es menos abundante que los dos minerales descritos anteriormente, se presenta fina e irregularmente diseminada (Fig. An-4.C) en toda la muestra, en cristales lípidos, anhedrales, irregulares, de hasta 30  $\mu\text{m}$ . La bornita es sumamente escasa y se presenta en inclusiones anhedrales, generalmente menores de 10  $\mu\text{m}$ , en pirita, a menudo íntimamente asociada (reemplazando) a calcopirita (Fig. An-4.D).

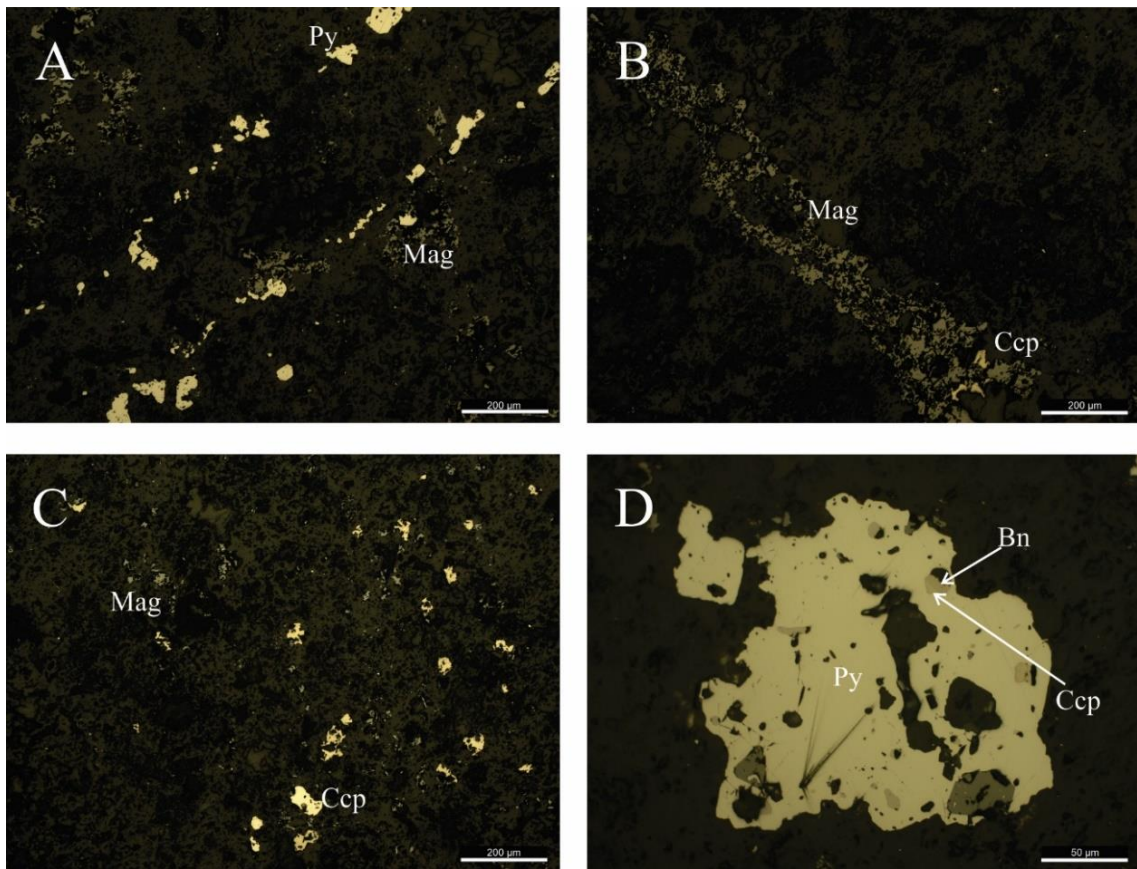


Figura An-4. Fotomicrografías de los minerales opacos presentes en P0. A) Vetilla discontinua de pirita (Py) ± magnetita (Mag). B) Vetilla de magnetita con participación menor de calcopirita (Ccp). C) Calcopirita y magnetita diseminadas. D) Pirita con inclusiones de bornita (Bn) ± calcopirita. Barra de escala: 200 μm (A, B, C); 50 μm (D).

### FICHA PETROGRÁFICA - CALCOGRÁFICA

<b>Muestra:</b>	3	<b>Sondeo:</b>	51.0-55.3
<b>Corte:</b>	C_3	<b>Metros:</b>	311,10
<b>Proyecto:</b>	Bajo El Durazno	<b>Litología:</b>	Diorita P1

### DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

**Color:** gr

**Litología:** Diorita

**Unidad:** P1

**Alt\_Primary:** K moderada fuerte.



**Minerales:** principalmente Mag dis y menor en vcp. Fk en sectores aislados, asociado a vcp de sulfuros. Mag en parches y vcp.

**Alt. secundaria:** ADF escasa.

**Minerales:** Ser/Pl. Menor Chl/mafitos.

**Mineralización:** escasa a moderada en vetillas y dis. Vcp Ccp. Ccp+tr Py dis en matriz. Ccp en Vn Qz y en Vn Gy.

### DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

La textura de la roca es holocristalina porfírica con abundantes fenocristales de plagioclasa y en menor proporción de biotita (Fig. An-5.A). Los fenocristales de plagioclasa presentan zonación, su forma varía de euhedral a subhedral, se encuentran fracturados y levemente sericitizados.

Los fenocristales de biotita primaria se presentan reemplazados por biotita secundaria de tamaño fino.

La matriz es equigranular de grano fino compuesta por cuarzo, biotita secundaria de grano fino en parches y minerales opacos diseminados.

Vetilla de cuarzo con opacos (Fig. An-5.B).

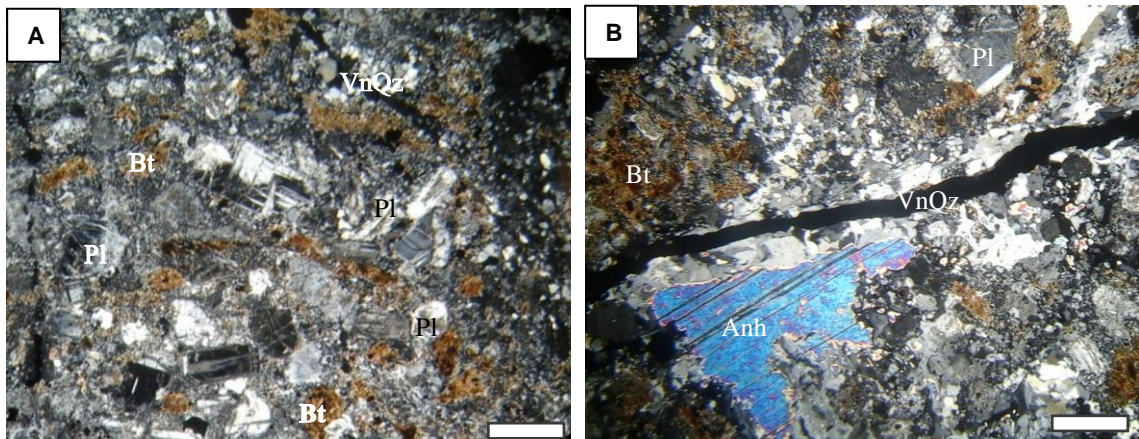


Figura An-5. Fotomicrografías (x) de secciones delgadas de muestras pertenecientes a P1. A) Textura porfírica. Fenocristales de plagioclasa (Pl) levemente sericitizados. Biotita secundaria (Bt) en parches en matriz de grano fino. B) Minerales opacos en Vetilla de cuarzo (VnQz). Barra de escala: 0,5 mm.

Los minerales opacos, euhedrales a subhedrales, se presentan diseminados en la matriz con un tamaño de grano fino a medio, en contacto con la biotita secundaria e integrando vetillas conjuntamente con cuarzo. Los minerales opacos identificados en esta sección son: calcopirita, magnetita, pirita, hematita, bornita y covellina (en orden de abundancia).

La magnetita se presenta diseminada en forma irregular, en cristales anhedrales, leve a parcialmente martitizados; con menor frecuencia desarrolla Vetillas discontinuas con participación subordinada de calcopirita (Fig. An-6.A).

La calcopirita se presenta diseminada en cristales subhedrales a anhedrales, irregulares (Fig. An-6.B), pero principalmente desarrollando numerosas vetillas de hasta 60  $\mu\text{m}$  de potencia, con participación menor de magnetita (Fig. An-6.C) y mucho menor de bornita que está siendo parcialmente reemplazada por covellina (Fig. An-6.D); se observan texturas de caries que evidencian reemplazos mutuos de bornita a calcopirita y viceversa.

La hematita es bastante escasa y se presenta reemplazando parcialmente a magnetita y en casos excepcionales desarrollando pequeños cristales aciculares de pocas micras de longitud.



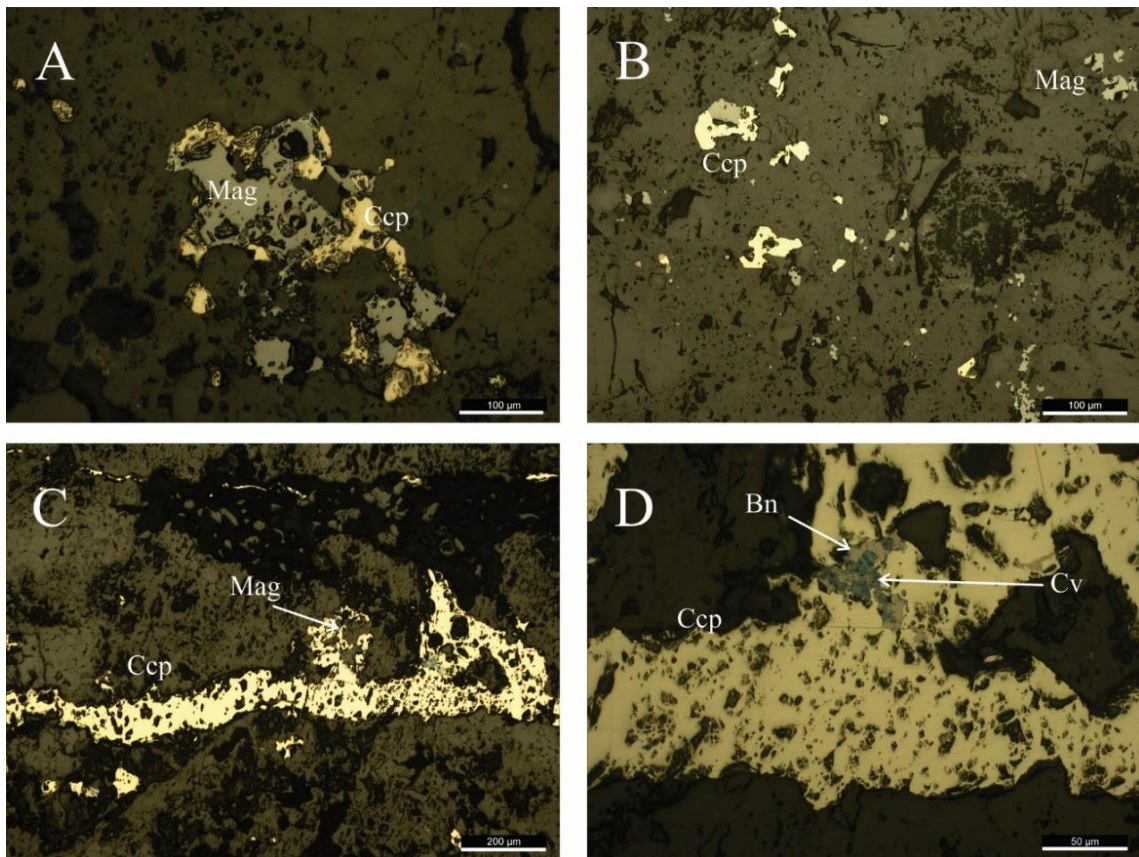


Figura An-6. Fotomicrografías de los minerales opacos presentes en P1. A) Sector de una vetilla de magnetita (Mag) con participación incipiente de calcopirita (Ccp). B) Calcopirita diseminada. C) Vetilla de calcopirita con magnetita subordinada. D) Detalle de la figura anterior (An-6.C) en donde se observa la participación menor de bornita (Bn), parcialmente reemplazada por covellina (Cv). Barra de escala: 100  $\mu\text{m}$  (A, B); 200  $\mu\text{m}$  (C) y 50  $\mu\text{m}$  (D).

### FICHA PETROGRÁFICA - CALCOGRÁFICA

<b>Muestra:</b>	4	<b>Sondeo:</b>	51.0-44.2
<b>Corte:</b>	C_4	<b>Metros:</b>	320,45
<b>Proyecto:</b>	Bajo El Durazno	<b>Litología:</b>	Diorita P1

### DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

**Color:** gr-md

**Litología:** Diorita

**Unidad:** P1

**Alt. primaria:** K moderada fuerte.



**Minerales:** Fk sec /Pl parcial y en matriz. Bt sec/matriz. Mag en parches y en vcp.

**Alt. secundaria:** ADF escasa.

**Minerales:** Ser/Pl. Menor Chl/mafitos.

**Mineralización:** escasa a moderada en vetillas y dis. Py+Ccp+Bn en vcp.

Py+tr Ccp+tr Bn/Ccp finamente dis. Py en vn Gy+Ccp+tr Py.

### DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

La roca presenta una textura holocristalina porfírica, con fenocristales de plagioclasa, biotita y hornblenda como minerales principales. Los fenocristales de plagioclasa presentan forma euhedral a subhedral, están zonados y se encuentran sericitizados en el núcleo.

Los fenocristales de hornblenda presentan forma euhedral, se ven alterados en sus bordes por biotita secundaria; se reconocen algunos fenocristales muy alterados a biotita y solo se reconocen por su característica sección basal romboidal. Los fenocristales de biotita se presentan en forma subhedral, con escasa alteración (Figs. An-7.A y B).

La matriz es equigranular de grano fino, compuesta por cuarzo, en menor medida biotita secundaria en sectores.

Vetilla de cuarzo con opacos (Fig. An-7.C).

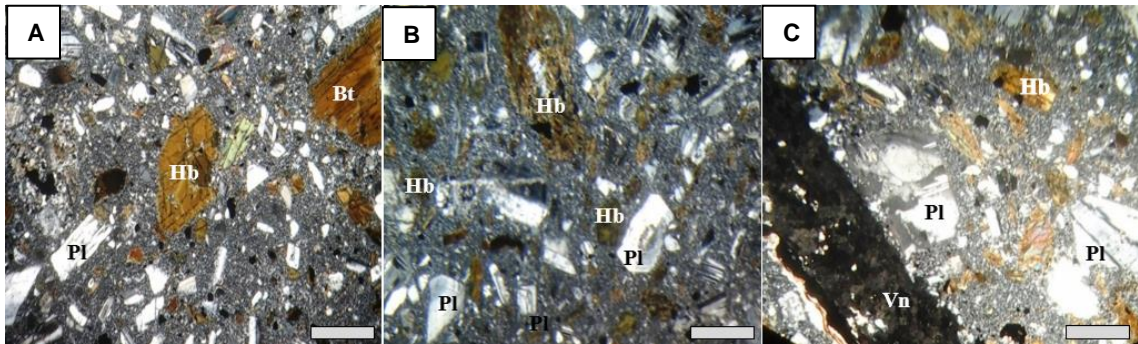


Figura An-7. Fotomicrografías (n x) de secciones delgadas de muestras pertenecientes a P1. A) Textura porfírica con fenocristales de plagioclasa (Pl), hornblenda (Hb) y biotita (Bt) en matriz fina. B) Textura porfírica, fenocristales de plagioclasa alterados en el núcleo. Fenocristal de hornblenda alterado a biotita secundaria (Hb). Minerales opacos anhedrales diseminados en la matriz. C) Vetilla de cuarzo y minerales opacos (Vn). Barra de escala: 0,5 mm.

Los minerales opacos se encuentran diseminados en la matriz, y también se los observó desarrollando vetillas irregulares y discontinuas, asociados a cuarzo; estas son cortadas por otras con borde sericítico, compuestas principalmente por minerales opacos.

Los minerales opacos, por orden de abundancia, son: magnetita, hematita, ilmenita, calcopirita, bornita, goethita.

La magnetita se presenta en cristales diseminados de hasta 60  $\mu\text{m}$ , o desarrollando pequeñas agrupaciones; se encuentra ligeramente martitizada (Fig. An-8.A) y en ocasiones hospeda inclusiones de calcopirita y bornita (Fig. An-8.B).

La ilmenita se presenta en cristales esqueletales (Fig. An-8.C), resultantes de la lixiviación selectiva por soluciones hidrotermales de la magnetita exsuelta originalmente en ilmenita.

La calcopirita ocurre en escasos cristales aislados, finamente diseminados y desarrollando frecuentes vetillas de hasta 30  $\mu\text{m}$  de potencia, a veces asociadas a goethita.

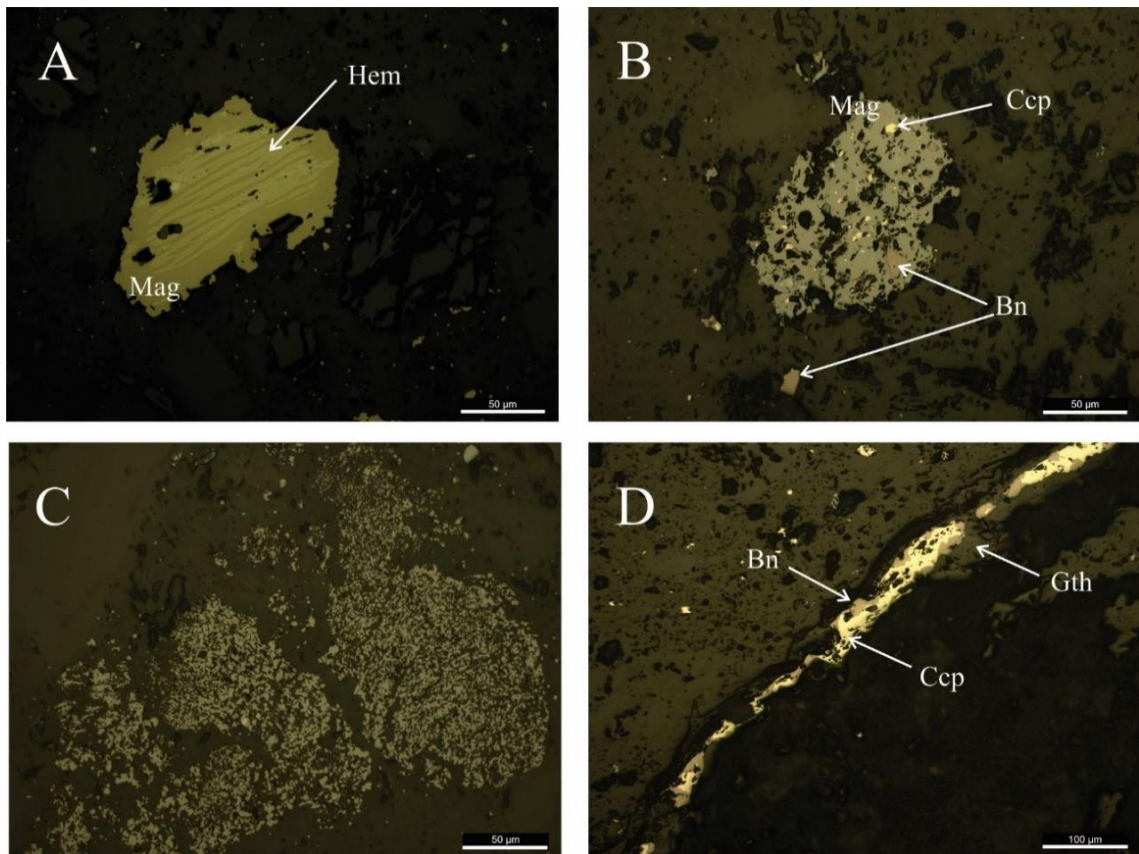


Figura An-8. Fotomicrografías de los minerales opacos presentes en P1. A) Magnetita (Mag) parcialmente reemplazada por hematita (Hem) (martitización). B) Cristal de magnetita con inclusiones de calcopirita (Ccp) y de bornita (Bn). C) Cristales esqueletales de ilmenita. D) Vetilla de calcopirita con participación menor de bornita. Barra de escala: 50  $\mu\text{m}$  (A, B, C); 100  $\mu\text{m}$  (D).

### FICHA PETROGRÁFICA - CALCOGRÁFICA

<b>Muestra:</b>	5	<b>Sondeo:</b>	47.1-51.3
<b>Corte:</b>	C_5	<b>Metros:</b>	81,00
<b>Proyecto:</b>	Bajo El Durazno	<b>Litología:</b>	Diorita P2

### DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

**Color:** gr-md

**Litología:** Diorita

**Unidad:** P2

**Alt. primaria:** K moderada.



**Minerales:** Bt+Mag sec dis en matriz. Mag en vcp. Vn Qz+Mag. Fk parcial en matriz.

**Alt. secundaria:** ADF escasa.

**Minerales:** Chl/Bt por sectores. Ser/Pl.

**Mineralización:** escasa a moderada en vetillas y dis. Ccp+Py en vcp. Ccp en vn de Mag.

### DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

La roca presenta textura holocristalina porfírica con fenocristales de plagioclasa y biotita, y de modo subordinado, fenocristales de hornblenda. Los fenocristales de plagioclasa se encuentran reemplazados por sericita. Algunos de ellos son zonados y alterados a sericita en el núcleo. Presentan forma subhedral, se encuentran fracturados y con bordes difusos.

Se reconocen escasos fenocristales de hornblenda que presentan forma euhedral a subhedral y algunos de ellos alterados a biotita secundaria. Los fenocristales de biotita se encuentran alterados a biotita secundaria (Fig. An-9.A).

La matriz inequigranular de grano fino a medio está compuesta por cuarzo de grano fino, biotita secundaria de grano fino, sericita dispersa, y cuarzo anhedral de tamaño medio, surcada por algunas vetillas de cuarzo y opacos (Fig. An-9.B).

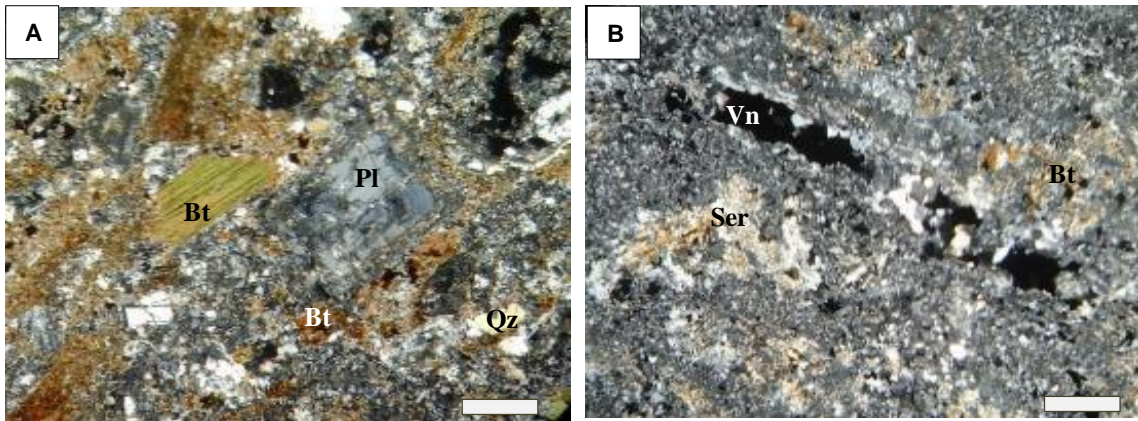


Figura An-9. Fotomicrografías (n x) de secciones delgadas de muestras pertenecientes a P2. A) Textura porfírica con fenocristales de biotita (Bt) y plagioclasa (Pl), cuarzo anhedral (Qz) y minerales opacos diseminados en matriz de grano fino. B) Vetilla de cuarzo con minerales opacos (Vn). Biotita secundaria y sericita (Ser) dispersas en la matriz. Barra de escala: 0,5 mm.

Los minerales opacos, de forma anhedral y tamaño medio, se encuentran diseminados en la matriz. Se identificaron (en orden de abundancia): magnetita, hematita, calcopirita, bornita y molibdenita. La magnetita, parcialmente martitizada, se presenta diseminada en cristales anhedrales a subhedrales, irregulares, de hasta 30  $\mu\text{m}$  (Fig. An-10.A) o desarrollando vetillas discontinuas, asociada a calcopirita (Fig. An-10.B).

La calcopirita ocurre en cristales irregulares de hasta 30  $\mu\text{m}$ , aislados o formando vetillas discontinuas. La bornita es muy escasa y se presenta reemplazando a calcopirita.

La molibdenita fue observada en un sector reducido de la muestra, en donde ese presenta en una agrupación de cristales subhedrales de hasta 20  $\mu\text{m}$ , asociados a calcopirita y magnetita parcialmente martitizada (Figs. An-10.C y D).

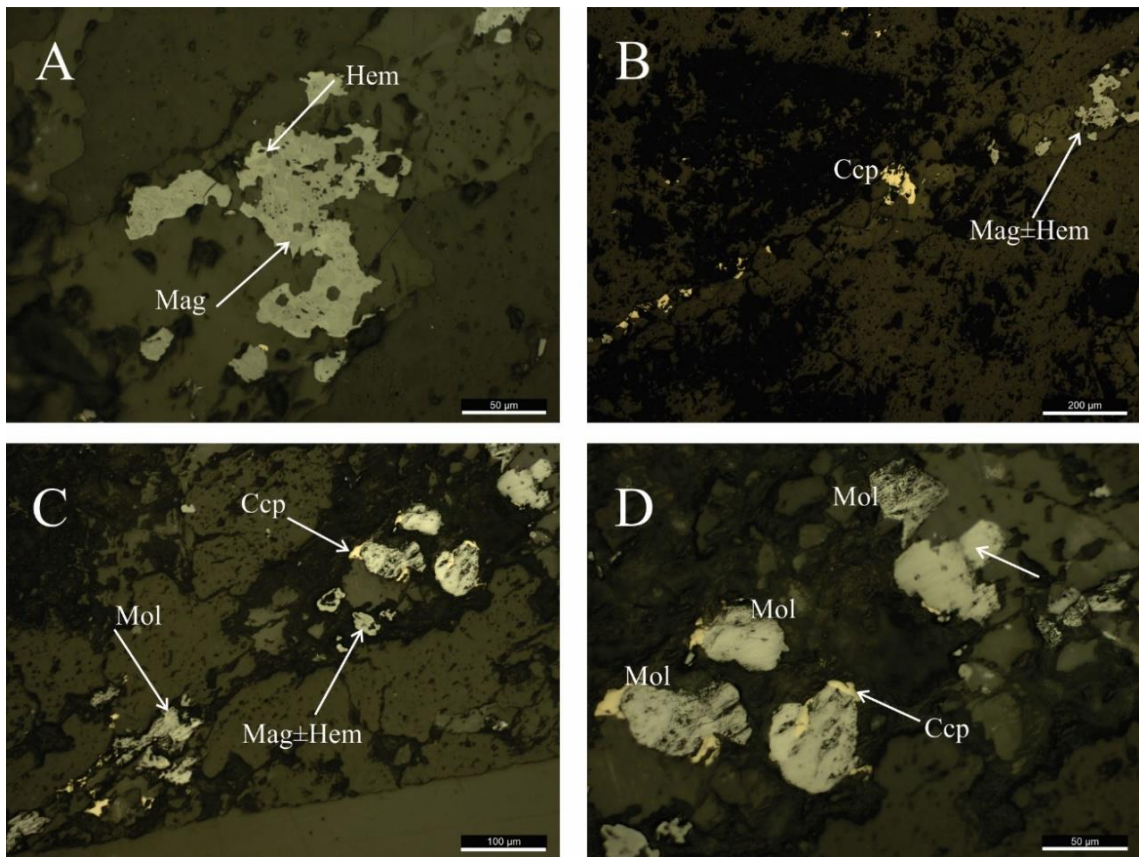


Figura An-10. Fotomicrografías de los minerales opacos presentes en P2. A) Magnetita (Mag) parcialmente reemplazada por hematita (Hem) (martitización) B) Vetilla de magnetita y calcopirita (Ccp). C) Agrupación de cristales de molibdenita (Mol). D) Detalle de la fotografía anterior. Barra de escala: 50 µm (A, D); 200 µm (B); 100 µm (C).

### FICHA PETROGRÁFICA - CALCOGRÁFICA

<b>Muestra:</b>	6	<b>Sondeo:</b>	41.0-51.2
<b>Corte:</b>	C_6	<b>Metros:</b>	237,80
<b>Proyecto:</b>	Bajo El Durazno	<b>Litología:</b>	Diorita P2

### DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

**Color:** gr-md-dx

**Litología:** Diorita

**Unidad:** P2

**Alt. primaria:** K moderada.



**Minerales:** Bt+Mag sec dis en mafitos parcial en matriz. Vcp Mag.

**Alt. secundaria:** ADF escasa.

**Minerales:** Ser/Pl.

**Mineralización:** escasa a moderada en vetillas y dis. Py+Ccp dis en matriz y en mafitos parcial. Py+Ccp en Vcp Gy, en vn Qz y en Vcp Mag.

### DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

La roca presenta textura holocristalina porfírica con fenocristales de plagioclasa y biotita. Los fenocristales de plagioclasa, de forma euhedral a subhedral, se encuentran reemplazados por sericita; se observaron escasos cristales zonados que se encuentran alterados a sericita en el núcleo. Los fenocristales de biotita se presentan en forma subhedral a anhedral y se encuentran totalmente reemplazados por biotita secundaria (Fig. An-11.A).

La matriz de la roca es de grano fino, compuesta de cuarzo con biotita secundaria y sericita dispersas. En la matriz en forma disseminada, se encuentran minerales opacos de tamaño medio, en contacto con biotita secundaria y sericita.

Se observó la presencia de Vetillas con cuarzo anhedral de tamaño medio en los bordes y minerales opacos hacia el centro (Fig. An-11.B).



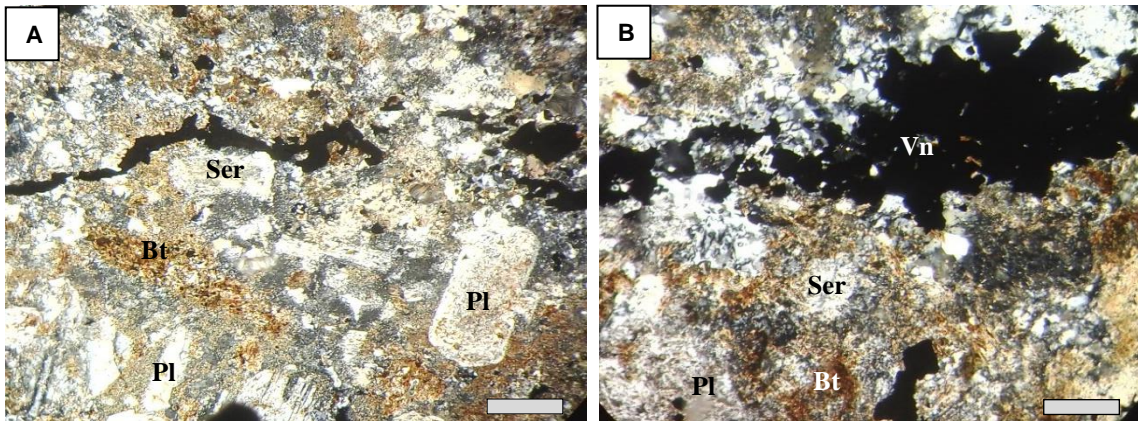


Figura An-11. Fotomicrografías (n x) de secciones delgadas de muestras pertenecientes a P2. A) Textura porfírica con fenocristales de plagioclasa (Pl) sericitizada, biotita reemplazada por biotita secundaria (Bt) y sericita (Ser), en matriz de grano fino con minerales opacos diseminados y vetilla de minerales opacos (Vn). B) Vetilla de cuarzo y minerales opacos (Vn). Barra de escala: 0,5 mm.

Los minerales opacos identificados, por orden de abundancia, son: pirita, magnetita, calcopirita, hematita y el producto de alteración conocido como *leucoxeno*.

La pirita se presenta diseminada en cristales subhedrales a anhedrales aislados de hasta 20  $\mu\text{m}$  y desarrollando vetillas que alcanzan 80  $\mu\text{m}$  de potencia, asociada a calcopirita (Fig. An-12.A) y a magnetita (Fig. An-12.B) que presenta leve a nula martitización.

La calcopirita participa diseminada en cristales anhedrales irregulares de hasta 20  $\mu\text{m}$ , desarrollando delgadas (< 5  $\mu\text{m}$ ) vetillas discontinuas (Fig. An-12.C) o participando en forma muy subordinada de las vetillas de mayor potencia integradas principalmente por pirita.

El “*leucoxeno*” es un producto de alteración, finamente granular, formado a partir de minerales de Fe y Ti; este producto fue desacreditado como especie mineral por Burke (2006) ya que se trata de una mezcla de grano muy fino de minerales de Fe y Ti. El término se usa en forma equivalente al de “*limonita*” (óxidos e hidróxidos de Fe) y al de “*wad*” (óxidos de Mn generalmente hidratados), ambos de hábito terroso.

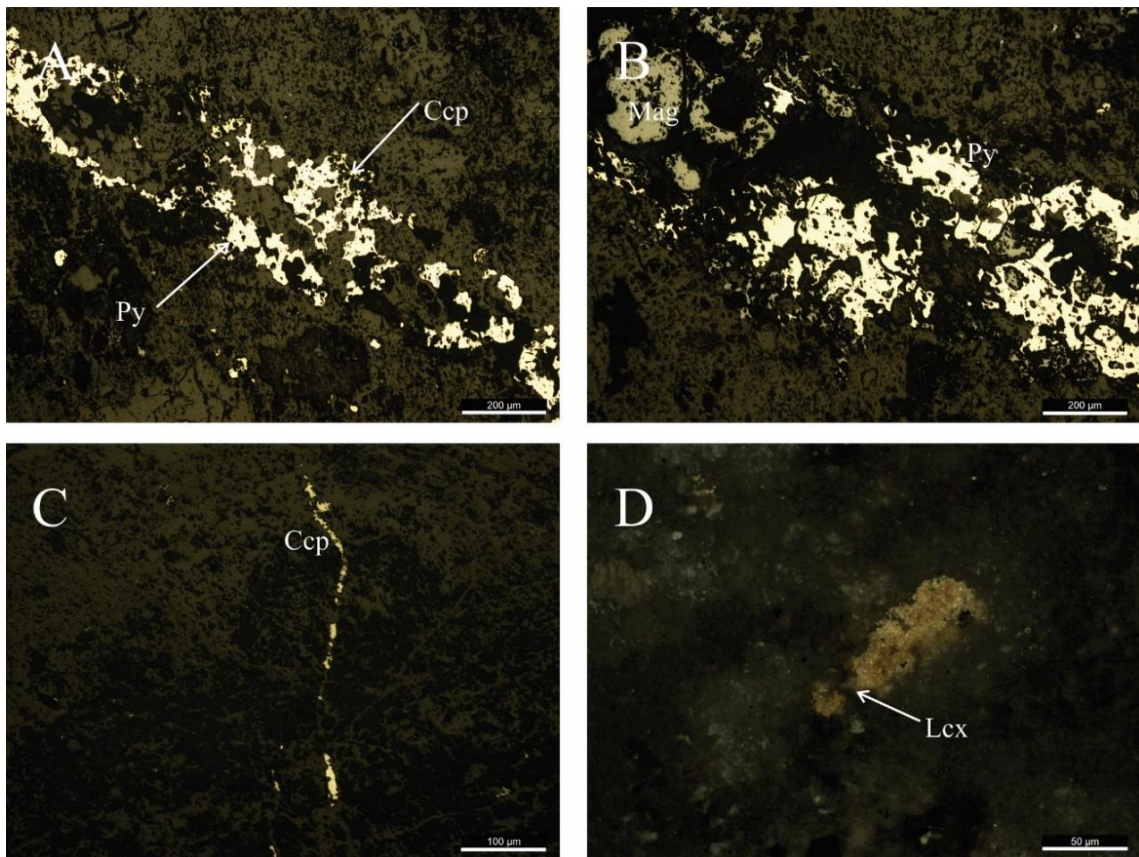


Figura An-12. Fotomicrografías de los minerales opacos presentes en P2. A) Vetilla de pirita (Py) con calcopirita (Ccp) muy subordinada. B) Vetilla de pirita con magnetita (Mag). C) Vetilla de calcopirita. D) Cristal de “*leucoxeno*”. Barra de escala: 200 μm (A, B); 100 μm (C, B); 50 μm (D).

### FICHA PETROGRÁFICA - CALCOGRÁFICA

<b>Muestra:</b>	7	<b>Sondeo:</b>	50.0-44.2
<b>Corte:</b>	C_7	<b>Metros:</b>	80,50
<b>Proyecto:</b>	Bajo El Durazno	<b>Litología:</b>	Brecha Bx1

### DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

**Color:** gr-md

**Litología:** Brecha

**Unidad:** Bx1

**Alt. primaria:** ADF moderada.



**Minerales:** principalmente Ser-arcilla/Pl, y menor Chl/mafitos y Pl. Qz-Ser parcial en halos vn D.

**Alt. secundaria:** K escasa a moderada. **Minerales:** Mag en Vn y Vcp y principalmente dis en matriz. Bt sec fina en matriz. Fk/Pl parcial.

**Mineralización:** Ccp en Vn y Vcp Qz+Mag+Py+Hem/Mag; en Vcp Qz+Cb+Py y principal dis matriz sobre Bt-Mag. Bx frag de Qz y Dio afanítica, P1 relleno Bt-Mag.

### DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Se observa una matriz fina compuesta por cuarzo secundario anhedral, biotita secundaria y sericita dispersa. Los minerales opacos presentan forma anhedral a subhedral, son de tamaño medio y se encuentran diseminados en la matriz.

Se presentan algunos fenocristales relícticos de plagioclasa anhedral fuertemente alterados a sericita, y biotita primaria reemplazada por biotita secundaria.

Las vetillas presentes son: (a) de cuarzo secundario de grano medio, anhedral y contienen minerales opacos de grano medio y (b) con biotita secundaria y minerales opacos hacia el centro (Figs. An-13.A y B).

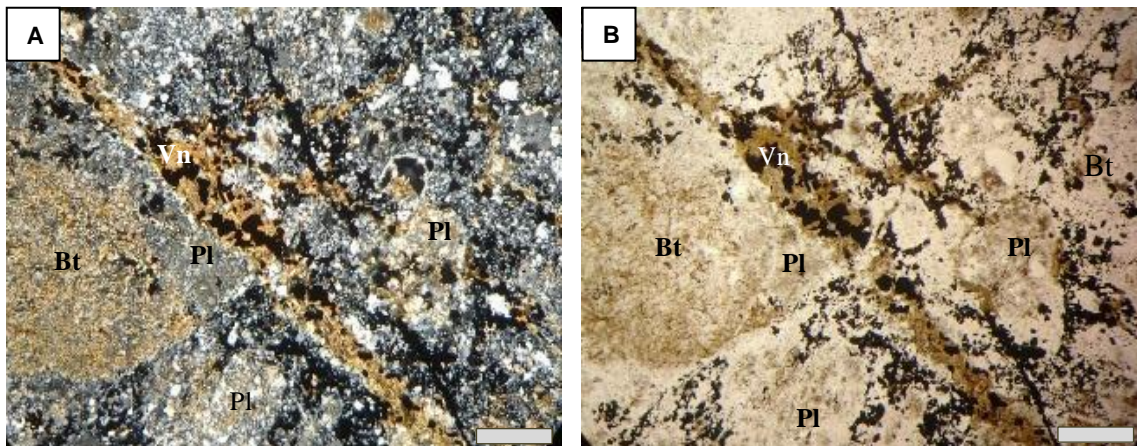


Figura An-13. Fotomicrografías (n x) de secciones delgadas de muestras pertenecientes a Bx1. A y B) Matriz fina con cuarzo (Qz) secundario anhedral, biotita secundaria (Bt) y plagioclasa fuertemente alterada a sericita (Pl). Opacos diseminados en matriz y en vetillas de cuarzo y biotita secundaria (Vn). A) Nícoles paralelos. Barra de escala: 0,5 mm.

Los minerales opacos reconocidos en esta muestra -enumerados según su orden de abundancia- son: magnetita, calcopirita, pirita y hematita. La magnetita se presenta diseminada en cristales subhedrales a anhedrales, redondeados a irregulares ( $< 1 \mu\text{m}$  a  $20 \mu\text{m}$  (Fig. An-14.A) y en casos excepcionales hasta  $60 \mu\text{m}$ ) y desarrollando vetillas de magnetita  $\gg$  calcopirita (+ cuarzo) de trazado irregular y a menudo discontinuo y potencias que varían en general entre  $10$  y  $100 \mu\text{m}$ , aunque en casos excepcionales superan las  $200 \mu\text{m}$ . En sectores la magnetita se encuentra parcialmente martitizada; la martitización varía de nula a avanzada (Fig. An-14.B).

La calcopirita ocurre diseminada en pequeños cristales anhedrales, irregulares de  $< 1 \mu\text{m}$  a  $10 \mu\text{m}$  (Fig. An-14.A) y participando en las vetillas con magnetita. La hematita se presenta reemplazando parcialmente a magnetita y en cristales aciculares de hasta  $10 \mu\text{m}$  de largo Fig. An-14.C).

La pirita se encuentra diseminada en cristales de hasta  $40 \mu\text{m}$ , a menudo con inclusiones de calcopirita y desarrollando vetillas de trazo irregular y discontinuo y espesores que varían entre  $4$  y  $20 \mu\text{m}$ , bordeadas por sericita (Fig. An-14.D).

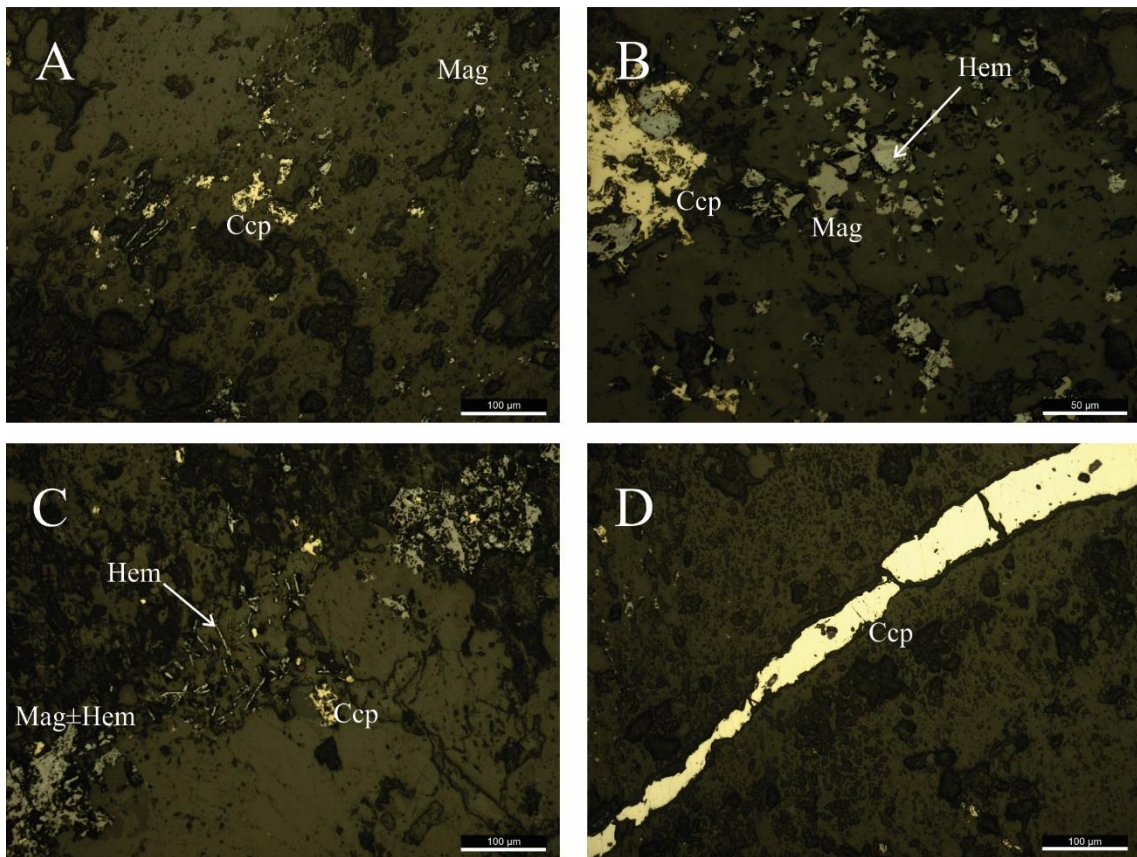


Figura An-14. Fotomicrografías de los minerales opacos presentes en Bx1. A) Magnetita (Mag) y calcopirita (Ccp) disseminadas. B) Magnetita reemplazada por hematita (Hem). C) Cristales aciculares de hematita participando en vetilla de magnetita >> calcopirita. D) Vetilla de pirita (Py). Barra de escala: 100 μm (A, C, D); 50 μm (B).

### FICHA PETROGRÁFICA - CALCOGRÁFICA

<b>Muestra:</b>	8	<b>Sondeo:</b>	48.4-53.3
<b>Corte:</b>	C_8	<b>Metros:</b>	404,00
<b>Proyecto:</b>	Bajo El Durazno	<b>Litología:</b>	Brecha Bx1

### DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

**Color:** gr-md-dk

**Litología:** Brecha

**Unidad:** Bx1

**Alt. primaria:** K moderada a fuerte.

**Minerales:** Mag-Bt dis fina en matriz.

**Alt. secundaria:** ADF escasa.

**Minerales:** traza de Ser-Chl dis en matriz y Arg en falla menor.

**Mineralización:** Ccp en vn Gp-Cb±Py, vn Qz-Cb±Mag, vn tipo B Anh-Cb±Spt±Py, en Vcp y principalmente dis fina en matriz sobre mafitos+Mag+Py.



### DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Matriz formada por tablillas de plagioclasa sericitizada entre las que se distribuyen biotita secundaria, sericita de grano fino a medio y cuarzo anhedral.

Se observan minerales opacos anhedrales a subhedrales de grano medio diseminados en la matriz. En la misma se observan relictos de fenocristales de plagioclasa completamente alteradas a sericita.

Las vetillas presentes se encuentran rellenas con minerales opacos y cuarzo secundario anhedral. Otras contienen anhidrita en contacto con los minerales opacos (Figs. An-15.A y B).

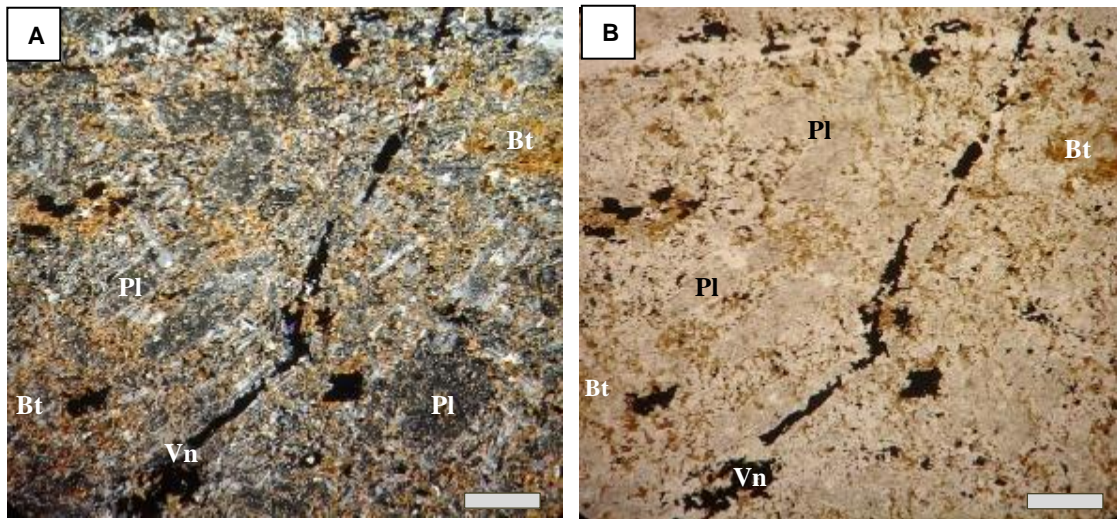


Figura An-15. Fotomicrografías (A: n //, B: n x) de secciones delgadas de muestras pertenecientes a Bx1. A y B) Matriz con plagioclasa sericitizada (Pl), biotita secundaria (Bt) y opacos diseminados y en vetillas (Vn). Barra de escala: 0,5 mm.

Los minerales opacos -según su abundancia- son: magnetita, pirita, calcopirita y hematita. La magnetita se presenta diseminada en cristales anhedrales a subhedrales ( $< 1\ \mu\text{m}$  a  $100\ \mu\text{m}$ ), en agrupaciones irregulares o desarrollando vetillas de hasta  $100\ \mu\text{m}$  de potencia, asociada a pirita-calcopirita ( $\pm$  cuarzo-biotita secundaria-sericita).

La pirita se presenta diseminada en cristales anhedrales a subhedrales ( $1\ \mu\text{m}$  a  $50\ \mu\text{m}$ ) individuales o firmando asociaciones poligranulares y en vetillas. Los cristales por lo general presentan textura poikilítica, en donde los oikocristales son de cuarzo y por lo general presentan continuidad óptica (Fig. An-16.A) y, en menor proporción, de magnetita.

Las vetillas de magnetita son de poca potencia (generalmente  $< 10\ \mu\text{m}$ ), son de trazo irregular y discontinuo y contienen asociadas pirita y calcopirita (Fig. An-16.B). La calcopirita ocurre en cristales anhedrales ( $< 1$  a  $30\ \mu\text{m}$ ), aislados o desarrollando agrupaciones monominerálicas o asociada a magnetita levemente martitizada (Fig. An-16.C); también forma parte de vetillas de magnetita  $\pm$  pirita y de magnetita ( $\pm$  biotita secundaria). La hematita reemplaza parcialmente a magnetita y con menor frecuencia desarrolla cristales aciculares en pirita (Fig. An-16.D).

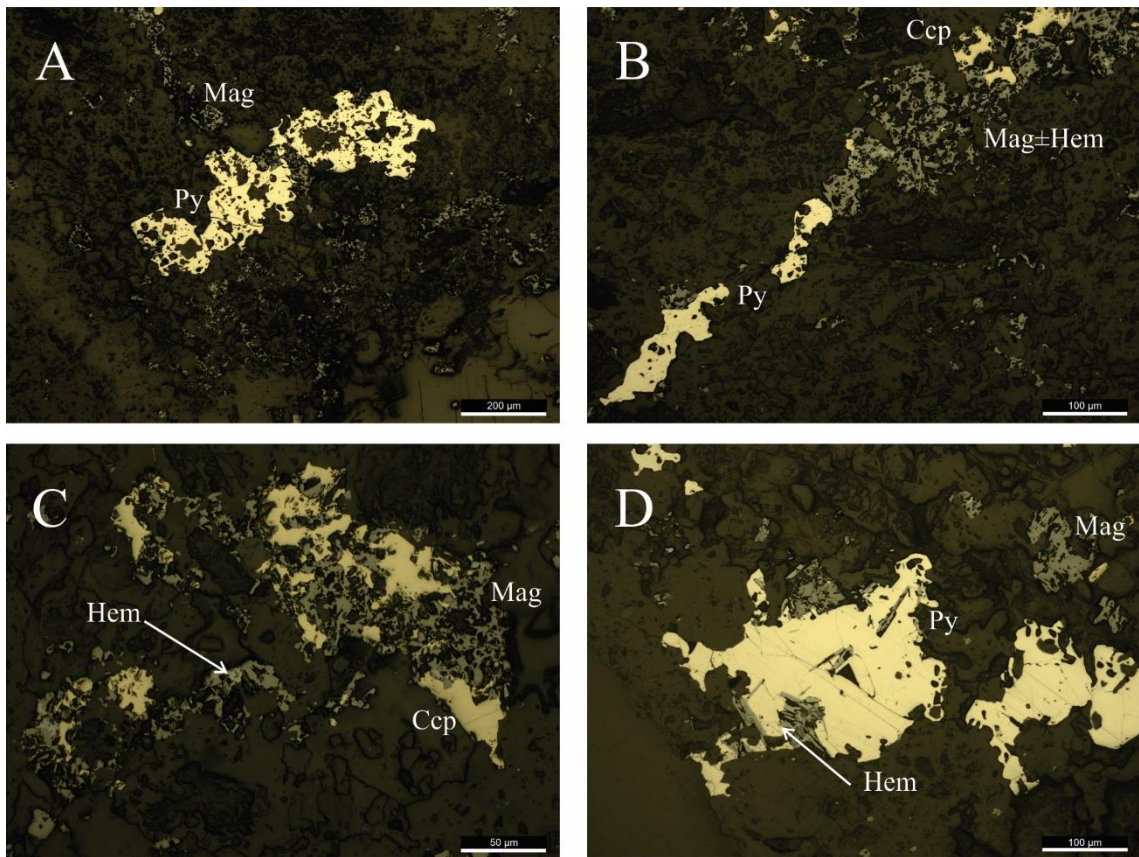


Figura An-16. Fotomicrografías de los minerales opacos presentes en Bx1. A) Pirita (Py) con textura poikilítica. B) Vetilla de magnetita (Mag) parcialmente reemplazada por hematita (Hem), asociada a pirita y calcopirita (Ccp). C) Calcopirita asociada a magnetita levemente martitizada. D) Cristales aciculares de hematita en pirita. Barra de escala: 200  $\mu\text{m}$  (A); 200  $\mu\text{m}$  (B, D); 50  $\mu\text{m}$  (C).



### FICHA PETROGRÁFICA - CALCOGRÁFICA

<b>Muestra:</b>	9	<b>Sondeo:</b>	44.0-51.2
<b>Corte:</b>	C_9	<b>Metros:</b>	16,70
<b>Proyecto:</b>	Bajo El Durazno	<b>Litología:</b>	Brecha Bx2

### DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

**Color:** gr-vd-md

**Litología:** Brecha

**Unidad:** Bx2

**Alt. primaria:** K moderada.



**Minerales:** principalmente Bt sec fina en matriz. Mt en Vn y dis en matriz sobre Bt sec. FK sobre Pl y en matriz parcial.

**Alt. secundaria:** ADF escasa.

**Minerales:** Ser-arcilla/Pl, Ch/Pl y dis en matriz. Qz-Ser en matriz. Ser en halos vn D.

**Mineralización:** Ccp en Vcp, vn Qz-Cb+Mag+Py, Mag/Hem y dis fina en matriz/mafitos/Bt sec

### DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

La roca posee matriz de grano muy fino equigranular compuesta por biotita secundaria diseminada como mineral principal, sericita de grano fino y en menor proporción cuarzo fino. Los minerales opacos anhedral de grano fino a medio se encuentran diseminados en la matriz.

Las vetillas presentes se encuentran rellenas con cuarzo de grano medio anhedral. Estas en general se encuentran fragmentadas. Se presentan otras vetillas continuas de cuarzo y sericita en los bordes y minerales opacos hacia el centro.

En contacto con las vetillas se presenta sericita fibrosa, la cual contiene a los granos minerales opacos de forma subhedral (Figs. An-17.A y B).

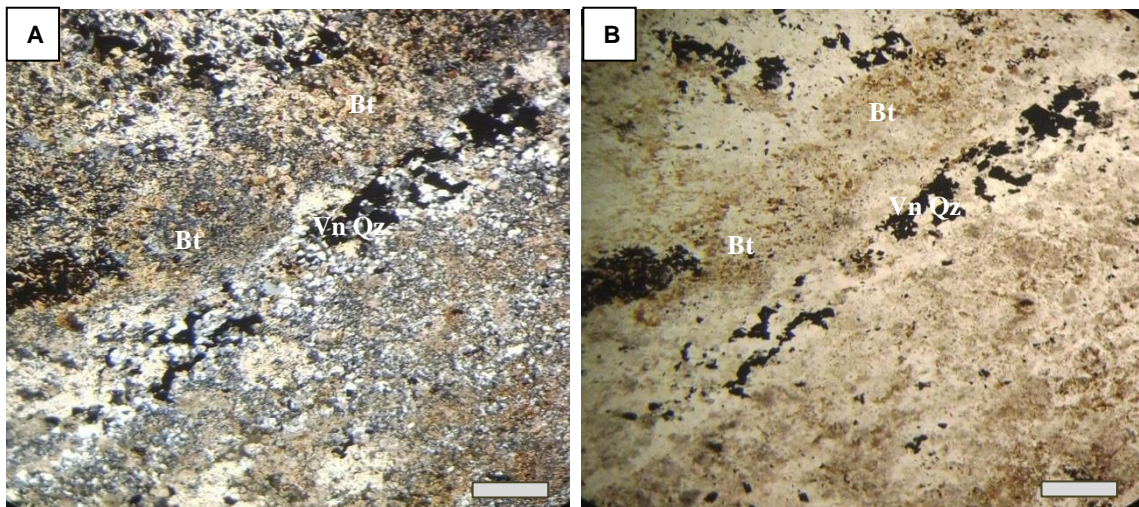


Figura An-17. Fotomicrografías (A: n //, B: n x) de secciones delgadas de muestras pertenecientes a Bx2. A y B) Opacos diseminados en matriz fina con biotita secundaria (Bt) y sericita (Ser) y opacos en vetillas de cuarzo (Vn Qz). Barra de escala: 0,5 mm.

Los minerales opacos reconocidos, en orden de abundancia, son: calcopirita, magnetita, pirita, hematita y bornita.

La calcopirita se presenta en vetillas discontinuas, irregulares, de hasta 20  $\mu\text{m}$  de potencia (Fig. An-18.A), o en granos anhedrales, irregulares, que alcanzan tamaños máximos de 40  $\mu\text{m}$  (Fig. An-18.B), en ambos casos asociada a magnetita  $\pm$  hematita.

La magnetita ocurre en vetillas o desarrollando granos subhedrales y está asociada a calcopirita y en menor medida a pirita; se encuentra parcialmente reemplazada por hematita (Fig. An-18.C).

La pirita se presenta en escasos granos anhedrales e irregulares, grandes (hasta 50 x 150  $\mu\text{m}$ ), asociada a magnetita  $\pm$  hematita y está siendo parcialmente reemplazada en forma centrípeta por calcopirita (Fig. An-18.D).

Bornita es muy escasa y reemplaza parcialmente a algunos granos de calcopirita.

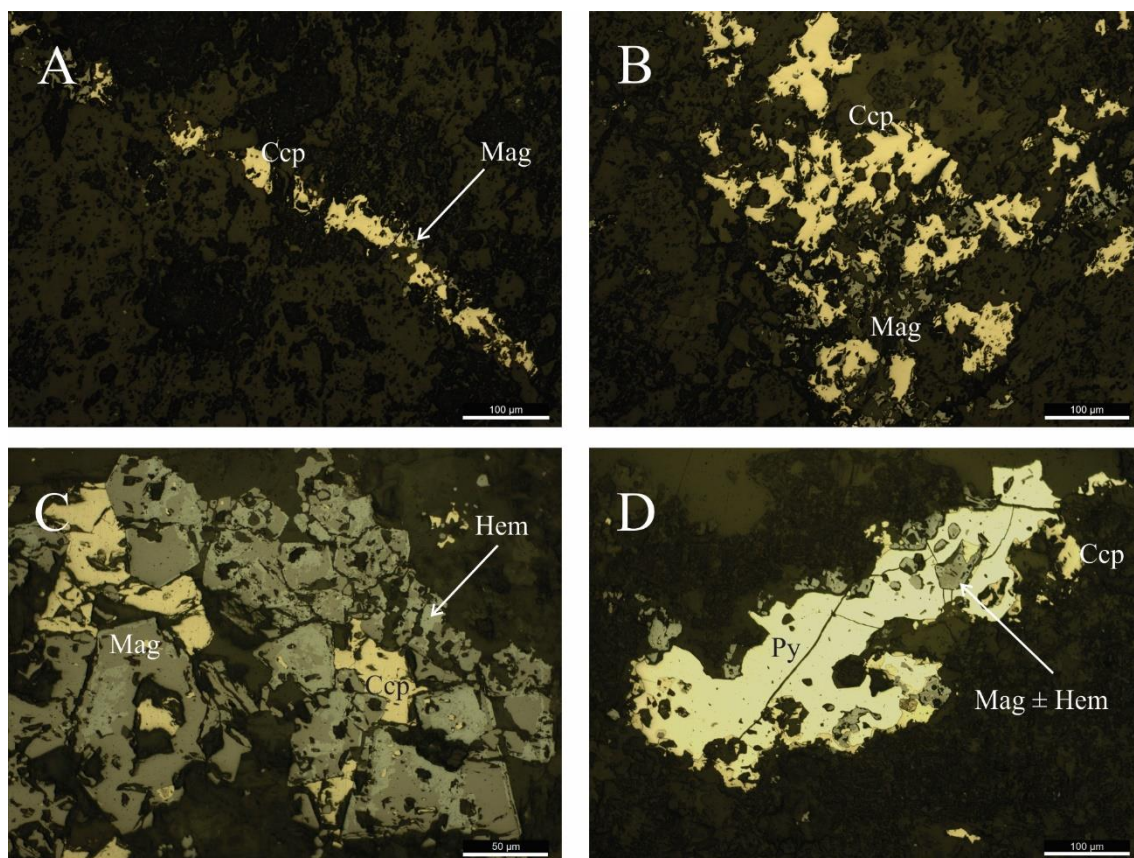


Figura An-18. Fotomicrografías de los minerales opacos presentes en Bx2. A) Vetilla de calcopirita (Ccp) con magnetita (Mag). B) Calcopirita asociada a magnetita. C) Granos de magnetita parcialmente reemplazada por hematita (Hem), asociada a calcopirita. D) Pirita parcialmente reemplazada en los bordes por calcopirita y con inclusiones de magnetita. Barra de escala: 100 μm (A, B, D); 50 μm (C).

### FICHA PETROGRÁFICA - CALCOGRÁFICA

<b>Muestra:</b>	10	<b>Sondeo:</b>	44.3-42.3
<b>Corte:</b>	C_10	<b>Metros:</b>	329,00
<b>Proyecto:</b>	Bajo El Durazno	<b>Litología:</b>	Brecha Bx2

### DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

**Color:** gr-md-dk

**Litología:** Brecha

**Unidad:** Bx2

**Alt. primaria:** K moderada.



**Minerales:** principalmente Mag dis en matrix. Bt dis en matriz. Fk sobre Pl en forma parcial.

**Alt. secundaria:** ADF escasa.

**Minerales:** Chl sobre mafitos. Menor Ser-arcilla sobre Pl.

**Mineralización:** Ccp vcp, vn Anh-Gp--Cb+Mag+Bn+Py, vn Qz y dis fina en matriz y sobre Bt sec y en mafitos sobre Mag. Fragmentos de And afanítica y P2?.

### DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

La roca presenta una matriz de grano fino formada por plagioclasa, cuarzo fino, biotita secundaria fina, sericita y opacos euhedrales de tamaño medio diseminados.

Se observan fragmentos de fenocristales de plagioclasa. Los mismos son zonados y se encuentran reemplazados por sericita en el centro (Fig. An-19.A).

Fragmentos de fenocristales de biotita, subhedros a anhedros, se encuentran alterados a biotita secundaria, la cual está en contacto con minerales opacos euhedros.

Las vetillas presentes contienen cuarzo anhedral y minerales opacos. Otras se caracterizan por tener bordes de cuarzo y centro de anhidrita euhedral (Fig. An-19.B).

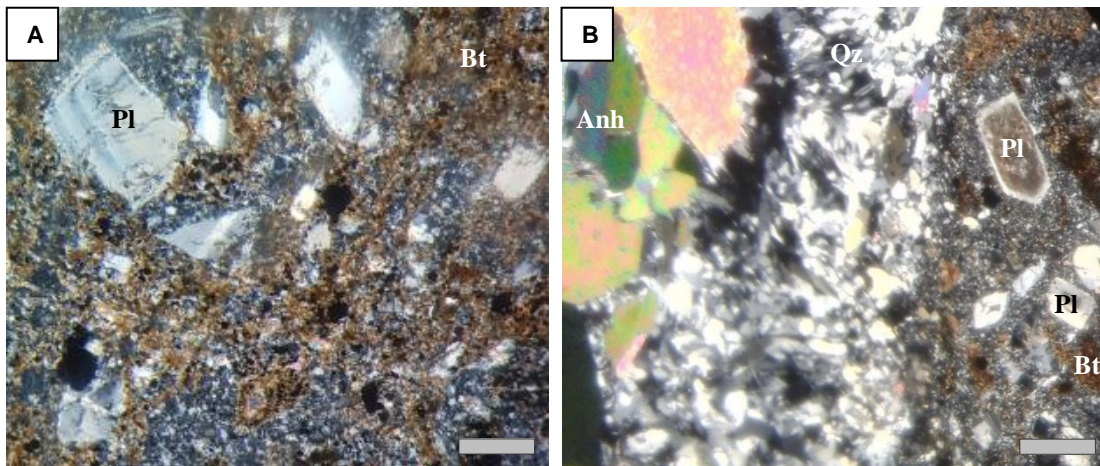


Figura An-19. Fotomicrográficas (n x) de secciones delgadas de muestras pertenecientes a Bx2. A) Matriz de grano fino con biotita secundaria (Bt) predominante y fragmentos de fenocristales de plagioclasa (Pl). B) Vetilla de anhidrita (Anh) y cuarzo (Qz). En la matriz se pueden ver plagioclasas euhedrales alteradas a sericita en el centro. Barra de escala: 0,5 mm.

Los minerales opacos presentes son escasos y están representados, en orden de abundancia, por: magnetita, calcopirita, hematita y bornita.

La magnetita se presenta diseminada en granos subhedrales, subredondeados a irregulares de variado tamaño (< 1 a 80  $\mu\text{m}$ ), con diverso grado de martitización y frecuentes inclusiones pequeñas (generalmente < 5  $\mu\text{m}$ ) de calcopirita  $\pm$  bornita (Fig. An.20.A).

La calcopirita es escasa y se presenta desarrollando delgadas vetillas (< 5  $\mu\text{m}$  de potencia), irregulares y discontinuas (Fig. An.20.B) y en granos anhedrales de variado tamaño (< 1 a 40  $\mu\text{m}$ ).

La bornita es muy escasa y reemplaza parcial a totalmente a calcopirita (Figs. An.20.A, C y D).

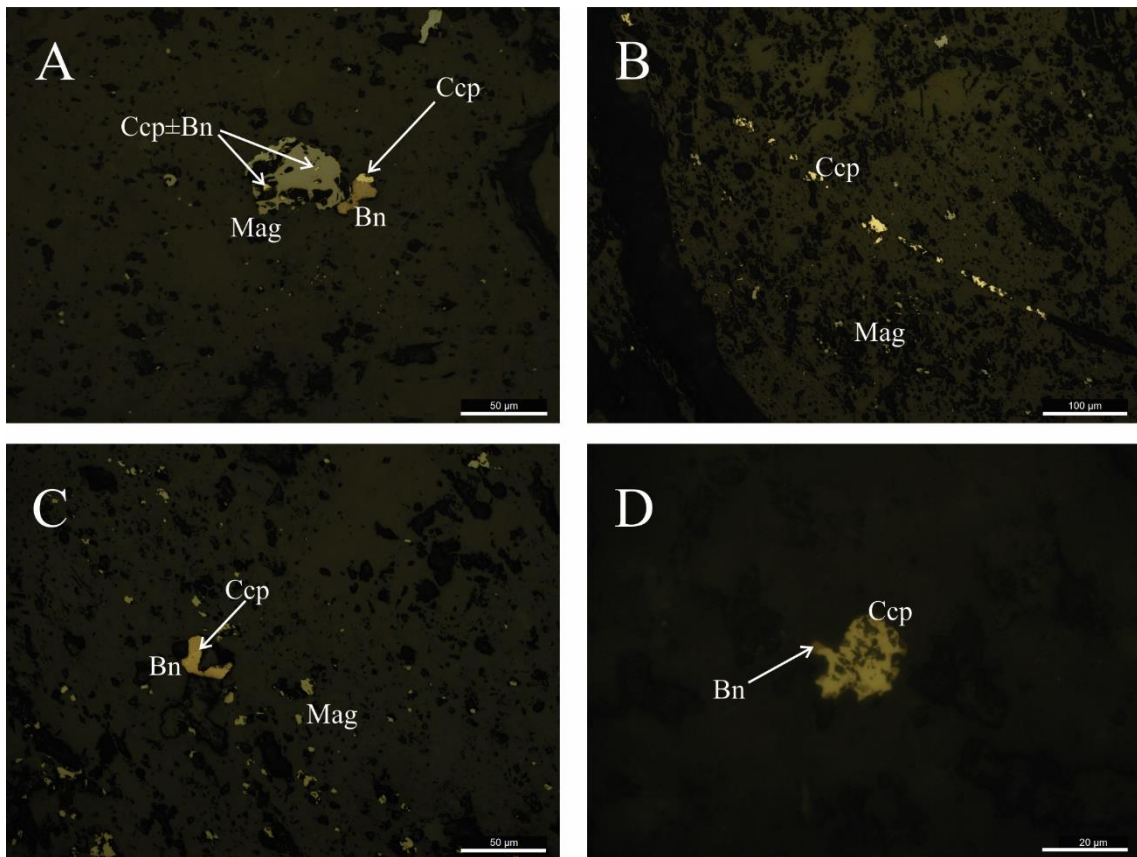


Figura An-20. Fotomicrografías de los minerales opacos presentes en Bx2. A) Cristal Vetilla de calcopirita (Ccp) con magnetita (Mag). B) Calcopirita asociada a magnetita. C) Granos de magnetita parcialmente reemplazada por hematita (Hem), asociada a calcopirita. D) Pirita parcialmente reemplazada en los bordes por calcopirita y con inclusiones de magnetita. Barra de escala: 100 µm (A, B, D); 50 µm (C).

### FICHA PETROGRÁFICA - CALCOGRÁFICA

<b>Muestra:</b>	<i>11</i>	<b>Sondeo:</b>	<i>46.0-51.2</i>
<b>Corte:</b>	<i>C_11</i>	<b>Metros:</b>	<i>61,00</i>
<b>Proyecto:</b>	<i>Bajo El Durazno</i>	<b>Litología:</b>	<i>Brecha Bx3</i>

### DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

**Color:** gr-md-lt

**Litología:** Brecha

**Unidad:** Bx3

**Alt. primaria:** K moderada.



**Minerales:** Fk/Pl parcial y en matriz parcial en fragmentos. Bt sec fina dis en matriz y Mag dis en matriz y en vn.

**Alt. secundaria:** ADF escasa.

**Minerales:** Ser-arcilla/Pl en fragmentos y Chl/mafitos

**Mineralización:** Ccp en Vcp Cb+Py, vn Qz+Mol? y dis fina. Vn Cb.

### DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

La roca se caracteriza por tener una matriz de grano fino con biotita secundaria predominante y minerales opacos diseminados subhedros a anhedros de tamaño medio en contacto con la biotita de origen secundario.

También se encuentran vetillas con relleno de opacos. Se observan fragmentos de fenocristales de plagioclasa predominante, con forma euhedral a subhedral, con los núcleos alterados a sericita.

Se observan muy pocos fenocristales de biotita sin alterar, los mismos son subhedrales (Figs. An-21.A y B).

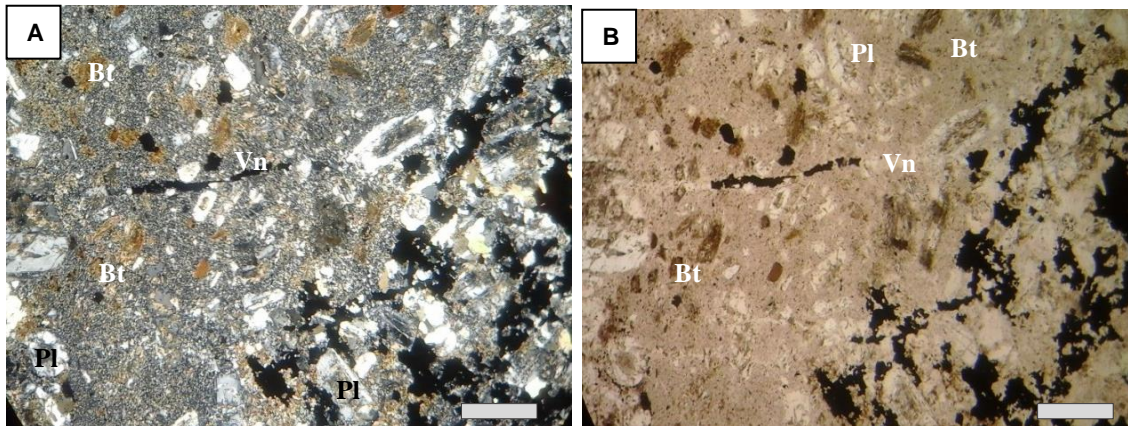


Figura An-21. Fotomicrografías (A: n x, B: n //) de secciones delgadas de muestras pertenecientes a Bx3. A y B) Matriz de textura fina con biotita secundaria y minerales opacos anhedrales diseminados y en Vetilla (Vn). Fragmentos de fenocristales de plagioclasas (Pl) alteradas a sericita y biotitas primarias alteradas a biotita secundarias (Bt). Barra de escala: 0,5 mm.

Los minerales opacos identificados son: magnetita, hematita, calcopirita y bornita.

La magnetita se presenta en cristales de hasta 30  $\mu\text{m}$ , subhedrales a anhedrales, redondeados a irregulares, diseminados y a menudo reunidos desarrollando agrupaciones irregulares mayores (hasta 200  $\mu\text{m}$ ) y en vetillas irregulares y discontinuas de hasta 10  $\mu\text{m}$  de potencia (Fig. An-22.A); la magnetita se encuentra parcial a casi totalmente reemplazada en forma pseudomórfica por hematita (Fig. An-22.B).

La calcopirita se encuentra irregularmente distribuida y se presenta diseminada en cristales anhedrales, irregulares de hasta 30  $\mu\text{m}$ , aislados o en agrupaciones asociada a magnetita y desarrollando escasas vetillas irregulares y discontinuas (Fig. An-22.C) de poca potencia (< 5  $\mu\text{m}$ ).

Algunos cristales presentan parcial reemplazo por bornita (Fig. An-22.D).



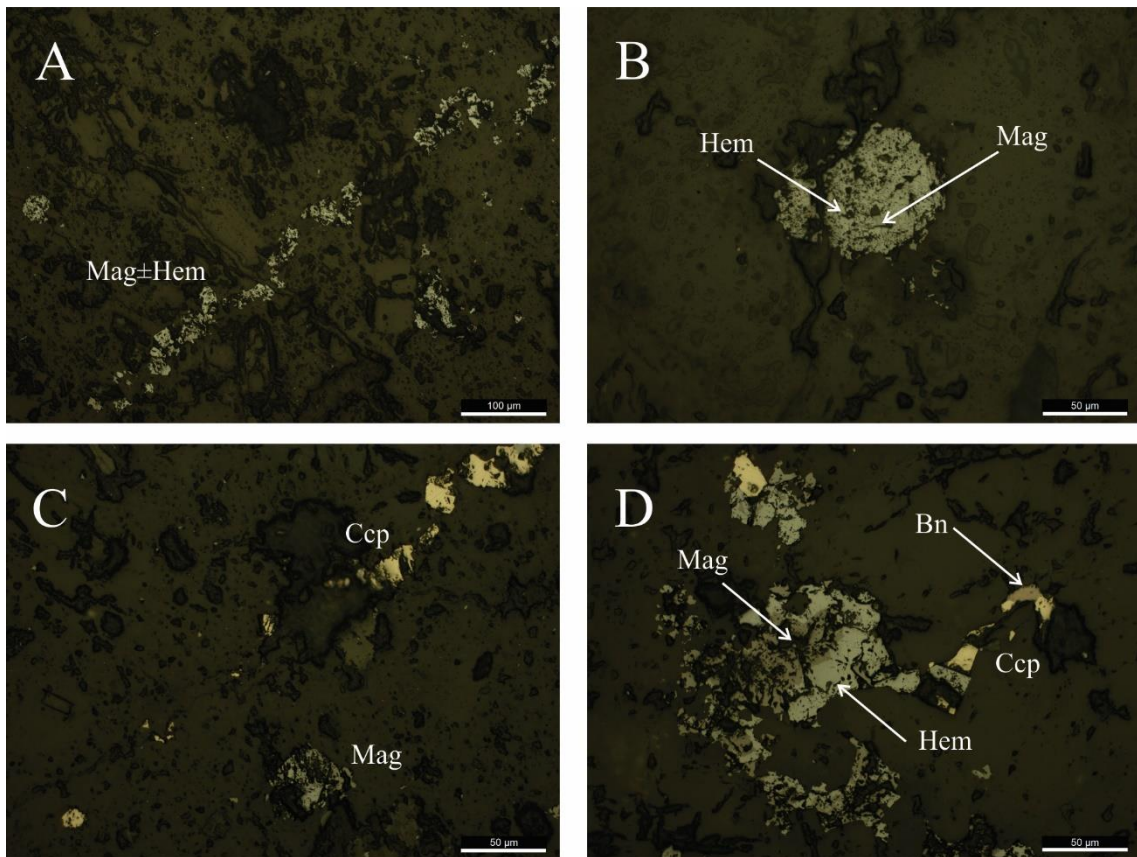


Figura An-22. Fotomicrografías de los minerales opacos presentes en Bx3. A) Vetilla de magnetita (Mag)±hematita (Hem). B) Cristal subhedral de magnetita casi totalmente reemplazado en forma pseudomórfica por hematita. C) Calcopirita (Ccp) asociada a magnetita levemente martitizada. D) Magnetita parcialmente reemplazada en forma centrípeta por hematita y asociada a calcopirita que está parcialmente reemplazada por bornita (Bn). Barra de escala: 100  $\mu\text{m}$  (A); 50  $\mu\text{m}$  (B, C, D).

### FICHA PETROGRÁFICA - CALCOGRÁFICA

<b>Muestra:</b>	12	<b>Sondeo:</b>	50.0-44.3
<b>Corte:</b>	C_12	<b>Metros:</b>	434,00
<b>Proyecto:</b>	Bajo El Durazno	<b>Litología:</b>	Brecha Bx3

### DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

**Color:** gr-md

**Litología:** Brecha

**Unidad:** Bx3

**Alt. primaria:** K moderada.

**Minerales:** Fk/Pl parcial y en matriz parcial. Mag-Bt sec en matriz.

**Alt. secundaria:** ADF escasa.

**Minerales:** Ser-arcilla/Pl parcial.

Chl /mafitos parcial en matriz.

**Mineralización:** Ccp dis fina y en parches en matrizz/Mag-Bt sec±Py±Chl/Bt sec.

Vcp-vn Gp±Cb±Py±Mol. Variación textural, mas fluidal y afanítica.



### DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

La roca presenta una matriz de grano fino con minerales opacos subhedrales de grano fino a medio diseminados. También se presentan vetillas de cuarzo y minerales opacos con bordes de sericita.

Se observan fragmentos de fenocristales principalmente de plagioclasa, los cuales se encuentran levemente alterados a sericita.

Los fenocristales de biotita se encuentran en escasa proporción, principalmente rodeados y alterados a biotita secundaria (Figs. An-23.A y B).

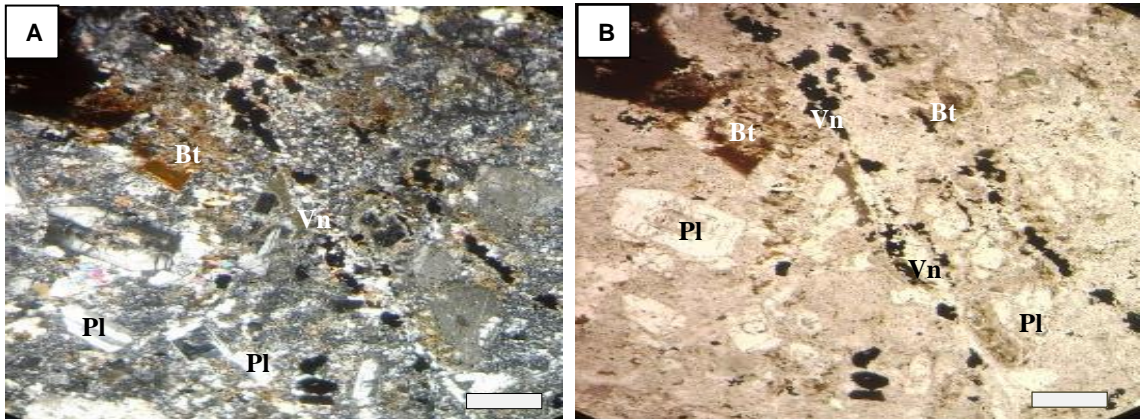


Figura An-23. Fotomicrografías (A: n x, B: n //) de secciones delgadas de muestras pertenecientes a Bx3. A y B) Fragmentos de fenocristales de plagioclasa (Pl) alterada a sericita y biotita en matriz fina con opacos diseminados. Vetillas de cuarzo y minerales de opacos (Vn), los mismos en contacto con sericita y biotita secundaria (Bt). Barra de escala: 0,5 mm.

Los minerales opacos, en orden de abundancia, son: magnetita, calcopirita, hematita y bornita.

La magnetita se presenta en cristales subhedrales (Fig. An-24.A), anhedrales, subredondeados a irregulares ( $< 1 \mu\text{m}$  a  $50 \mu\text{m}$ ) o desarrollando vetillas de hasta  $100 \mu\text{m}$  de potencia, asociada a menudo a calcopirita (Fig. An-24.B) y siendo parcialmente reemplazada por hematita.

La calcopirita se presenta en cristales de hasta  $70 \mu\text{m}$  de tamaño y desarrollando vetillas monominerálicas de poca potencia ( $< 10 \mu\text{m}$ ) que a menudo se intersectan entre sí (Fig. An-24.C) o participando en Vetillas mayores con magnetita que cortan a las anteriores.

La calcopirita está siendo parcialmente reemplazada por bornita (Fig. An-24.D).

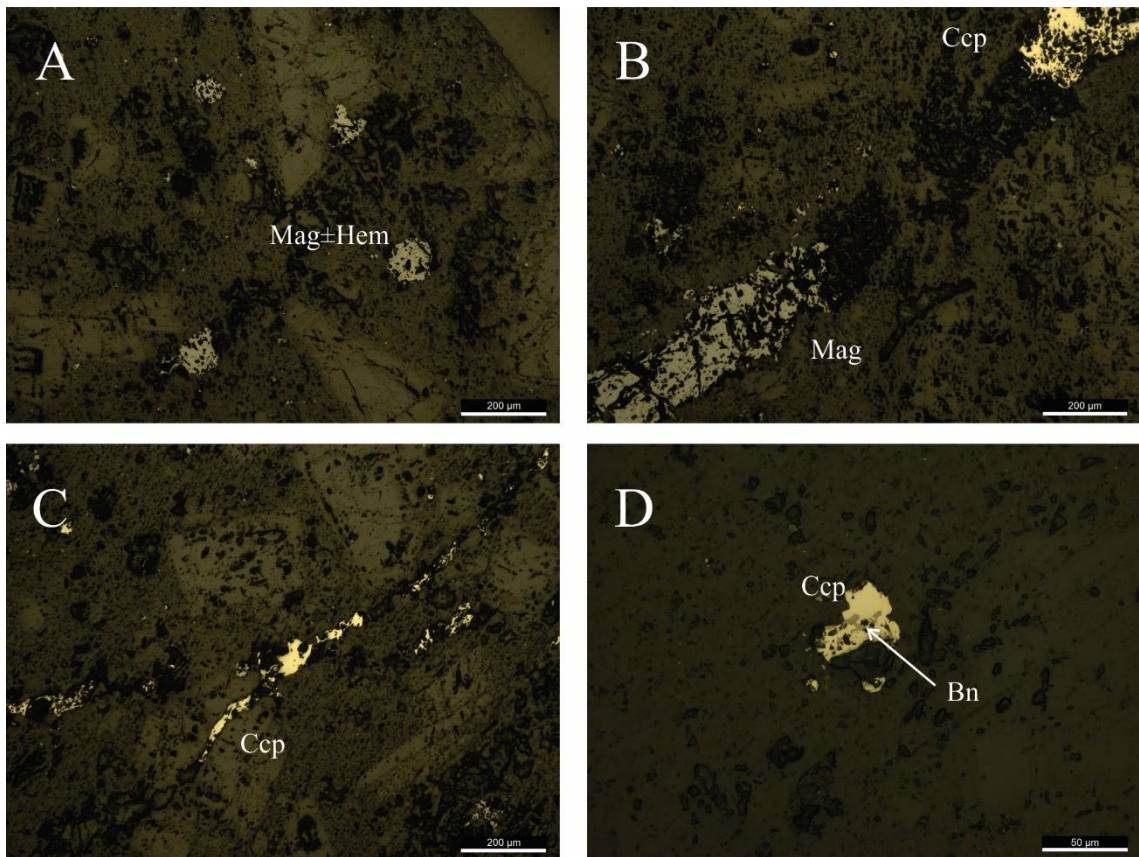
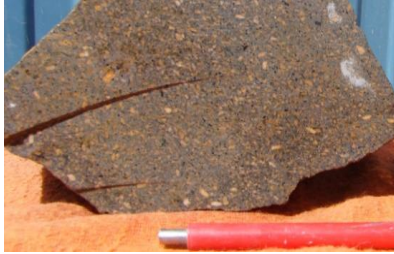
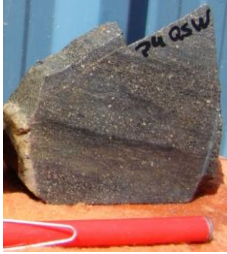


Figura An-24. Fotomicrografías de los minerales opacos presentes en Bx3. A) Cristales subhedrales de magnetita (Mag). B) Vetilla de magnetita±calcopirita (Ccp). C) Vetillas de calcopirita. D) Cristal de calcopirita parcialmente reemplazado por bornita (Bn). Barra de escala: 200  $\mu\text{m}$  (A, B, C); 50  $\mu\text{m}$  (D).

### FICHA PETROGRÁFICA

<b>Muestra:</b>	<i>s/n</i>	<b>Superficie:</b>	<i>GK Grilla E: 42442,28 / GK Grilla N: 82778,86</i>
<b>Proyecto:</b>	<i>Bajo El Durazno</i>	<b>Litología:</b>	<i>P4</i>

### DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

<b>Color:</b>	gr-md	
<b>Litología:</b>	Diorita	
<b>Unidad:</b>	P4	
<b>Alt. primaria:</b>	ADF escasa.	
		
	<b>A</b>	<b>B</b>
<b>Minerales primarios:</b>	Fenocristales de Pl subhedral (5-10%), Bt-Hb (3-5%)	Fenocristales de Pl subhedral (5-10%), Bt-Hb (5-7%)
<b>Matriz:</b>	Fina, fluidal (Chl+Mag) y oscura (80%)	Fina y afanítica (70%)
<b>Minerales secundarios:</b>	Mag sobre mafitos y dis fina (1-3%)	Mag sobre mafitos dis fina (1-3%)
<b>Alteración principal:</b>	Alt ADF escasa c/ Chl/Pl, Chl/mafitos y Ser/matriz.	Alt ADF escasa con Chl sobre Pl y Ser-Chl sobre mafitos
<b>Alteración secundaria:</b>	Alt supergénica escasa con limonitas-arcillas sobre plagioclasa y magnetita/hematita.	Alt supergénica escasa con limonitas-arcillas sobre plagioclasa y magnetita/hematita.
<b>Mineralización:</b>	No presenta.	No presenta.

Este pórfido está asociado a los diques tardíos estériles y discontinuos de orientación NNE. Corta a los intrusivos P0, P1 y P2, está afectado por escasa alteración y no contiene vetillas o mineralización de sulfuros. La nomenclatura para la denominación en la secuencia intrusiva temporal de P4, se debe a su correlación con los diques estériles y tardíos presentes en BLA. La mineralogía de los fenocristales consiste de plagioclasa subhedral entre 5 a 10%, biotita y hornblenda entre 3 y 7 % que pueden estar ocasionalmente alteradas a clorita, algunos “ojos” anhedrales de cuarzo. La matriz es de grano fino, gris a gris oscuro dependiendo del contenido de magnetita y en ocasiones fluidal (>70%) (Figs. An-25.A y B).

Debido a la ausencia de mineralización no se realizaron cortes pulidos.

*Anexo IV*

*RESUMEN LOGUEOS GEOLÓGICOS*

*PROGRAMA DE PERFORACIÓN 2009*

Códigos de litología, alteración y mineralización, usados en el logeo y base de datos.

Litología	Nomenclatura	Código Numérico	Comentarios
Relleno	Relleno	60	Cobertura/Relleno
Diorita P0	P0	20	Se considera la roca de caja
Diorita P1	P1	21	Intrusivo mineralizado
Diorita P2	P2	22	Intrusivo mineralizado
Diorita P4	P4	30	Intrusivo estéril tardío
Brechas	Bx	Bx1=40, Bx2=41 y Bx3=42	Tres Unidades de Brechas en forma de "fajas" mineralizadas: Oeste, Central y Este respectivamente
Nivel de Oxidación	Oxidación	0=Relleno; 1=Oxidado; 2=No Oxidado	La oxidación se define por la presencia de óxidos de Fe.
Alteración	Nomenclatura	Código Numérico	Comentarios
Fresco	Roca "Fresca"	91	Sin evidencia de alteración
Arg	Argílica por Falla	92	Argílica. Comprende los sectores de falla principales donde predomina arcilla±yeso±carbonato.
Epidota-Clorita-Py	Epidota-Clorita	93	Epidota-Clorita
Arg-Sílice-Pirita + Clorita-Sericita-Pirita	ADF	94	Alteración destructiva de feldespatos: Fílica +Argílica intermedia.
Potásica débil-Fílica + Potásica moderada-Sílice + Potásica Débil + Sílice-Pirita	Potásica	95	Alteración Potásica. Comprende todos los tipos de alteración potásica logueados. Es posible que una subdivisión en el futuro permita mejor definición de controles de mineralización.
Mag	Qz-Magnetita	96	Cuarzo-Magnetita. Casi no existe en el proyecto, restringida en el intrusivo P2, sector central del depósito.
Sil	Silicificación	97	Escasa presencia en el proyecto, agrupada con la Potásica.
Arg Av	Argílica Avanzada	98	Argílica Avanzada

Resumen Log: 42.0 - 51.2					
Intervalo (m)	Litología	Alteración Dominante	Mineralización	ROCKG	ALTRG
4,50-36,00 m	P0	FDA (Mod-Stg) de 4,50 a 36,00 m Ser-Cy/PI, Cl/PI, parches de Cl-Ser parcial en matrix y Qz-Ser parcial en matrix, <b>12,10-12,93m Fx menor @ 17° (Lm, Cb)</b> <b>17,85-20,20m Fx menor @ 30°-50° (Lm, Cy, Cb)</b> <b>23,80-25,00m Fx menor @ 20°-30° (Cy, Cb)</b>	(0-4,5m) Relleno Aluvial (4,50-22m) Mod Lixiviación y meteorización (4,5-16m) V&D(Tr Py, Cp, Lm, Tr Spt) <b>@ 0,12% Cu / 0,24 g/t Au</b> V&D (Py, Cp, tr Hm) <b>@ 0,11% Cu / 0,21 g/t Au</b>	20	94
36,00-67,40 m	Bx3	Arg (Mod-Stg) Mod-Stg Arg por Fx, TrSer-Cy/PI y >>Parches de Cl dis en matrix, Qz-Ser en matrix,  <b>31,50 a 60,00m ZFc por Fx @ techo 30°, 5° plano general</b> <b>54,00-64,00m Plano Fx @ 5° (Cy,Cb)</b> <b>63,00-93,70m Fx menor @ 5° (Cy, Cb)</b> <b>66,00-69,10m Fx mayor @ 35°-40° (Cy, Cb)</b>	V&D (Py, Cp, tr Hm, tr Lm) <b>@ 0,24% Cu / 0,71 g/t Au</b>	42	92
67,40-118,80 m	P0	FDA (Mod-Stg) 70,00 a 118,80 m Ser-Cy/PI y >>Parches de Cl dis en matrix, Qz-Ser en matrix,  <b>80,45-81,30m Fx @ 20°-35° (Cy, Cb)</b> <b>83,30-83,70m Fx menor @ 40°-45° (Cy, Cb)</b> <b>97,20-97,95m Fx, Stg Fc (Cy, Cb)</b> <b>103,60-103,90m Fx menor @ 25°-35° (Cy, Cb)</b> <b>109,50-110,00m Fx menor @ 55°-25° (Cy, Cb)</b> <b>114,50-115,05m Bx de Fx @ 35° (Cy, Lm, Py)</b>	V&D (Py, Cp, tr Hm) <b>@ 0,11% Cu / 0,24 g/t Au</b>	20	92
118,80-150,00 m	Bx2	FDA (Mod-Stg) Ser-Cy/PI y >>Parches de Cl dis en matrix, Qz-Ser en matrix, Ser/PI, parches Ser-Py-Cl y dis en matrix, Tr Cl/mafitos y/ Bi sec,  <b>122,60-122,75m Fx menor @ 40° (Cy, Cb)</b> <b>138,30-139,60m Fx menor @ 30°-40° (Cy, Cb)</b> <b>140,10-141,85m Fx menor @ 25°-14° (Cy, Cb)</b>	V&D (Py, tr Cp, tr Hm) <b>@ 0,10% Cu / 0,23 g/t Au</b>	41	94
150,00-202,60 m	P0	FDA (Mod-Stg) Ser-Cy/PI y >>Parches de Cl dis en matrix, Qz-Ser en matrix, Ser/PI, parches Ser-Py-Cl y dis en matrix, Tr Cl/mafitos y/ Bi sec,  <b>162,70-163,85m Plano Fx @ 20° (Cy,Cb)</b> <b>184,85-185,35m Fx @ 40° Int Fc (Cy,Cb)</b> <b>188,00-196,00m Plano Fx @ 5°-10° (Cy,Cb)</b>	V&D (Py, Cp, tr Spt) <b>@ 0,12% Cu / 0,24 g/t Au</b>	20	



Resumen Log: 44.0 - 51.2					
Intervalo (m)	Litología	Alteración Dominante	Mineralización	ROCKG	ALTRG
4,00-43,70 m	Bx2	FDA (Mod-Stg) 4,00-10,00 m Ser-Cy/Pl, Qz-Ser en matrix, K(Mod) 10,00-28,00 m Bi sec fina en matrix, Mt en Vn, patches y dis en matrix / Bi sec, FDA (Mod-Stg) 28,00-42,00 m Ser-Cy/Pl y Cl dis en matrix, Qz-Ser en matrix y en halos de vn D,  <b>7,40-7,80m Fx menor @ 45° (Cy-Cb)</b> <b>21,00m Fx @ 5° (Cb)</b> <b>23,20m Fx @ 20° (Cb)</b> <b>24,90-30,95m Fx @ 5° (Cy-Cb)</b> <b>39,90-41,30m Fx @ 5° (Cb)</b>	(0-4m) Relleno Aluvial (4-20m) Mod Lixiviación y ox, de sulfuros (4-44m) V&D (Py, Cp, tr Hm, tr Spt) <b>@ 0,18% Cu / 0,37 g/t Au</b>	41	94
					95
43,70-150,00 m	P2	K (Mod) de 42,00 a 150,00 m FK/Pl parcial, Bi sec fina en matrix, Mt dis en matrix y en vn  <b>46,80-49,00m Fx menor @ 5° (Cy-Cb)</b> <b>62,30-62,80m Fx menor @ 10° (Cy-Cb)</b> <b>70,00-72,00m Stg Arg por Fx</b> <b>76,50-77,00m Fx menor @ 30° (Cy-Cb)</b> <b>78,50-78,70m Fx menor @ 30° (Cy-Cb)</b> <b>79,90-80,05m Fx menor @ 10° (Cy-Cb)</b> <b>86,00-89,75m Stg Arg por Fc @ 60°</b> <b>93,20-93,60m Fx menor @ 10° (Cy-Cb)</b> <b>98,00-106,00m Stg Arg por Fx</b> <b>98,90-150,00m ZFc por Fx @ 5-10° (Cy-Cb) @</b> <b>126,00-128,00 Arg por Fx y 140,00-142,00m Fx (Cb-Cy)</b>	(44-136m) V&D (Py, tr Cp, tr Hm) <b>@ &lt;0,10% Cu / 0,12 g/t Au</b> (136-150m) V&D (Py, Cp) <b>@ 0,15% Cu / 0,28 g/t Au</b>	22	92
					92
					92
					95
					95

Resumen Log: 44.3 - 42.3					
Intervalo (m)	Litología	Alteración Dominante	Mineralización	ROCKG	ALTRG
10,50-36,70 m	P0	K (Mod-Stg) 10,50-36,70 m Bi sec fina en matrix, Mt y Hm/Mt en vcp y dis en matrix,  22,90-26,00m Fx mayor (Cy-Cb-Lm) 26,90-32,00m ZFx (Cb-Cy-Lm)	(0-10,5m) Relleno Aluvial (10,5-48m) Mod Lixiviación y Meteor, de sulfuros (10,50-36m) V&D Hm, Lm, tr Mq, tr Jr @ 0,14% Cu / 0,25 g/t Au	20	95 92
36,70-140,95 m	Bx1	K (Mod-Stg) 36,70-140,95 m FK parcial en matrix, Bi sec fina en matrix, Mt y Hm/Mt en vcp y en matrix, Arg(Mod-Stg) en ZFx principales  44,50-45,20m ZFx @ 20° (Cb-Cy-Lm) 46,35-49,50m Fx mayor @ 20° (Cb-Cy-Lm) 59,10-60,05m Fx @ 50°? (Cb-Cy) 65,50-66,40m Fx menor @ 5° (Cb-Cy) 67,30-69,90m ZFx @ 40° (Cy) 71,20-72,65m ZFx @ 20° (Cy, tr Cb) 80,20-81,50m ZFx @ 25° (Cb-Cy) 86,20-88,40m ZFx @ 5° (Cb-Cy) 98,00-101,10m Fx mayor @ 15° (Cb-Cy-Lm) 110,25-110,50m ZFx @ 30° (Cb-Cy-tr Lm) 111,70-112,20m ZFx @ 30° (Cb-Cy-tr Lm)	V&D (Tr Py, Cp, Hm) @ 0,24% Cu / 0,42 g/t Au	40	95 92 95 92 95 92 95 92
140,95-249,00 m	P2	K (Mod) FK/Pl parcial, Bio dis en matrix, Mt y Hm/Mt dis en matrix, FK/Pl parcial recristalizada  144,30-146,30m ZFx @ 25° (Cb-Cy) 148,05-149,25m ZFx @ 5° (Cb-Cy) 149,50-150,40m ZFx @ 10° (Cb-Cy) 165,85-166,80m Fx menor @ 40° (Cb-Cy) 186,00-188,10m ZFx @ 20° (Cb-Cy) 212,55-213,95m Fx mayor @ 30° (Cb-Cy-Qz) 216,60-217,10m Fx mayor por sectores @ 25° (Cb-Cy) 218,10-218,50m Fx mayor por sectores @ 35° (Cb-Cy) 219,70-223,60m Fx mayor @ 30° (Cb-Cy) 224,40-224,65m Fx mayor @ 50° (Cb-Cy-tr Lm) 225,80-226,30m Fx mayor @ 50° (Cb-Cy-tr Lm) 234,15-238,50m Fx @ 30° (Cb-Cy) 256,10-258,80m Fx @ 10° (Cb-Cy-Gy)	V&D (Tr Py, tr Cp, tr Hm) @ <0,10% Cu / 0,16 g/t Au	22	95 92 92
249,00-266,00 m	P1	K (Mod) Tr FK/Pl parcial, Bio dis en matrix, Mt y Hm/Mt dis en matrix, FK/Pl parcial recristalizada  260,30-262,00m Fx @ 20° (Cb-Cy)	V&D (Tr Py, tr Cp, tr Hm) @ 0,11% Cu / 0,47 g/t Au	21	95
266,00-305,00 m	P2	K (Mod) Tr FK/Pl parcial, Bio dis en matrix, Mt dis en matrix, FK/Pl parcial recristalizada  277,70-278,70m Fx @ 55° (Cb-Cy) 302,00-305,00m Fx @ 50° (Cb-Cy)	V&D (Tr Py, tr Cp, tr Hm) @ <0,10% Cu / 0,36 g/t Au	22	95
305,00-380,00 m	Bx2	K (Mod) Bi sec fina en matrix, >>Mt en patches dis en matrix, FK/Pl parcial recristalizada  302,00-305,00m Fx @ 50° (Cb-Cy) 311,80-313,00m Fx menor @ 50° (Cb-Cy) 340,40-341,40m Fx @ 20° (Cb-Cy) 344,00-344,90m Fx menor @ 50° (Cb-Cy) 344,90-345,00m Fx menor @ 50° (Cb-Cy) 350,55-351,05m Fx menor @ 40° (Cb-Cy-Gy) 352,25-353,15m Fx @ 45° (Cb-Cy-Gy) 364,20-365,15m Fx @ 60° (Cb-Cy-Gy) 369,30-3701,35m Fx @ 60° (Cb-Cy-Gy) 376,35-378,20m Fx @ 40° (Cb-Cy-Gy)	V&D (Tr Py, Cp, tr Hm, Tr Bn) @ 0,14% Cu / 0,54 g/t Au	41	95

Resumen Log: 46.0 - 51.2					
Intervalo (m)	Litología	Alteración Dominante	Mineralización	ROCKG	ALTRG
4,00-52,00 m	P2	K (Wk-Mod) <<FK/Pl parcial y en matrix parcial, Bi sec fina en matrix, << Mt dis en matrix / mafitos y tr Mt en Vcp  <b>14,30-18,40m Fx @ 10° (Stg Cy, Cb)</b> 27,00-27,60m Fx menor @ 10° (Stg Cy, Cb) 48,40-48,80m Fx menor @ 10° (Cy, Cb) 50,20-50,90m Fx menor (Cy, Cb) 54,10-54,45m Fx menor @ 70°	(0-4m) Relleno Aluvial (4-20m) Mod Lixiviación y meteorización (4-52m) V&D (Tr Py, tr Cp, tr Hm)  @ <0,10% Cu / 0,17 g/t Au	22	92
					95
52,00-120,00 m	Bx3	K (Wk-Mod) FK/Pl parcial y en matrix parcial, >>Bi sec fina en matrix, Mt dis en matrix y en vcp  115,70m Plano Fx @ 80° 116,50-117,00m Plano Fx @ 40° 118,00-118,50m Plano Fx @ 70°	V&D (Py, Cp, tr Mb) @ 0,19% Cu / 0,42 g/t Au	42	95
120,00-162,40 m	P2	K (Wk-Mod) de 120,00 a 136,00 m FK/Pl parcial y en matrix parcial, >>Bi sec fina en matrix, Mt dis en matrix y en vcp FDA (Mod-Stg) de 136,00 a 162,40 m Ser/Pl y dis en matrix, Tr Cl/mafitos y / Bi sec, Arg Wk por ZFx,  124,60-162,40m Plano Fx @ 5° paralelo al sondaje	V&D (Py, tr Cp, tr Hm)  @ <0,10% Cu / 0,10 g/t Au	22	94

Resumen Log: 47.0 - 51.4					
Intervalo (m)	Litología	Alteración Dominante	Mineralización	ROCKG	ALTRG
4,50-83,00 m	P2	K (Mod-Stg) Vn Qz-Mt, FK/Pl parcial y en matrix parcial, Bi sec fina en matrix, Mt dis en matrix / Bi sec y en vn,	(0-4,50m) Relleno Aluvial (4,50-30m) Mod Lixiviación y ox, de sulfuros (4,5-60m) V&D (Tr Py, tr Cp, tr Hm, tr Lm) @ <0,10%Cu / 0,20 g/t Au (60-83m) V&D (Tr Py, Cp, tr Hm) @ 0,12%Cu / 0,35 g/t Au	22	95
83,00-108,70 m	Bx2	K (Wk-Mod) Tr FK/Pl parcial, Bi sec fina en matrix, Tr Mt dis en matrix y en vn,  90,50-91,50m Fx @ 5° (Stg Fc, Hm/Mt)	V&D (Tr Py, Cp, tr Hm) @ 0,15%Cu / 0,28 g/t Au	41	
108,00-154,00 m	P2	K (Wk-Mod) Tr FK/Pl parcial, Bi sec fina en matrix, Tr Mt dis en matrix y en vn,  150,00-150,50m Fx menor @ 5° (Cy,Cb) 152,40-154,00m Fx menor @ 10° (Cy,Cb,Gy)	V&D (Tr Py, Cp, tr Hm) @ 0,14%Cu / 0,35 g/t Au	22	
154,00-185,70 m	P1	K (Mod-Stg) >>Bi sec+Mt fina en matrix, Tr Mt Vcp, Tr FK parcial en matrix, Sil parcial / Pl y < en matrix	V&D (Tr Py, tr Cp, tr Mb) @ <0,10%Cu / 0,24 g/t Au	21	
185,70-338,00 m	P2	K (Mod-Stg) Bi sec+Mt fina en matrix, Tr FK parcial en matrix, Sil parcial / Pl y < en matrix  199,90 a 201,90 ZFx gouge de Fx cementada por Gy-Cb, plano @ 55°, 211,30-212,40m Fx menor @ 60° (Cb, Cy), 284,10-286,00m Fx menor @ 5° a 10° (Cb, Cy), 308,50-309,30m Fx menor @ 5° (Cb, Cy), 314,65-314,85m Fx menor @ 5° 315,30-315,80m Fx menor @ 5° 321,35-321,65m Fx menor @ 60°	V&D (Py, Cp, tr Hm, tr Mb) @ 0,14%Cu / 0,37 g/t Au	22	92 92 92
338,00-433,90 m	Bx1	K (Mod-Stg) En And Bi sec y <<Mt fina dis en matrix, En Dio FK/ Pl parcial y en matrix+Bi sec dis en matrix + Mt fina en Vn-Vcp y patches  339,00-339,95m Fx menor @ 55° (Cb, Cy, Gy), 340,80-341,10m Fx menor @ 55° (Cb, Cy), 355,48-356,00m Fx menor @ 50° (Cy,Cb,Gy) 357,35-357,50m Fx menor @ 30° (Cy,Cb,Gy) Fx menores a 406,30m y 406,70 cm, relleno de Cy-Gy-Cb 414,10-414,50m Fx menor @ 5° 426,00-427,00m ZFx gouge de Fx cemento Cy-Cb @ 30° 428,00-429,00m ZFx gouge de Fx cemento Cy-Cb @ 25°	V&D (Tr Py, Cp) @ 0,13%Cu / 0,21 g/t Au	40	95 92
433,90-472,00 m	P0	K (Mod) 433,90-440,00 m Bi sec y <<Mt fina dis en matrix, FDA (Mod) 440,00-472,00 m Ser-CI dis en matrix, Cl/ mafitos, Ser en halos de Vcp D, Py dis en matrix y en Vcp,  435,40-435,80m Fx @ 35°, Mod Arg 469,30-469,80m Fx menor @ 10° Arg Mod, 471,30-471,80m gouge de Fx cemento Qz y Tr Py, Cp, Mb, Mt @ 55°	V&D (Py, tr Cp) @ <0,10%Cu / 0,08 g/t Au	20	95 94 92 94

Resumen Log: 48.4 - 53.3					
Intervalo (m)	Litología	Alteración Dominante	Mineralización	ROCKG	ALTRG
4,50-7,00 m	P2	K (Mod-Stg) Vn Qz-Mt, FK/PI parcial y en matrix, Bi sec en matrix y vn, Mt en parches y dis en matrix,	(0-4,50m) Relleno Aluvial (4,5-26m) Mod Lixiviación y ox, de sulfuros (4,5-7m) V&D (Tr Py, Cp, tr Hm, tr Gt) @ 0,11%Cu / 0,26 g/t Au	22	95
7,00-16,00 m	Bx3	K (Mod-Stg) Vn Qz-Mt, FK/PI parcial y en matrix, Bi sec en matrix y vn, Mt en parches y dis en matrix,	V&D (Tr Py, Cp, tr Hm) @ 0,13%Cu / 0,46 g/t Au	42	
16,00-109,50 m	P2	K (Mod-Stg) FK/PI parcial y en matrix, Bi sec en matrix, Mt dis en matrix  22,90-29,60m ZFx @ 35° (Cb-Cy) 29,55 a 29,90m Bx cementada con Cb-Cy Arg. 98,50-102,00m ZFx Mod @ 40° (Cy-Cb), Arg 105,00-105,10m Fx menor @ 45°, Arg	(26-112m) V&D (Tr Py, tr Cp, tr Hm, tr Mb) @ <0,10%Cu / 0,26 g/t Au	22	92
109,50-132,80 m	Bx2	K (Mod-Stg) FK/PI parcial y en matrix, Bi sec en matrix, Mt dis en matrix  112,00-112,75m Fx @ 50° (Cy-Cb), Arg, 115,85-116,00m Fx @ 30° ? (Cy-Cb), Arg, 132,00-132,15m Fx menor @ 30°-40° (Cy-Cb)	V&D (Tr Py, Cp, tr Hm, tr Cc) @ 0,12%Cu / 0,44 g/t Au	41	95
132,80-158,00 m	P2	K (Mod-Stg) FK/PI parcial y en matrix, Bi sec en matrix, Mt dis en matrix  133,55-133,75m Fx menor @ 5° (Cy-Cb-Gy) 138,30-140,30m Fx menor @ 5° (Cy-Cb-Gy) 148,20-156,60m ZFx menores @ 5° (Cy-Cb)	V&D (Tr Py, Cp, tr Hm, tr Cc) @ 0,17%Cu / 0,46 g/t Au	22	92
158,00-241,95 m	P1	K (Mod-Stg) FK/PI parcial y en matrix, Bi sec en matrix, Mt dis en matrix  166,70-167,40m Fx menor @ 5° (Cy-Cb) 202,45-203,70m Fx menor @ 5° (Cy-Cb) 240,30-240,80m Fx menor @ 60° (Cy-Cb) 241,20-241,95m Fx @ 60° (Cy-Cb)	V&D (Tr Py, Cp, tr Spt, tr Hm, tr Mb, tr Cc-Cy) @ 0,18%Cu / 0,57 g/t Au	21	95
241,95-292,92 m	P2	K (Mod-Stg) FK/PI parcial y en matrix, Bi sec en matrix, Mt dis en matrix  242,35-242,60m Fx menor @ 60° (Cy-Cy-Cb) 261,60-263,15m Fx menor @ 35°-45° (Cy-Gy-Cb)	V&D (Tr Py, Cp, tr Spt, tr Hm, tr Mb) @ 0,21%Cu / 0,42 g/t Au	22	
292,92-327,00 m	P0	K (Mod) FK/PI parcial y en matrix, Bi sec fina en matrix, Mt dis en matrix,  325,40m Fx menor @ 25° (Gy) 326,50m Fx menor @ 30° (Gy)	V&D (Py, Cp, tr Spt) @ 0,11%Cu / 0,23 g/t Au	20	
327,00-365,80 m	P2	K (Mod) Tr FK/PI parcial y en matrix, Bi sec fina en matrix, Mt dis en matrix, FDA (Mod) 334,00-344,00 m Ser-Cl/PI parcial, Qz-Ser por sectores en matrix y en halos de vn D y tr Cy-Cb sobre mafitos,  336,60-336,90m Fx menor @ 15° (Gy-Cb) 358,95-359,35m Fx menor @ 5° (Gy-Cb )	V&D (Tr Py, tr Cp, tr Spt, tr Hm)  @ 0,10%Cu / 0,28 g/t Au	22	94
365,80-443,10 m	Bx1	K (Mod-Stg) Tr FK/PI parcial y en matrix parcial, >>Bi sec fina en matrix, >> Mt dis en matrix por sectores,  373,90m Fx menor @ 5° (Gy-Cb-Cy) 378,90-380,00m Fx menor @ 20°-30° (Gy-Cb-Cy) 391,45-392,20m Fx menor @ 15° (Gy-Cb ) 392,40-392,75m Fx menor (Gy-Cb-Cy) 396,45-397,80m Fx menor @ 5° (Gy-Cb-Cy) 398,30-401,85m Fx menor @ 20° (Gy-Cb-Cy) 403,00-403,20m Fx menor @ 15° (Gy-Cb-Cl-Cy) 420,40-422,80m Fx mayor @ 20° (Gy-Cb-Cy), Arg 424,15-427,90m ZFx @ 50°-70° (Gy-Cb-Cy), Arg 429,35-430,65m Fx menor @ 40° (Gy-Cb-Cy) 432,85-433,90m Fx menor @ 5° (Gy-Cb-Cy) 440,45-442,20m Fx @ 50° (Gy-Cb), Arg	V&D (Py, Cp, tr Spt, tr Mb) @ 0,14%Cu / 0,31 g/t Au	40	95
443,10-475,00 m	P0	K (Mod) FK/PI parcial y en matrix parcial, vn Mt y dis fina en matrix, Bi sec fina en matrix,  460,40-461,85m Fx mayor @ 20° (Gy-Cb-Cy) 470,12-470,25m Fx menor @ 75° (Gy-Cb-Cy)	V&D (Py, Cp, tr Spt) @ 0,15%Cu / 0,27 g/t Au	20	92
					92
					92
					92
					95

Resumen Log: 50.0 - 44.2					
Intervalo (m)	Litología	Alteración Dominante	Mineralización	ROCKG	ALTRG
10,50-114,50 m	Bx1	FDA (Mod-Stg) 10,50 - 66,00 m Ser-Cy/Pl y Ser-Cb/Pl, Cl/mafitos, Qz-ser en matrix parcial, Arg por ZFx K (Mod) 66,00-76,00 m Bi sec fina en matrix, Mt dis en matrix, vcp y vn, FDA(Mod) 76,00-104,00 m Ser-Cy/Pl, Cl/mafitos, Qz-ser en halos de vn D, Ser-Cb-Cy/Pl, Cl/Pl, Cl en patches/mafitos/Bio, K (Mod) 104,00 a 114,50 m Mt en vn, vcp y dis en matrix, Bi sec en matrix, FK/Pl parcial,  <b>22,20-26,70m Fx mayor @ 60° (Lm-Cy-Cb)</b> <b>32,40-32,85m Fx menor @ 30° (Cy-Lm)</b> <b>33,70-34,05m Fx menor @ 30° (Cy-Lm)</b> <b>35,10-35,30m Fx (Cy-Lm)</b> <b>36,50-46,30m ZFx @ 30°? (Cy-Gy-Cb)</b> <b>50,20-53,80m ZFx @ 5°</b> <b>56,80-58,05m ZFx @ 5°</b> <b>58,50-59,20m Fx menor @ 30° (Gy-Cb)</b> <b>59,90-61,20m Fx menor @ 30° (Gy-Cb)</b> <b>67,05-67,75m Fx menor @ 40° (Cy-Cb)</b> <b>68,40-69,80m Fx @ 30° (Cy-Cb)</b> <b>102,50-103,00m Fx menor @ 30° (Gy-Cy)</b> <b>113,15-113,50m Fx menor @ 50° (Gy-Cb)</b>	(0-10,50m) Relleno Aluvial (10,50-38m) Mod Lixiviación y ox, de sulfuros (10,50-38m) V&D (Tr Py, Cp, tr Hm, tr Lm) <b>@ 0,22% Cu / 0,54 g/t Au</b>  V&D (Py, Cp, tr Hm, tr Spt) <b>@ 0,25% Cu / 0,59 g/t Au</b>	40	92
					92
					94
					95
					94
114,50-156,10 m	P2	K (Mod) de 114,50 a 154,00 m FK/Pl parcial y en matrix, Bi sec fina en matrix, Mt/mafitos y vcp,  <b>117,70-118,00m Fx menor @ 65° (Gy-Cb)</b> <b>131,40-131,65m Fx menor @ 25°</b>	V&D (Py, Cp, tr Hm, tr Hm ) <b>@ 0,15% Cu / 0,24 g/t Au</b>	22	95
156,10-172,50 m	P0	FDA (Mod) de 154,00 a 172,50 m Ser-Cl/Pl, Cl/mafitos, Ser en halos de vn D, Arg por falla  <b>158,65-165,35m Fx mayor @ 5° techo, 10° piso (Cb-Cy-Gy)</b> <b>167,55-169,05m Fx mayor @ 40-65° (Cb-Cy)</b>	V&D (Py, Cp) <b>@ 0,11% Cu / 0,15 g/t Au</b>	20	92
					94

Resumen Log: 50.0 - 44.3					
Intervalo (m)	Litología	Alteración Dominante	Mineralización	ROCKG	ALTRG
6,00-44,00 m	P4	FDA (Mod-Stg) Ser-Cy/Pl y Ser-Cb/Pl, Cl/Pl/mafitos, Qz-ser en matrix parcial <b>34,90-38,10m Fx @ 10° (Cy-Cb)</b>	(0-6m) Relleno Aluvial (6-26m) Mod Lixiviación y ox. de sulfuros (6-26m) D (Tr Py, Lm) @ <0,10% Cu / 0,08 g/t Au (28-44m) V&D (Py, tr Cp, tr Hm, tr Spt) @ <0,10% Cu / 0,11 g/t Au	30	94
					92
					94
44,00-122,00 m	P2	K (Mod) 44,00-66,00 m FK/Pl parcial, Bio sec fina en matrix, Mt dis en matrix FDA (Mod) 66,00-110,00 m Ser-Cy/Pl, Cl/Pl sec parcial, Py/mafitos dis en matrix y en vcp K (Mod) 110,00-122,00 m FK/Pl parcial, Bi sec fina en matrix, Mt dis en matrix parcial y en Vcp, <b>52,50-53,50m Fx @ 10° (Cy-Cb)</b> <b>60,65-61,55m Fx @ 5° (Cy-Cb)</b> <b>79,10-79,65m Fx @ 10° (Cy-Cb)</b> <b>80,50-82,00m Fx @ 10° (Cy-Cb)</b> <b>105,00-105,80m Fx @ 50° (Cy-Cb)</b> <b>111,50-112,00m Fx menor @ 30° (Cy-Cb)</b> <b>113,40-114,25m Fx mayor @ 10° (Cy-Cb)</b>	(44-104m) V&D (Py, tr Cp, tr Hm, tr Spt) @ <0,10% Cu / 0,05 g/t Au (104-123m) V&D (Py, Cp, tr Spt) @ 0,13% Cu / 0,23 g/t Au	22	95
					94
					95
122,00-132,00 m	P4	FDA (Mod) de 122,00 a 132,00 m Qz-Ser parcial en matrix, Ser-Cy/Pl parcial, Cl/mafitos, <b>122,00 a 122,90 m Fx @ 5° (Cy, Cb)</b>	(Tr Py, tr Cp, tr Spt, tr Hm) @ <0,10% Cu / 0,05 g/t Au	30	92
132,00-198,00 m	P2	FDA (Mod) 132,00-180,00 m Qz-Ser parcial en matrix, Ser-Cy/Pl parcial, Cl/mafitos, K (Mod-Stg) 180,00-198,00 m FK/Pl parcial, Mt dis en matrix parcial y en Vcp, Bi en matrix y en Vn, <b>164,00-165,00m Fx menor @ 50° (Cy-Cb)</b>	V&D (Tr Py, tr Cp, tr Hm) @ <0,10% Cu / 0,22 g/t Au	22	94
198,00-240,70 m	P1	K (Mod-Stg) FK/Pl parcial, Bi sec fina en matrix, Mt dis en matrix, Qz+Mt dis en matrix, obliteracion de textura, <b>208,00-209,45m Fx @ 20° (Gy-Cy-Cb)</b> <b>242,35-242,60m Fx menor @ 60° (Gy-Cy-Cb)</b> <b>261,60-263,15m Fx menor @ 35°-45° (Cy-Gy-Cb)</b>	V&D (Tr Py, Cp, tr Hm, tr Bn) @ 0,46% Cu / 2,25 g/t Au	21	95
240,70-319,75 m	P2	K (Mod-Stg) de 240,70 a 304,00 m FK/Pl parcial, Patches de Bi sec fina en matrix, >>Vn Qz+Mt y Mt dis en matrix, K (Mod) de 304,00 a 319,75 m FK/Pl parcial y en matrix parcial, Por sectores patches de Mt-Bi sec-Cl en matrix, Tr vn Qz+Mt y Mt dis en matrix, <b>256,00-258m Fx menor @ 15°</b> <b>283,40-284,50m Fx menor @ 5° (Cy-Cb)</b>	V&D (Py, Cp, tr Hm, tr Spt) @ 0,16% Cu / 0,91 g/t Au	22	
319,75-380,10 m	Bx2	K (Mod) FK/Pl parcial y en matrix parcial, Por sectores patches de Mt-Bi sec-Cl en matrix, Tr vn Qz+Mt y Mt dis en matrix, V&D (Tr Py, Cp, tr Spt) @ 0,13% Cu / 0,39 g/t Au	41		
380,10-432,00 m	P2	K (Mod) FK/Pl parcial y en matrix parcial, Mt-Bi sec en matrix, <b>401,20-401,85m Fx menor @ 20° (Gy-Cb-Cy)</b> <b>403,00-403,20m Fx menor @ 15° (Gy-Cb-Cl-Cy)</b> <b>424,30-425,00m Fx menor @ 10° (Gy-Cb)</b>	V&D (Tr Py, Cp, tr Hm, tr Spt) @ 0,16% Cu / 0,29 g/t Au	22	
432,00-445,50 m	Bx3	K (Mod) FK/Pl parcial y en matrix parcial, >>Mt-Bi sec en matrix, V&D (Py, Cp, tr Hm) @ 0,23% Cu / 0,42 g/t Au	42		
445,50-451,50 m	P0	K (Mod) FK/Pl parcial y en matrix parcial, >>Mt-Bi sec en matrix, <b>440,60-442,30m Fx @ 5° (Cb-Cy)</b> <b>445,50-451,50m ZFc @ 5° (Gy-Cb-Cy)</b>	V&D (Py, tr Cp) @ <0,10% Cu / 0,11 g/t Au	20	

Resumen Log: 53.0 - 42.4					
Intervalo (m)	Litología	Alteración Dominante	Mineralización	ROCKG	ALTRG
4,50-31,30 m	P2	FDA (Mod-Stg) 4,50-20,00 m Ser-Cy/Pl y Ser-Cl / mafitos, K (Mod) 20-31,30 m Mt en vn y Vcp y >> en parches dis en matrix, Bi sec fina en matrix/mafitos,  <b>20,10m Fx menor @ 10° (Cy-Oxidos)</b> <b>22,80-23,00m Fx menor @ 30° (Cy-Oxidos)</b> <b>24,90-25,00m Fx menor @ 30° (Cy-Oxidos)</b> <b>27,70-27,90m Fx menor @ 100° (Cy-Lm)</b>	(0-4,50m) Relleno Aluvial (4,5-30m) Mod Lixiviación y ox, de sulfuros V&D (Py, Lm, Gt, Cp, tr Spt) <b>@ 0,11% Cu / 0,22 g/t Au</b>	22	94
					95
31,30-98,10 m	Bx1	K(Mod-Stg) Bi sec en matrix/mafitos, Mt en vcp, parches y dis en matrix FK/Pl parcial y en matrix en fregmentos,  <b>53,10-53,40m Fx menor @ 60° (Cy-Cb)</b>	V&D (Py, Cp, tr Hm, tr Spt) <b>@ 0,16% Cu / 0,20 g/t Au</b>	40	
98,10-229,50m	P2	FDA (Mod-Stg) >>Ser-Cy-Cb/Pl, Ser-Cl/mafitos, Qz-Ser en matrix parcial, Ser en halos en vn tipo D,  <b>109,15-109,30m Fx menor @ 30°</b> <b>113,05-113,70m Fx menor @ 5° (Gy-Cb)</b> <b>114,05-118m Fx menor @ 0° (Gy-Cb)</b> <b>162,90-164,10m Fx Mod Fc @ 40-60° (Gy-Cb)</b> <b>175,50-176,40m Fx menor @ 20° (Gy-Cb)</b> <b>180,30-180,60m Fx menor @ 40° (Gy-Cb)</b> <b>190,80m Fx menor @ 5° (Gy-Cb)</b> <b>221-10-221,50m Bx de Fx @ 20° (Qz-Cb)</b>	V&D (Py, tr Cp, tr Hm) <b>@ &lt;0,10% Cu / 0,10 g/t Au</b>	22	94
					92
					94