



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

DISTRIBUCIÓN DEL MOLIBDENO Y RENIO EN EL DEPÓSITO LOS SULFATOS, REGIÓN METROPOLITANA, CHILE

RAFAEL NICOLÁS DIÉGUEZ FRANZANI

MEMORIA PARA OPTAR EL TÍTULO DE GEÓLOGO

PROFESOR GUÍA:
FERNANDO BARRA PANTOJA

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
IVÁN VELA ROBERTS
MARTIN REICH MORALES

ESTE TRABAJO HA SIDO FINANCIADO POR ANGLO AMERICAN

SANTIAGO DE CHILE
2014

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR EL TÍTULO DE: Geólogo

POR: Rafael Nicolás Diéguez Franzani

FECHA: 12/06/2014

PROFESOR GUÍA: Fernando Barra Pantoja

El presente trabajo muestra el resultado del estudio realizado sobre la distribución del molibdeno y renio en el depósito Los Sulfatos, ubicado en el distrito Río Blanco-Los Bronces, región Metropolitana de Chile. Aquí se busca establecer la abundancia y distribución del renio en base a su relación con la molibdenita, para lo que se realizó un estudio utilizando dos tipos de muestras: rocas y pulpas, ambas obtenidas a partir de los sondeos disponibles. Con las muestras de roca se caracterizó la ocurrencia de la molibdenita, su química mediante ICP-MS, ICP-AES e INAA, el politipo de este mineral con XRD y las edades de la mineralización de molibdeno con geocronología Re-Os en dicho mineral. Las muestras de pulpa se usaron para revisar la distribución del renio en el depósito, determinando las concentraciones mediante ICP-MS, con el objetivo de encontrar controles litológicos o de alteración. Además, con estos datos, se generó un modelo tridimensional de la distribución de renio.

De los resultados obtenidos se concluye que los sectores que presentan mayor concentración de renio son aquellos que pertenecen a litologías tipo pórfido y andesitas, y a las alteraciones sericitita y potásica (biotita). Esto es consecuente con estudios anteriores y muestra que las molibdenitas aumentan su contenido de Re en la medida que la temperatura de formación sea menor, es decir, pasando de alteraciones de mayor a menor temperatura, este mineral tiende a aumentar su contenido de Re.

Las principales ocurrencias de la mineralización de molibdeno son: molibdenita diseminada, vetillas de molibdenita y vetillas Qz-Anh-Mo-Cpy. Las edades obtenidas corresponden a ~7,1 Ma en vetilla de molibdenita, ~6,7 Ma y ~6,4 Ma en vetillas de Qz-Anh-Mo-Cpy, lo que muestra un periodo de actividad hidrotermal y de mineralización de al menos 1,2 millones de años, manifestándose tanto en pórfidos como en brechas magmáticas e hidrotermales. El control del politipo sobre la abundancia de Re en las molibdenitas no es claro, ya que todas corresponden al politipo 2H y las concentraciones de Re son variadas.

A partir del modelo de distribución de renio, el que está basado en 231 muestras, se infiere que la mayor cantidad de Re se encuentra en el sector de Los Sulfatos acompañando al Mo, especialmente focalizado en el Pórfido Intermineral Tardío. Este modelo preliminar es una primera aproximación, la cual debe ser trabajada contando con información geometalúrgica y un mayor número de muestras, para así definir zonas de interés económico y confirmar las tendencias observadas. Finalmente, es importante destacar que Los Sulfatos presenta concentraciones de Re importantes donde las rocas tienen un promedio de 0,5 ppm de Re y las molibdenitas presentan valores sobre los 100 ppm de Re.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la empresa Anglo American por el financiamiento total de esta memoria y a los geólogos, Marcial Pablo y Jorge Zamorano por su eterno y constante apoyo, a Iván Vela por siempre guiar el trabajo y, por supuesto, a mi profesor guía Fernando Barra por sus consejos, supervisión y apoyo. También agradezco a los ayudantes, Francisco Carmona, Mauricio Fuentes y Nelson Iriarte, personas que con su ayuda hicieron posible este trabajo.

Extiendo el agradecimiento a mis padres, Gabriel y Pamela, por su apoyo durante estos seis años de estudios en la universidad y por haber hecho posible que estudiara la carrera que desde pequeño llamó mi atención. Por último, pero no menos importante, agradezco a mi polola, Roxana Alonso, por subirme los ánimos y estar siempre dispuesta a ayudarme en lo que necesitara.

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	1
1.1.	CONTEXTUALIZACIÓN.....	1
1.2.	HIPÓTESIS Y OBJETIVOS.....	1
1.2.1.	HIPÓTESIS DE TRABAJO.....	1
1.2.2.	OBJETIVO GENERAL	2
1.2.3.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
1.3.	UBICACIÓN Y VÍAS DE ACCESO	2
2.	ANTECEDENTES.....	3
2.1.	TRABAJOS ANTERIORES.....	3
2.2.	EL MOLIBDENO	4
2.2.1.	GENERALIDADES.....	4
2.2.2.	COMPORTAMIENTO GEOQUÍMICO DEL MOLIBDENO	5
2.2.3.	COMPORTAMIENTO DEL MOLIBDENO EN PÓRFIDOS	6
2.2.4.	LA MOLIBDENITA.....	8
2.2.5.	DISTRIBUCIÓN, PRODUCCIÓN Y RESERVAS	8
2.2.6.	MOLIBDENO EN CHILE.....	9
2.2.7.	FORMA DE EXTRACCIÓN.....	11
2.2.8.	USOS.....	12
2.3.	EL RENIO.....	13
2.3.1.	GENERALIDADES.....	13
2.3.2.	DISTRIBUCIÓN, PRODUCCIÓN Y RESERVAS	13
2.3.3.	EN CHILE.....	14
2.3.3.	FORMA DE EXTRACCIÓN.....	15
2.3.4.	USOS.....	16
3.	MARCO GEOLÓGICO	17
3.1.	GEOLOGÍA REGIONAL.....	17
3.2.	GEOLOGÍA DISTRITAL.....	18
3.2.1.	BLOQUE ORTIGA- LOS PICHES	19
3.2.2.	BLOQUE SAN MANUEL-EL PLOMO	21
3.2.3.	BLOQUE RÍO BLANCO-LOS BRONCES-LOS SULFATOS	21

3.3.	GEOLOGÍA DE LOS SULFATOS	22
3.3.1.	ROCAS ESTRATIFICADAS - UNIDAD ANDESITA “AND”	23
3.3.2.	ROCAS INTRUSIVAS	23
3.3.2.1.	CUARZOMONZONITA FINA “QMF”	24
3.3.2.2.	PÓRFIDO INTERMINERAL PRINCIPAL “PIP”	24
3.3.2.3.	PÓRFIDO INTERMINERAL TARDÍO “PIT”	25
3.3.2.4.	PÓRFIDO POSTMINERAL “PPM”	26
3.3.3.	BRECHAS	27
3.3.3.1.	BRECHA MAGMÁTICA “BXM”	27
3.3.3.2.	BRECHA DE TURMALINA “BXT”	27
3.3.4.	ALTERACIÓN HIDROTERMAL	28
3.3.4.1.	ALTERACIÓN POTÁSICA	28
3.3.4.1.1.	FELDESPATO POTÁSICO	28
3.3.4.1.2.	BIOTITA SECUNDARIA	28
3.3.4.2.	ALTERACIÓN PROPILÍTICA	29
3.3.4.3.	CLORITIZACIÓN	29
3.3.4.4.	ALTERACIÓN SERICITA	29
3.3.4.5.	ALTERACIÓN SERICITA-TURMALINA	30
3.3.4.6.	ALTERACIÓN ARGÍLICA	30
3.3.5.	EVOLUCIÓN Y PARAGÉNESIS	30
4.	METODOLOGÍA	32
4.1.	SELECCIÓN DE MUESTRAS	32
4.1.1.	MUESTRAS DE ROCA	32
4.1.1.1.	CORTES TRANSPARENTE-PULIDOS	41
4.1.1.2.	DIFRACCIÓN DE RAYOS X (XRD)	41
4.1.1.3.	GEOCROLOGÍA Re-Os DE MOLIBDENITAS	41
4.1.1.4.	ANÁLISIS QUÍMICO DE LAS ROCAS	42
4.1.1.5.	ANÁLISIS QUÍMICO DE LAS MOLIBDENITAS	42
4.1.2.	MUESTRAS DE PULPA	42
5.	RESULTADOS	43
5.1.	DESCRIPCIONES	43
5.1.1.	MOLIBDENITA DISEMINADA	43
5.1.2.	VETILLAS DE MOLIBDENITA	45

5.1.3.	VETILLAS DE Qz-Anh-Mo-Cpy.....	47
5.2.	DIFRACCIÓN DE RAYOS X.....	49
5.3.	DATACIÓN Re-Os EN MOLIBDENITA.....	50
5.4.	ANÁLISIS QUÍMICO DE LAS ROCAS.....	50
5.5.	ANÁLISIS QUÍMICO DE MOLIBDENITA.....	51
5.6.	MUESTRAS DE PULPA.....	52
5.6.1.	ESTADÍSTICAS GENERALES.....	53
5.7.	MODELO DE DISTRIBUCIÓN DEL RENIO.....	54
6.	DISCUSIONES.....	58
6.1.	DESCRIPCIONES.....	58
6.2.	DIFRACCIÓN DE RAYOS X.....	58
6.3.	DATACIÓN Re-Os EN MOLIBDENITA.....	58
6.3.1.	COMPARACIÓN CON OTROS SECTORES DEL DISTRITO.....	59
6.3.2.	ABUNDANCIA DE Re EN MUESTRAS ANALIZADAS Y DEL DISTRITO.....	59
6.4.	ANÁLISIS QUÍMICO DE ROCA TOTAL.....	60
6.5.	ANÁLISIS QUÍMICO DE MOLIBDENITA.....	61
6.6.	MUESTRAS DE PULPA.....	62
6.6.1.	DATOS SEGÚN LA LITOLOGÍA.....	63
6.6.2.	POR ALTERACIÓN.....	65
6.7.	MODELO DE DISTRIBUCIÓN DE Re.....	67
6.7.1.	SECCIONES DE LITOLOGÍA.....	70
6.7.2.	SECCIONES DE ALTERACIÓN.....	70
7.	CONCLUSIONES.....	75
8.	BIBLIOGRAFÍA.....	77

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Propiedades físicas y químicas del molibdeno.....	4
Tabla 2. Producción y reservas mundiales de Mo.....	10
Tabla 3. Propiedades químicas y físicas del renio.....	13
Tabla 4. Producción y reservas mundiales de renio.....	14
Tabla 5. Resumen de las concentraciones de renio de yacimientos tipo pórfido de cobre de Chile.....	14
Tabla 6. Concentraciones de Re mediante otras metodologías.....	15
Tabla 7. Concentración de Re en concentrados de molibdeno mensuales.....	16
Tabla 8. Muestras seleccionadas y metodologías aplicadas.....	34
Tabla 9. Detalle de muestras de geocronología.....	41
Tabla 10. Resultados de análisis por difracción de rayos X.....	49
Tabla 11. Edades Re-Os de las muestras analizadas.....	50
Tabla 12. Abundancia de Mo y Re en las pulpas correspondientes a las muestras tomadas.....	50
Tabla 13. Elementos de interés analizados en el concentrado manual de molibdenita.....	52
Tabla 14. Cantidad de muestras de pulpa para cada litología y alteración.....	52
Tabla 15. Valores promedio para Mo y Re y su comparación con el planeta y otros yacimientos.....	53
Tabla 16. Parámetros para el modelo de distribución de renio.....	54
Tabla 17. Minerales específicos de cada familia encontrados en las muestras.....	58
Tabla 18. Concentraciones de re en molibdenitas datadas en distintos sectores del Distrito Río Blanco Los Bronces.....	60
Tabla 19. Valores promedio de las muestras y la corteza terrestre.....	61
Tabla 20. Valores promedio de Re y Mo según el rango de leyes Mo anteriores.....	64
Tabla 21. Valores promedio de Re y Mo según el rango de leyes Mo anteriores.....	66

INDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1. Mapa de la ubicación del depósito Los Sulfatos.....	2
Figura 2. Diagrama Eh-pH de especies de molibdeno a 200°C y 400°C.....	5
Figura 3. Concentraciones de Mo, Ca vs pH.....	6
Figura 4. Esquema de las celdas de cada polítipo de molibdenita.....	9
Figura 5. Diagrama del proceso metalúrgico de extracción de molibdeno de la Planta de Molibdeno de la Planta Las Tórtolas.....	12
Figura 6. Ubicación del Distrito Río Blanco-Los Bronces en la franja metalogénica Neógena.....	18
Figura 7. Ubicación del Distrito Río Blanco-Los Bronces. Se observa la subducción de la dorsal de Juan Fernández.....	19
Figura 8. Mapa geológico del Distrito Río Blanco-Los Bronces.....	20
Figura 9. Mapa geológico de superficie.....	22
Figura 10. Unidades litológicas del depósito Los Sulfatos.....	23
Figura 11. Imagen de muestra de mano de la Unidad Andesita (AND).....	24
Figura 12. A Imagen de muestra de mano de la Unidad Cuarzomonzonita (QMF).....	24
Figura 13. Imagen de muestras de mano de la Unidad Pórfido Intermineral Principal (PIP).....	25
Figura 14. Imagen de muestras de mano de la Unidad Pórfido Intermineral Tardío (PIT).....	26
Figura 15. Imagen de muestra de mano de la Unidad Pórfido Postmineral (PPM).....	26
Figura 16. Imagen de muestras de mano de la Unidad Brecha Magmática (BXM).....	27
Figura 17. Imagen de muestras de mano de la Unidad Brecha de Turmalina (BXT).....	28

Figura 18. Sección de las alteraciones presentes en el depósito.....	29
Figura 19. Esquema temporal de la evolución y paragénesis de litologías y eventos mineralizadores	31
Figura 20. Ubicación en planta de las muestras seleccionadas	33
Figura 21. Ubicación en profundidad de las muestras seleccionadas	36
Figura 22. Sección AA' de litología con la ubicación de las muestras.....	37
Figura 23. Sección AA' de alteración con la ubicación de las muestras.....	38
Figura 24. Sección BB' de litología con la ubicación de las muestras.....	39
Figura 25. Sección BB' de alteración con la ubicación de las muestras.....	40
Figura 26. Distribución de las muestras de pulpa seleccionadas según su concentración de Mo.....	43
Figura 27. Fotomicrografía de la muestra RESUL01 a luz reflejada, aumento 50X y nicoles paralelos. Molibdenita diseminada.....	44
Figura 28. Imagen macroscópica de muestra RESUL06. Molibdenita diseminada.....	44
Figura 29. Imagen macroscópica de la muestra RESUL12. Vetillas de molibdenita.....	45
Figura 30. Fotomicrografía de la muestra RESUL12 a luz reflejada, aumento 100X y nicoles paralelos. Vetilla de molibdenita.....	46
Figura 31. Imagen macroscópica de muestra RESUL04. Molibdenita rodeando clastos.....	46
Figura 32. Imagen macroscópica de la muestra RESUL10. Vetilla Qz-Mo±Cpy±Py.....	47
Figura 33. Imagen macroscópica de la muestra RESUL13. Vetilla Qz-Mo y Mo diseminada en la roca.....	48
Figura 34. Fotomicrografía de la muestra RESUL09 a luz reflejada, aumento 50X y nicoles paralelos. Vetilla Anh-Mo±Qz±Cpy.....	48
Figura 35. Imagen macroscópica de la muestra RESUL11.....	49
Figura 36. (A) Histograma de leyes de Re. (B) Histograma de leyes de Mo.....	53
Figura 37. Gráfico de dispersión Mo vs Re de todas las muestras de pulpa.....	54
Figura 38. Envoltente 1,3 ppm de Re.....	55
Figura 39. Envoltente 0,78 ppm de Re.....	56
Figura 40. Envoltente 0,42 ppm de Re.....	56
Figura 41. Sección del modelo de bloques de leyes de Cu en AA'.....	57
Figura 42. Paragénesis y resultados obtenidos.....	59
Figura 43. Gráfico Re vs Mo de las pulpas.....	61
Figura 44. Distribución espacial de las muestras de pulpa según su concentración de renio.....	62
Figura 45. Gráfico de dispersión Mo vs Re por litología.....	63
Figura 46. (A) Promedios de Re por litología. (B) Promedios de Mo por litología.....	64
Figura 47. Re vs Mo por alteración.....	65
Figura 48. (A) Promedios de Re por alteración. (B) Promedios de Mo por alteración.....	66
Figura 49. Secciones de comparación entre envoltentes y modelo de bloques de Mo.....	67
Figura 50. Sección CC'.....	68
Figura 51. Sección DD'.....	68
Figura 52. Sección EE'.....	69
Figura 53. Sección FF'.....	69
Figura 54. Sección AA' de litología mostrando las envoltentes de distribución de renio.....	71
Figura 55. Sección BB' de litología mostrando las envoltentes de distribución de renio.....	72
Figura 56. Sección AA' de alteración mostrando las envoltentes de la distribución de renio.....	73
Figura 57. Sección BB' de alteración mostrando las envoltentes de distribución de renio.....	74

1. INTRODUCCIÓN

1.1. CONTEXTUALIZACIÓN

El depósito Los Sulfatos corresponde a un yacimiento tipo pórfido cuprífero conformado por brechas magmáticas e hidrotermales y pórfidos Cu-Mo de alta ley. Se considera uno de los depósitos más grandes del país con un recurso de 1.200 Mt de 1,46% de Cu y 0,02% de Mo y un potencial de 4.000 a 5.000 Mt de Cu de 0,8 a 1,0% de ley (Irrarázaval et al. 2010). Se ubica en el Distrito Río Blanco – Los Bronces, donde actualmente existen dos minas activas, Los Bronces, perteneciente a la Compañía Minera Anglo American y Andina, perteneciente a la Corporación Nacional del Cobre (CODELCO).

Debido a la escasa información existente respecto a la concentración y distribución de Re en depósitos tipo pórfido cuprífero y su importancia como elemento de interés comercial, se caracterizó la distribución de molibdenita y Re en el depósito Los Sulfatos. En la actualidad la principal metodología de estudio es la determinación directa de la concentración de Re en el concentrado de molibdenita. Sin embargo, para utilizar esta metodología se necesita una producción constante de concentrados. A pesar de ello se consideró necesario realizar un estudio piloto de determinación de la distribución del Re y los factores que la controlan con el propósito de tener una primera visión de su distribución y ocurrencia in situ en el depósito en una etapa temprana de reconocimiento.

En este trabajo se utilizaron diversas técnicas analíticas tales como: Espectrometría de Masas (*Inductively coupled plasma mass spectrometry* - ICP-MS), Espectrometría de Emisión Óptica (*Inductively coupled plasma atomic emission spectrometry* - ICP-AES), Difracción de Rayos X (*X-ray diffraction* - XRD), Activación Neutrónica instrumental (*Instrumental neutron activation analysis* - INAA) y geocronología Re-Os en molibdenitas. Esto para determinar, en conjunto, la presencia de molibdenita y concentración del Re en el depósito y establecer si existe una relación entre temporalidad y abundancia del Re. Estos análisis, junto a una caracterización mineral y química de las distintas unidades geológicas y de las muestras a estudiar, permitieron obtener un modelo de distribución del Re, que servirá como información complementaria y una primera aproximación para el desarrollo de la exploración del mineral. Por último, la metodología desarrollada en este trabajo para la determinación de la distribución y concentración del Re podrá ser utilizada en otros proyectos mineros en etapas similares de estudio.

1.2. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

1.2.1. HIPÓTESIS DE TRABAJO

Basado en los trabajos de Berzina et al. (2005) y Castillo (2012) se espera que litologías porfídicas y con alteraciones sericitica-clorítica presenten mayores contenidos de renio. Por otro lado, en las alteraciones de mayor temperatura (potásica) se presentarán menores concentraciones. Además, según Newberry et al. (1979a, b), se espera que en presencia de altas concentraciones de Re el politipo de la molibdenita más abundante sea el 3R, por su alto contenido de impurezas, en especial el Re.

1.2.2. OBJETIVO GENERAL

Estudiar la distribución de molibdenita y sus características en el depósito, además determinar la concentración del Re asociada a este mineral y su distribución general en el Los Sulfatos.

1.2.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la distribución y forma de ocurrencia de la molibdenita en el depósito.
- Establecer la relación entre la molibdenita con las unidades litológicas y las alteraciones.
- Caracterizar la ocurrencia de la molibdenita (tipo de vetillas), sus características mineralógicas (politipo y química) y su contenido de Re.
- Determinar las edades de los eventos mineralizadores de la molibdenita y su relación con el Re.
- Confeccionar un modelo tridimensional preliminar de la distribución del Re.

1.3. UBICACIÓN Y VÍAS DE ACCESO

El depósito Los Sulfatos se ubica en la Cordillera de los Andes en la región Metropolitana de Chile, a 5 km al sureste de la mina Los Bronces, la que se ubica a 50 km al noreste de Santiago entre las coordenadas UTM N-6.327.200-6.323.800 y E-383.200-386.000 a una altura de 4250 msnm.

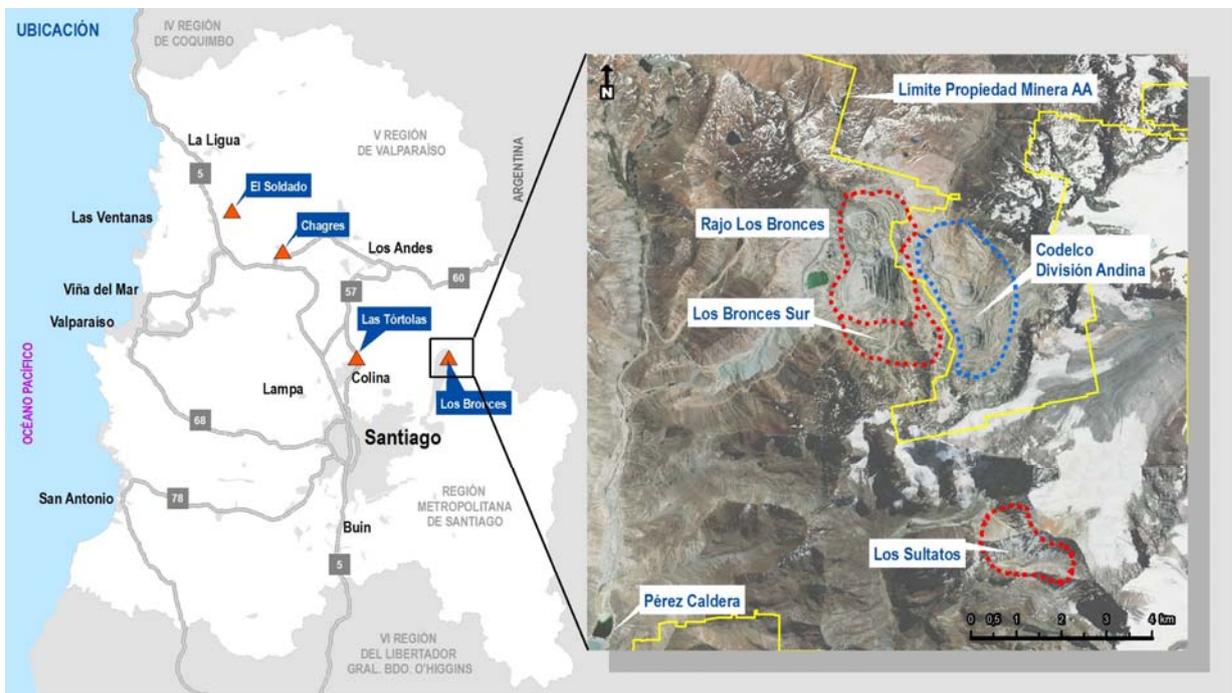


Figura 1. Mapa de la ubicación del depósito Los Sulfatos.

El único modo de llegar a Los Sulfatos es mediante helicóptero, ya que no existen rutas terrestres.

2. ANTECEDENTES

2.1. TRABAJOS ANTERIORES

Newberry (1979a, b) estudia los politipos de molibdenita y las causas de este polimorfismo (2H y 3R) considerando los contenidos de impurezas, los estados de sulfuración y temperaturas de formación. Se señala que la formación del politipo 3R no está relacionada con la fugacidad de azufre o la temperatura de formación sino que con el contenido de impurezas y además destaca que no hay una diferencia significativa en la variación de composición de las molibdenitas analizadas. Este autor concluye que existe un orden decreciente de abundancia de impurezas en las molibdenitas del tipo 3R y que corresponden de mayor a menor a Re, Sn, Ti, Bi, Fe, W.

Newberry (1979b) discute sobre el contenido de Re según el politipo de molibdenita en yacimientos tipo pórfidos de Cu, pórfidos de Mo y skarns. Se establece que la abundancia de Re y el politipo 3R crecen con la duración de los primeros estadios de mineralización.

Berzina et al. (2005) estudia la distribución de renio y molibdenita en pórfidos de Rusia y Mongolia donde busca encontrar las razones de la diferencia de concentración de renio en los depósitos. El estudio se basó en determinar el contenido de Re en molibdenitas mediante ICP-MS y comparar los contenidos de Re en los concentrados de pórfidos Cu-Mo Erdenetuin-Obo y pórfidos Mo-Cu (Zhireken, Shakhtama y Sora).

Estos autores concluyen que las molibdenitas provenientes de depósitos tipo pórfido de Cu-Mo y su contenido de Re se pueden vincular a la composición del magma parental, como también a su fraccionamiento. Esto acompañado de las variaciones de las condiciones fisicoquímicas de la cristalización tales como: fugacidad de oxígeno, actividad del cloro, presión y temperatura influyen en el politipo de molibdenita que finalmente cristaliza. Dentro de las conclusiones del estudio se destaca: (1) la relación entre la temperatura de la alteración y el contenido de Re, donde en la alteración potásica es más bajo en relación a las rocas con alteración cuarzo-sericítica; (2) posible importancia de la actividad de cloro en el transporte hidrotermal del Re y (3) que el contenido de Re dependerá de la temperatura de formación de la molibdenita, mencionando que se concentra mejor entre 400-500 °C

Castillo (2012) realiza un estudio de la distribución de renio en el depósito de San Enrique Monolito, ubicado al sur de la mina Los Bronces. Aplicó varias metodologías para comparar el contenido de Re en la alimentación y en concentrados de molibdeno, analizando pulpas de roca de la alimentación (promedio de 0,112 ppm de Re) y concentrados manuales de molibdenita (promedio de 110 ppm de Re). En este trabajo se aprecia que los mayores contenidos de Re en la alimentación corresponden a rocas cuarzomonzoníticas con alteración sericítica-clorítica y las menores concentraciones en brechas con alteración potásica (biotita). Esto sugiere que las alteraciones de mayores temperaturas no son favorables para la concentración de Re.

Otra conclusión es la vinculación de las cloritas con la concentración de Re haciendo alusión a la actividad de cloro y comparando el resultado de este estudio con el de Berzina et al. (2005), que mencionan una mayor abundancia en alteraciones sericítica-clorítica.

Voudouris et al. (2009) estudia un prospecto en el norte de Grecia, donde hay renita y molibdenitas ricas en Re. Estas se presentan en vetillas de cuarzo con sulfuros de Fe-Cu, Pb, Sn;

óxidos con cloro, hematita, ilmenita y telurios de Bi, las cuales se asocian con alteraciones sericíticas y la transición a sericítica-sódica-potásica.

Inclusiones fluidas en cuarzo en vetillas de molibdenitas ricas en Re-renita indican que la renita y la molibdenita posiblemente precipitan a temperaturas menores a 400°C durante la fase de separación de los fluidos en condiciones relativamente oxidantes, con actividad de cloro elevada y soluciones hidrotermales relativamente ácidas. Sin embargo, la presencia de otros compuestos (óxidos de Pb y telurios) sugieren que la renita y la molibdenita pueden haber sido precipitadas directamente de los vapores de sublimación.

Voudouris et al. (2013) hace una actualización y revisión de otros pórfidos en Grecia describiendo la ocurrencia de las molibdenitas ricas en Re en los depósitos del noreste de Grecia, en las áreas de Sapes-Kirki-Esymi, Melitena y Maronia. Aquí las molibdenitas ricas en Re se presentan con pirita en alteraciones calcosódica, sódica-sericítica y sericítica alterando stocks porfídicos de composición grandiorítica-tonalítica y granítica. En los depósitos Pagoni Rachi y Sapes se presenta el mineral renita y sus intermedios con molibdenita, es decir, minerales con la fórmula química (Mo,Re)S₂ alcanzando composiciones de hasta un 46 wt % de Re. La conclusión más importante de este trabajo es el vínculo entre el Re y el Au donde se establece que el Re tiene afinidades con los depósitos Cu-Au.

2.2. EL MOLIBDENO

2.2.1. GENERALIDADES

El molibdeno es un metal de transición correspondiente al número 42 de la tabla periódica, de color plateado blanquecino, duro y con un alto punto de fusión por lo que es utilizado en la mayoría de las aleaciones. El vínculo de este elemento con el Re se expresa en la molibdenita, lo que es revisado más adelante.

Tabla 1. Propiedades físicas y químicas del molibdeno. Tomado de CRC Handbook of Chemistry and Physics (2012).

Molibdeno	
Símbolo	Mo
Número atómico	42
Clasificación de Goldschmidt	Siderófilo
Peso Atómico	95,96
Configuración electrónica	[Kr]4d ⁵ 5s ¹
Punto de fusión	2623°C
Punto de ebullición	4639°C
Valencias	+2,+3,+4,+5,+6

El Mo no se encuentra en estado nativo, sino presente en los minerales molibdenita (MoS₂), wulfenita (PbMoO₄) y powellita (CaMoO₄). En Chile principalmente se obtiene de la

molibdenita como un subproducto de la minería del cobre. En sus inicios fue confundida con el grafito o mineral de plomo hasta que en 1778 Carl Scheele reconoció la molibdenita y recién en 1782 pudo ser extraída en su forma pura por Peter Hjelm (CRC Handbook of Chemistry and Physics 2012).

2.2.2. COMPORTAMIENTO GEOQUÍMICO DEL MOLIBDENO

Los estados de oxidación del Mo son varios (Tabla 1), siendo el más común es el +6 en el trióxido de molibdeno (MoO_3), seguido del caso de la molibdenita con valencia +4. Los estados de oxidación más altos del molibdeno se dan en ambientes de alta temperatura, los que son oxidantes.

En la fase hidrotermal, a temperaturas relativamente bajas ($\sim 200^\circ\text{C}$), y valores de pH neutro el molibdeno sigue siendo soluble en la forma de tiomolibdatos (MoS_4^{2-}). A altas temperaturas ($\sim 400^\circ\text{C}$), el campo de los tiomolibdatos retrocede hacia el campo de valores de pH más básicos (Figura 2). La precipitación de molibdenita a 300°C , toma lugar bajo condiciones más ácidas, mientras que los molibdatos predominan bajo un régimen neutral (Wedepohl et al. 1978).

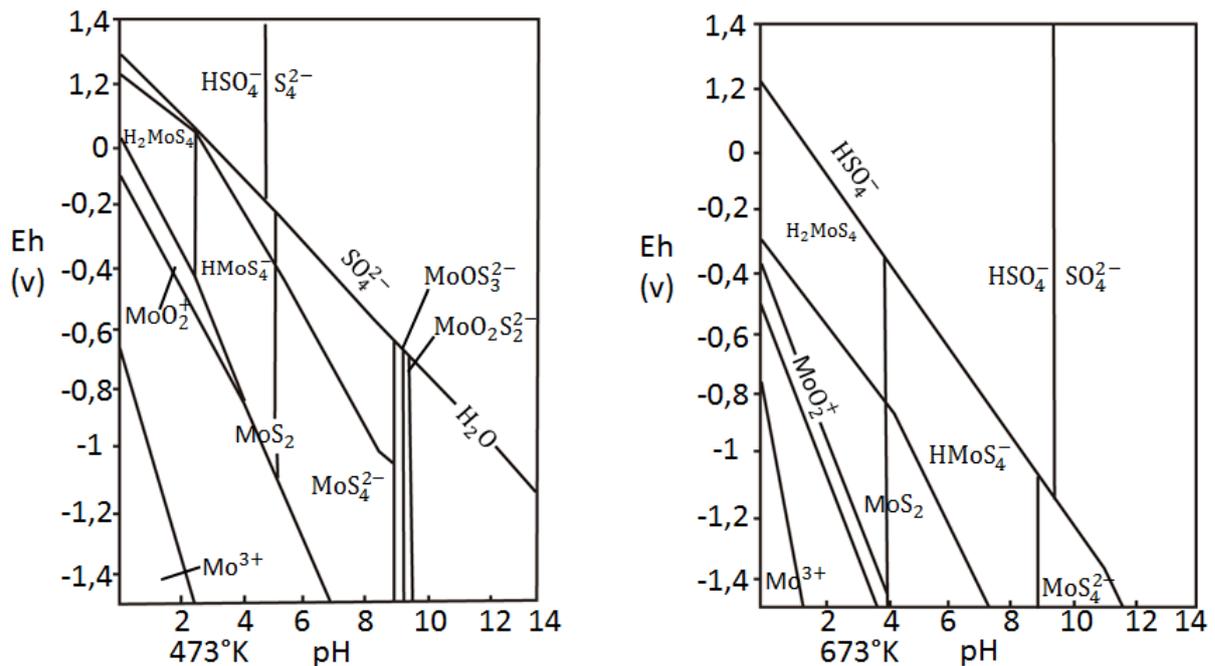


Figura 2. Diagrama Eh-pH de especies de molibdeno a 200°C y 400°C . Modificado de Wedepohl, 1978.

Kolonin et al. (1975) realiza un experimento que consta en medir las concentraciones de Mo, Ca y sulfuros a medida que se hace variar el pH de una solución hidrotermal. De esta manera, se observa en la Figura 3 como las concentraciones de Mo y S decrecen rápidamente con el incremento de acidez a partir de un $\text{pH} < 7$, lo cual confirma la precipitación de molibdenita (MoS_2), mientras que, el bajo contenido de Ca a un pH alcalino confirma la cristalización de powellita (CaMoO_4).

Los halogenuros de Mo se hidrolizan a valores de pH superiores a 3. No obstante, el molibdeno puede migrar en la fase hidrotermal como complejo con valencia +6. Debido a un incremento del H_2SO_4 cuando pasa a esta fase, el fluido se hidroliza produciendo que el transporte sea sólo posible como polisulfuros o como tiomolibdatos (estables en pH alcalinos). En cambio, en un medio fuertemente ácido el molibdeno puede estar presente como complejo H_2MoO_4 , el cual es destruido con el aumento del pH ($H_2MoO_4 \rightarrow MoO_4^{2-}$) (Kolonin et al. 1975).

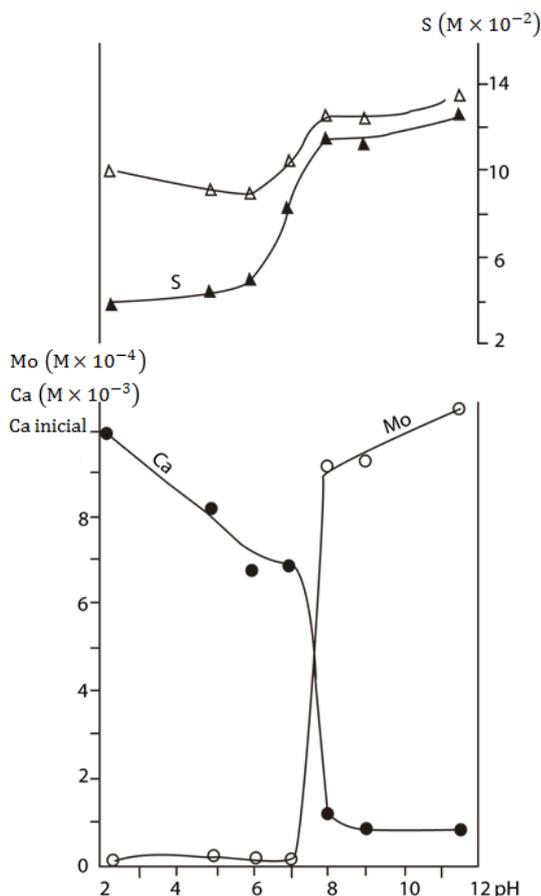


Figura 3. Concentraciones de Mo, Ca vs pH. Kolonin et al. (1975).

2.2.3. COMPORTAMIENTO DEL MOLIBDENO EN PÓRFIDOS

Entre los depósitos de tipo pórfido, la mayoría de los polimetálicos Cu-Mo-Au están asociados a composiciones intermedias de tipo subvolcánicas (por ejemplo, intrusiones de granodiorita, cuarzomonzonita) (Beane y Titley, 1981), mientras que para depósitos tipo pórfido de Mo (tipo Climax) se asocian a altos contenidos de sílice como intrusiones magmáticas riolíticas (White et al. 1981). En los depósitos de pórfido que contienen Cu y Mo, las relaciones paragenéticas de molibdenita y sulfuros de cobre involucran un amplio rango de tamaños desde vetas a yacimientos completos. Estas relaciones indican que la deposición de la molibdenita es posterior a la etapa principal de la precipitación de sulfuros de Cu-Fe±Au (Gustafson y Hunt, 1975; Ulrich y Heinrich, 2001; Rusk et al. 2008; Landtwing et al. 2010; Redmond y Einaudi, 2010; Sillitoe, 2010).

Datos provenientes de las razones Cu/Au, Cu/Mo y su relación con la ocurrencia de molibdenita son un indicador de importancia estadística y económica en los depósitos, pero las causas geológicas de su formación e interacción no se han establecido claramente. Las relaciones Cu/Au en depósitos tipo pórfido sugirieron que son influenciados por una combinación de procesos, incluyendo: (1) composición del magma, tal como la afinidad alcalina, estado redox, y la incorporación de fundidos de sulfuros (Sillitoe, 1997; Ulrich et al. 1999; Halter et al. 2002; Heinrich et al. 2004; Zajacz et al. 2010); (2) la profundidad de emplazamiento que afecta el grado de separación de fases de fluidos magmático-hidrotermales y la separación de metales (Simon et al. 2006), lo que explicaría por qué la mayoría de los pórfidos ricos en Au se emplazan relativamente a poca profundidad (Cox y Singer, 1988; Sillitoe, 1997; Landtwing et al. 2010; Murakami et al. 2010); y (3) un control mineralógico en la extracción selectiva de Au a partir de fluidos en solución sólida de sulfuros de Cu-Fe, en particular, bornita (Simon et al. 2000; Kesler et al. 2002).

Los factores que controlan la relación Cu/Mo y la ocurrencia de molibdenita en los pórfidos de Cu-Mo-Au siguen siendo aún más difíciles de determinar. La distribución de Mo en algunos depósitos muestra una correlación con la profundidad de formación, es decir, los depósitos profundos tienden a ser pobres en Au, pero normalmente tienen altos valores de Mo, como Butte, Montana (Singer et al. 2005; Rusk et al. 2008; Murakami et al. 2010). La evolución composicional de fluidos que forman depósitos de Mo muestran que los magmas deben haber experimentado un extenso fraccionamiento a escala de batolito por debajo de la corteza terrestre (Audetat y Pettke, 2003; Klemm et al. 2008), lo que puede contribuir al enriquecimiento de Mo incompatible en los líquidos residuales y explicar la asociación típica de Mo con magmas muy fraccionados (White et al. 1981; Wallace, 1995; Seedorff y Einaudi, 2004a; Audetat, 2010). En adición con un control de origen magmático, la precipitación selectiva de molibdenita de los fluidos magmáticos-hidrotermales en depósitos ricos en Mo podría ser un factor importante en la separación del metal. Análisis de inclusiones fluidas por Espectrometría de Masas por Ablación Láser (*Laser Ablation Inductive Coupled Plasma Mass Spectrometry* - LA-ICP-MS) en el depósito Questa, New Mexico mostró que los fluidos magmático-hidrotermales contienen más Cu que Mo, aunque la molibdenita se depositó sin un alto contenido de Cu (Klemm et al. 2008). Altas concentraciones de Mo en inclusiones fluidas apoyaron la interpretación de que la molibdenita precipitó predominantemente a partir de salmueras, mientras que el Cu se destiló selectivamente lejos de la región como una fase de vapor (Klemm et al. 2008).

A partir de experimentos hidrotermales, las especies de ácidos de molibdeno, como H_2MoO_4 , fueron sugeridas como importantes para el transporte de Mo en los fluidos hidrotermales de alta temperatura (Candela y Holland, 1984; Keppler y Wyllie, 1991; Rempel et al. 2006, 2008; Minubayeva y Seward, 2010). Mientras altas solubilidades de Mo de hasta 1,6% en peso fueron reportadas en soluciones salinas sin azufre (Ulrich y Mavrogenes, 2008), una menor solubilidad (menos de 1 ppm) se registró en experimentos de solubilidad multicomponente de azufre (Wood et al. 1987; Cao, 1989; Gu, 1993). El S es un elemento esencial para la precipitación económicamente significativa de molibdenita (MoS_2) a partir de fluidos hidrotermales. Con los avances analíticos de cuantificación de S en inclusiones fluidas en cuarzo por LA-ICP-MS (Guillong et al. 2008a; Seo et al. 2011), se demostró que los fluidos magmático-hidrotermales contienen suficiente azufre para precipitar sulfuros como por ejemplo, $CuFeS_2$ y MoS_2 , pero las concentraciones de S y los principales elementos de la calcopirita (Cu y Fe) son de magnitud similar (Seo et al. 2009). Esto abre la posibilidad de que la competencia entre los metales y el azufre podrían ser un factor limitante en la deposición de mineral y puede contribuir a la separación a gran escala de los metales en distintas fases minerales (Heinrich, 2006).

El depósito tipo pórfido Cu-Mo-Au Bingham Canyon es un ejemplo adecuado para comparar los mecanismos de precipitación de sulfuros de cobre y de molibdenita. Esto se debe a que registra etapas hidrotermales bien separadas de Cu-Au y de Mo. Así, Seo et al. (2012) concluye que a pesar de esta separación temporal y del tiempo de los eventos, la composición de los fluidos es similar con respecto a Mo y S y en menor grado Cu, y también su evolución. Estos fluidos magmáticos se enfriaron y se expandieron predominantemente en fase vapor y en menor medida en salmueras, donde gran parte de los metales fue precipitado a partir de la fase gaseosa. Los fluidos que corresponden a la etapa de Mo no son significativamente ricos en Mo y S. Se concluye, también, que un fluido oxidado y relativamente neutro favoreció la precipitación de calcopirita y bornita en la mineralización temprana e inicialmente suprimió la precipitación de molibdenita. En la etapa posterior, los fluidos pueden haber sido más ácidos y reducidos, lo que podría facilitar que el Mo y S sean los primeros en saturar en el fluido y facilitar la cristalización de molibdenita.

Con respecto al origen de los metales y azufre en pórfidos de Mo, la discusión está abierta. Audétat et al. (2010) resume este debate donde se propone que el Mo proviene de magmas máficos o que es predominantemente de origen cortical. Esta divergencia de opiniones se traduce en tres puntos principales: (1) ciertas rocas de la corteza tienen mayores concentraciones de Mo que rocas máficas (como las lutitas negras); (2) Múltiples pulsos de mineralización de Mo han tenido lugar en un periodo de mil millones de años lo que sugiere que bajo la fuente existe una anomalía de Mo de gran escala; (3) evidencia de interacción entre magmas máficos y félsicos en pórfidos de Mo, aunque está presente, es mucho más sutil que en pórfidos de Cu.

2.2.4. LA MOLIBDENITA

Este sulfuro perteneciente al sistema cristalográfico hexagonal se presenta de color negro a gris plomo azulado de brillo metálico, posee raya negra grisácea y verdosa en porcelana, con una dureza muy baja según la escala de Möhs de 1-1,5. Se presenta en cristales como placas hexagonales o prismas ligeramente cónicos cortos y es comúnmente exfoliable en masas o escamas (clivaje perfecto en {0001}). Esto produce que sea grasoso al tacto, incluso teniendo propiedades lubricantes. Una propiedad muy útil para reconocerla es que es séctil.

Este mineral se presenta en los polimorfos, 2H y 3R, los que se muestran en la Figura 4. La distribución espacial de esto ha generado varios estudios basados en las diferencias fisicoquímicas de estos politipos donde el foco se ha fijado en la cantidad de impurezas que se pueden presentar mayormente en un politipo con respecto al otro. En particular Newberry (1979a) propone que a mayor cantidad de impurezas, se prefiere el politipo 3R y reemplazan al molibdeno en la red cristalina. El estado de oxidación del Mo en la molibdenita es +4 y en la categoría impurezas de este mineral está el Re, el cual entra en la red cristalina en la posición del Mo (número de coordinación 6) con la misma valencia.

2.2.5. DISTRIBUCIÓN, PRODUCCIÓN Y RESERVAS

Los tres principales productores de Mo en el mundo corresponden a China, Estados Unidos y Chile. Se comercializa en distintos formatos dependiendo del tipo de industria, los que corresponden a: óxido de molibdeno técnico en polvo, briquetas (industria siderúrgica); óxido de

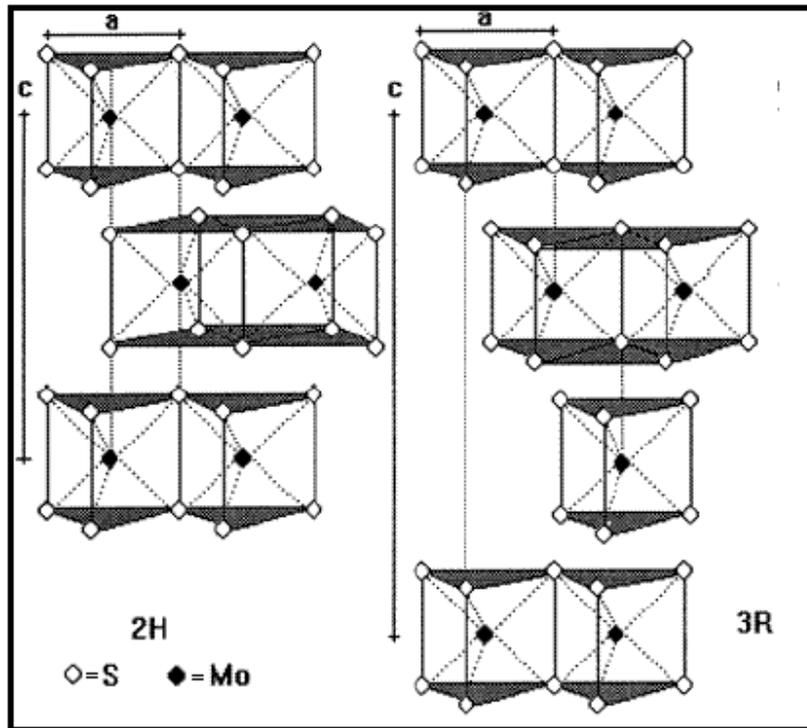


Figura 4. Esquema de las celdas de cada politipo de molibdenita. Modificado de Newberry (1979a).

molibdeno técnico alta solubilidad, puro grado sandy y puro grado floury, dimolibdato de amonio y heptamolibdato de amonio (industria química); y dióxido de molibdeno, molibdeno metálico en polvo, polvo de alta densidad, briquetas y briquetas grado al vacío (industria metálica/superalaciones). La Tabla 2 resume la producción y reservas mundiales de Mo.

El precio de este metal a partir del segundo semestre del 2013 ha estado decreciendo y su valor era de 9,52 USD/lb de óxido de molibdeno (25 de septiembre 2013). Recientemente está en alza y en el mes de febrero del 2014 su valor alcanzó los 9,84 USD/lb (<http://www.sonami.cl>).

2.2.6. MOLIBDENO EN CHILE

Las molibdenitas que se presentan en los pórfidos cupríferos del norte de Chile aparece en múltiples etapas de mineralización y eventualmente cada etapa tiene politipos cristalinos diferentes. Por otra parte se observa que en general en los yacimientos chilenos, no hay correlación entre los valores de Cu y Mo. Sin embargo, se observa que la mayor parte de los yacimientos muestran una relación de altos valores de Mo cuando los valores de cobre están sobre 0,5%.

Es difícil determinar que controla la mineralización de Mo y su comportamiento, ya que es posible que existan diferentes y/o varios eventos independientes que controlarían las leyes de Mo. Estas pueden ser levemente posteriores a las etapas del cobre, pero se observa una superposición de múltiples pulsos, cada uno aportando Cu y algo de Mo, o al menos removilizando parte del Mo, lo que borra y/o altera la evidencia. Con la información actual no se

puede establecer si el Mo se restringe preferencialmente a zonas de alteración hidrotermal típicas o sólo a algunos tipos litológicos.

Tabla 2. Producción y reservas mundiales de Mo.

País	Producción [ton]			Reservas [mil ton métricas]
	2011	2012	2013	
China	106.000	104.000	110.000	4.300
Estados Unidos	63.700	60.400	61.000	2.700
Chile	40.900	35.100	36.500	2.300
Perú	19.100	16.800	16.900	450
México	10.900	11.000	11.000	130
Canadá	8.400	9.000	9.000	220
Armenia	4.500	4.900	6.500	150
Irán	3.700	6.300	6.300	50
Turquía	-	5.000	5.000	100
Rusia	3.900	3.900	4.800	250
Mongolia	1.960	1.900	2.000	160
Uzbekistán	550	550	550	60
Kirguistán	250	250	SD	100
Kazajstán	SD	SD	SD	130
Total	264.000	260.000	270.000	11.000

(redondeado)

Abreviaciones: SD = sin datos. U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, Molybdenum, January 2013 y 2014.

La descripción de la ocurrencia de mineralización de Mo se basa principalmente en la nomenclatura desarrollada en El Salvador, definida por Gustafson y Hunt (1975) y se adapta a las particularidades de cada depósito. En general, el aporte de la molibdenita diseminada en los depósitos es considerablemente menor si se compara con la fuente principal que son las vetillas tipo B, las que se disponen directamente entre los minerales de la roca alterada o bien sobre calcopirita diseminada. La mineralización diseminada en brechas aparece como laminillas discretas separadas en la matriz de las brechas, junto a los demás minerales que conforman el cemento. Sus tamaños varían entre 0,01 y 0,04 mm y en su asociación con otros minerales, en el 80% de los casos, la molibdenita está intercrecida con minerales no metálicos. Por otro lado, solo un 20% del volumen está asociado o adosado a la calcopirita.

Un caso peculiar de aparición de molibdenita en brechas la constituyen aquellas con matriz de molibdenita, cuerpos discretos más bien pequeños, presentes en varios yacimientos de este tipo, por ejemplo en Chuquicamata, Quebrada Blanca, Los Bronces, Río Blanco y El Teniente (Gestión Minera, 2008). En esos casos, los valores de Mo alcanzan entre 0,3 y 0,7% de MoT. Sin embargo, se mantiene la ocurrencia de molibdenita diseminada muy fina en la matriz. La mineralización en estructuras, se localiza en planos de fracturas y planos de estrías recubiertos de molibdenita, los que son deslizados debido a la característica de la molibdenita, cuyos cristales individuales en general siguen siendo finos. Este tipo de ocurrencia es muy llamativa, pero el contenido de molibdenita del sector es bajo. En el pórfido de Cu-Mo El Salvador se reportó que

las molibdenitas con este tipo de ocurrencia, contienen notablemente menor Re que las vetillas A y B, interpretándose como producto de lixiviación por acción supérgena (Gestión Minera, 2008).

2.2.7. FORMA DE EXTRACCIÓN

El material que entra a la concentradora de la Planta Las Tórtolas de Anglo American es transportado por el mineraducto que conecta Los Bronces con la planta como pulpa de roca. Esta pulpa contiene aproximadamente 50% de sólidos y llega a la planta Las Tórtolas, según describe Vergara (2011).

El circuito de flotación de la Planta de Molibdeno está formado por un banco de flotación diferencial de donde se obtiene el concentrado *Rougher*; un banco de flotación de primera limpieza y dos columnas de flotación de segunda limpieza. Los puntos de controles metalúrgicos se ilustran en la Figura 5.

La Planta de Molibdeno se alimenta con el concentrado colectivo de la planta concentradora de cobre, que físicamente lo aporta la descarga del espesador mixto, donde la pulpa tiene 50% de sólidos. Esta pulpa se envía al estanque acondicionador donde se agrega agua para el ajuste de porcentaje de sólidos, ácido sulfúrico (H_2SO_4) y sulfhidrato de sodio (NaSH) que son los reactivos que al reaccionar generan el gas que provoca la separación del concentrado de la molibdenita y el cobre. Para lograr esto existen controles en la Planta de Molibdeno donde se regula en forma rigurosa el pH, que no puede ser inferior a 7, ya que aumenta el riesgo de la formación excesiva de gas sulfhídrico. Desde el punto de vista operativo, existe otro control que corresponde al registro que entrega el medidor de potencial, el cual indica que se está trabajando en forma correcta. El control riguroso del pH obedece a que el gas sulfhídrico en concentraciones altas provoca la muerte.

Una vez acondicionada la pulpa, se envía a la etapa de flotación diferencial de la Planta de Molibdeno, donde las celdas *Rougher*, bien selladas, entregan el concentrado primario de la planta de molibdeno y el relave primario se envía al espesador de cobre, constituyendo con ello el concentrado final de cobre, que posteriormente es enviado a las etapas de separación sólido-líquido en el filtro hiperbárico. El producto final es transportado por camiones a la fundición de concentrados de Chagres.

El concentrado primario de la Planta de Molibdeno, entra a la etapa de flotación convencional de primera limpieza, donde el relave se transporta en contracorriente a la etapa de alimentación de la planta y cuyo concentrado alimenta las “celdas columnas”, donde se obtiene el concentrado de molibdeno. Este producto, va a otra etapa de separación sólido-líquido en el espesador de Mo, para luego pasar por la etapa de filtrado y secado, obteniéndose finalmente el concentrado con 50 a 52% de Mo, 1 a 3% de Cu y bajo 0,6% de Ca.

El concentrado de molibdenita se transporta en sacos de aproximadamente una tonelada hacia la planta de MOLYMET, quienes lo refinan y extraen los productos de valor comercial como Re, Cu y otros.

2.2.8. USOS

El Mo es un metal que se usa como materia prima para obtener aleaciones, entre la que destacan los aceros más resistentes. Alrededor de las dos terceras partes de este metal se usa para ese fin, conocido como acero inoxidable, con contenidos de hasta un 6%.

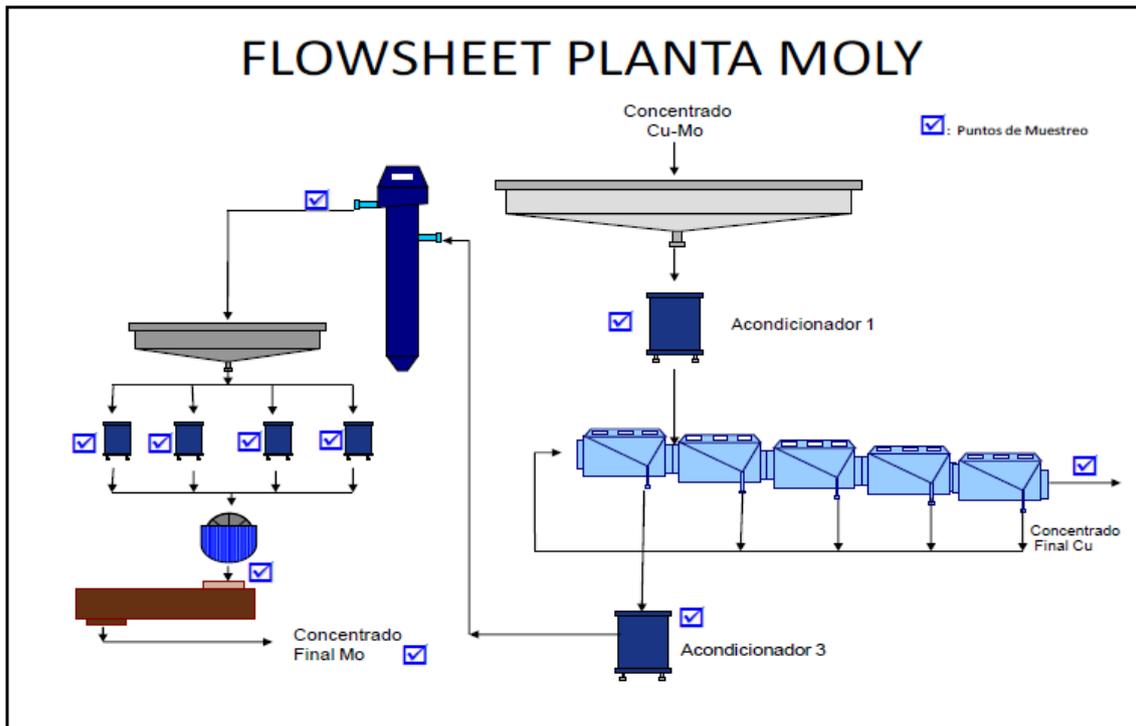


Figura 5. Diagrama del proceso metalúrgico de extracción de molibdeno de la Planta de Molibdeno de la Planta Las Tórtolas (Castillo 2012).

La aleación de acero soporta altas temperaturas y presiones, siendo muy resistente, por lo que se utiliza en la construcción, para fabricar piezas de aviones y piezas forjadas de automóviles. El alambre de molibdeno se usa en tubos electrónicos, y el metal sirve también como electrodo en los hornos de vidrio. Entre otros usos, se tiene la superaleación que se obtiene en base a níquel para obtener catalizadores que se usan en la remoción de azufre en la industria petrolera.

Es también utilizado en el proceso industrial de los lubricantes (el disulfuro de molibdeno es resistente a altas temperaturas, reduce el desgaste y la fricción de las piezas de los motores, como se puede dar en los frenos de los automóviles), en la fabricación de revestimientos y solventes, en la industria química (pigmentos para plásticos, pinturas y compuestos de caucho) y la electrónica (conductores eléctricos).

El Mo también es considerado un material estratégico y tiene múltiples aplicaciones en la industria aeroespacial, automotriz, herramientas quirúrgicas, además de ser usado en la fabricación de ampolletas (filamento), pantallas de LCD, tratamiento de aguas e incluso en la aplicación de láseres (<http://www.molymet.cl>).

2.3. EL RENIO

2.3.1. GENERALIDADES

El Re en su forma natural es un metal plateado blanquecino, refractario con propiedades bastante especiales, tales como un alto punto de ebullición y fusión, además con un isótopo (^{187}Re) con una larga vida media por lo que su uso es variado para la industria en aleaciones y geoquímica (datación radiométrica).

Tabla 3. Propiedades químicas y físicas del renio. CRC Handbook of Chemistry and Physics (2012).

Renio	
Símbolo	Re
Número atómico	75
Clasificación de Goldschmidt	Siderófilo
Peso atómico	186,207
Configuración electrónica	$[\text{Xe}]4f^{14}5d^56s^2$
Punto de fusión	3185°C
Punto de ebullición	5596°C
Valencias	-1, +1, +2, +3, +4, +5, +6, +7

Su descubrimiento se atribuye a los científicos Walter Noddack, Ida Tacke y Otto Berg quienes, en 1925, detectaron este elemento en menas de platino y columbita. Además, lo encontraron en los minerales gadolinita y molibdenita. Sin embargo, en 1908 el químico japonés Masataka Ogawa ya había descubierto este elemento, pero pensando que era otro, el tecnecio (CRC Handbook of Chemistry and Physics, 2012). El Re presente en la naturaleza es una mezcla de dos isótopos, ^{185}Re y ^{187}Re , de los cuales el ^{187}Re es radiogénico.

2.3.2. DISTRIBUCIÓN, PRODUCCIÓN Y RESERVAS

Con una abundancia promedio de 0,001 ppm en la corteza terrestre, este elemento es uno de los más escasos en esta capa de la Tierra. No existe de forma nativa o como compuesto, excepto en casos particulares como el Volcán Kudriavý, donde se encontró la fase mineral renita (ReS_2) (Korzhinsky et al. 2005).

La producción está concentrada principalmente en Chile, Estados Unidos y Polonia; y las reservas en Chile, Estados Unidos y Rusia (Tabla 4). El Re se comercializa en diversos formatos: briquetas del metal, polvo del metal, perrenato de amonio en polvo y ácido perrénico (<http://www.molymet.cl>).

El precio de este metal ha ido disminuyendo a lo largo de los años y en 2011 el perrenato de amonio alcanzó un valor promedio de USD\$4.360 por kilogramo, y los pellets un valor promedio de USD\$4.670 por kilogramo. En el año 2013 el perrenato de amonio comenzó con un

valor de USD\$3.800 el kilogramo y descendió a USD\$3.150 el kilogramo hasta fin de año. De igual forma el Re en forma de pellets comenzó con un valor de USD\$3.420 y descendió a un valor de USD\$2.980 por kilogramo (USGS, Rhenium, 2014).

Tabla 4. Producción y reservas mundiales de renio. U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, Rhenium, January 2013 y 2014

País	Producción [kg]			Reservas [kg]
	2011	2012	2013	
Chile	27.000	27.000	27.000	1.300.000
Estados Unidos	8.610	7.910	8.100	390.000
Polonia	6.000	6.200	6.000	SD
Uzbekistán	3.000	5.400	5.400	SD
Kazajstán	3.000	3.000	3.000	190.000
Armenia	600	600	350	95.000
Rusia	500	1.500	1.500	310.000
República de Corea	500	500	-	SD
Canadá	-	-	-	32.000
Perú	-	-	-	45.000
Otros países	1.500	1.200	1.500	91.000
Total (redondeado)	50.710	52.600	53.000	2.500.000

Abreviaciones: SD = sin datos.

2.3.3. EN CHILE

A nivel general, los datos publicados sobre concentración de Re en depósitos son escasos. Sin embargo, existen datos puntuales determinados principalmente con fines geocronológicos (Re-Os en molibdenitas) para cuantificar la edad de formación de la molibdenita. De esta forma se cuenta con un número limitado de datos, los que indican rangos relativamente amplios de concentraciones de Re en molibdenitas (Tabla 5 y 6).

Tabla 5. Resumen de las concentraciones de renio de yacimientos tipo pórfido de cobre de Chile.

Depósito	N° de muestras	Re [ppm]			Descripción	Referencia
		Promedio	Min	Max		
Complejo Toki	16	1168,96	20,90	3099,20	Anexo 1	Barra et al. (2013)
Chuquicamata	4	183,30	92,60	262,40	Anexo 1	Barra et al. (2013)
El Teniente	9	299,40	72,54	1153,66	Anexo 1	Maksaev et al. (2004)
Escondida	2	890,30	331,00	1449,50	Anexo 1	Romero et al. (2011)
Escondida Norte	3	944,00	432,50	1804,40	Anexo 1	Romero et al. (2011)
Andina	2	212,71	113,28	312,14	No específica	Mathur et al. (2001)

Depósito	N° de muestras	Promedio	Re [ppm]		Descripción	Referencia
			Min	Max		
Complejo Toki	16	1168,96	20,90	3099,20	Anexo 1	Barra et al. (2013)
Collahuasi	2	407,80	367,60	447,93	No específica	Mathur et al. (2001)
Los Sulfatos	5	571,28	33,5	1139,2	No específica	Ortuzar ~2005
Los Bronces	4	238,33	177,8	306,3	Anexo 1	Deckart et al. (2014)

Abreviaciones: TIMS: Thermal Ionization Mass Spectrometry.

En la Tabla 6, se muestra la abundancia de Re mediante otras metodologías. En el caso de San Enrique Monolito se cuenta con Re medido en la alimentación (roca total), pero se observa que la variabilidad es muy alta, siendo el valor de la desviación estándar 0,16 lo que es mayor que el valor promedio. También se cuenta con Re medido en concentrados manuales de molibdenita, donde se observa también una variabilidad, pero mucho menor, siendo la desviación estándar 3 veces menor que el valor promedio. Por otro lado se cuenta con datos de Re en concentrados de molibdeno de Los Bronces; aquí la variación es inferior que en ambos casos anteriores siendo 4 veces menor que el valor promedio.

Tabla 6. Concentraciones de Re mediante otras metodologías. (1) Re promedio en roca total (alimentación); (2) Re promedio en el concentrado manual de molibdenita; (3) Re promedio en concentrado de molibdeno.

Depósito	N° de muestras	Re [ppm]				Descripción	Método
		Promedio	D.S	Min	Max		
San Enrique Monolito (1)	28	0,112	0,16	0,002	0,628	Anexo 1	ICP-MS
San Enrique Monolito (2)	3	116,30	35,97	113,8	198	Anexo 1	INAA
Los Bronces (3)	44	251,52	68,76	147,5	415	Anexo 1	ICP-MS

Abreviaciones: ICP-MS: Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry; INAA: Instrumental Neutron Activation Analysis.

La Tabla 7 muestra el detalle de las concentraciones de Re y otros elementos analizados en las muestras de concentrado de molibdeno de Los Bronces los que varían entre 147,5 y 415 ppm de Re.

2.3.3. FORMA DE EXTRACCIÓN

El Re comercial se obtiene a partir de los gases generados de la tostación de concentrados de molibdeno. En particular se explicará el método Kennecott, el cual ya ha sido tratado anteriormente en la mina con estudios que lo respaldan (Sanhueza 2010).

Este proceso se basa en el lavado de los gases producidos en la tostación seguido de un reajuste de pH y posterior oxidación y reposo de las soluciones obtenidas. Esta solución es tratada mediante intercambio iónico. La extracción del Re (stripping) se puede realizar mediante dos variantes: Zimmerley-Malouf y Prater-Platzke. La primera variante trata de una resina cargada que se pone en contacto con ácido clorhídrico (HCl) donde se re-extrae el Re contenido. Posteriormente se usa ácido perclórico (HClO₄) o hidrogeno sulfurado (H₂S) para precipitar el

Tabla 7. Concentración de Re en concentrados de molibdeno mensuales. Modificado de Sanhueza (2010). S.D.= sin datos.

Mes/año	Re [ppm]	Mes/año	Re [ppm]	Ag [ppm]	Cu [ppm]
jun-06	204	abr-08	147,5	S.D.	S.D.
jul-06	177	may-08	178,5	S.D.	S.D.
ago-06	412	jun-08	166,5	S.D.	S.D.
sep-06	383	nov-11	323	40	32400
oct-06	173	dic-11	240	34	43400
nov-06	196	ene-12	220	38,9	43300
dic-06	296	feb-12	254	44,8	44800
ene-07	238	mar-12	355	34	33000
feb-07	322	abr-12	341	39,9	39800
mar-07	313	may-12	374	32,3	36400
abr-07	415	jun-12	327	34,3	44900
may-07	228	oct-12	285	37,1	36000
jun-07	220	nov-12	249	34,4	35700
jul-07	168,5	dic-12	262	45,3	33300
ago-07	156,5	ene-13	272	38,2	32800
sep-07	180	feb-13	263	43,8	31200
oct-07	251	mar-13	239	44,5	32700
nov-07	235	abr-13	248	45,1	33000
dic-07	286	may-13	230	43,8	28700
ene-08	214	jun-13	214	44,2	29100
feb-08	212	jul-13	229	48,5	26100
mar-08	162,5	ago-13	207	46,4	26900

Re₂O₇ el cual se disuelve en amoníaco (NH₃) y peróxido de hidrogeno (H₂O₂) cristalizando, de esta manera, el perrenato de amonio (NH₄ReO₄). La segunda variante pone en contacto la resina con una solución de sulfocianuro de sodio (NaOH + NH₄CNS), donde se re-extrae el Re en forma de perrenato de amonio (durante este proceso, stripping, se agrega hidróxido de sodio (NaOH) y se re-extrae el Mo en ambas variantes) el cual se concentra mediante evaporación donde al enfriarse cristaliza el compuesto. Este proceso puede repetirse para obtener un producto más puro.

A partir del perrenato de amonio se puede obtener el renio metálico en polvo mediante la reducción con hidrógeno a temperatura controlada entre 600-1000°C en un horno eléctrico, el cual, a su vez, se compacta por procesos metalúrgicos y se obtienen los pellets.

2.3.4. USOS

Los principales usos de este metal son: fabricación de catalizadores reconstituidos bimetalúrgicos de Pt/Re, adicionado en superaleaciones, producción de láminas, cintas o cables para distintas aplicaciones industriales y en superaleaciones de componentes sometidos a altas temperaturas en turbinas o generadores de energía.

3. MARCO GEOLÓGICO

3.1. GEOLOGÍA REGIONAL

El Distrito Río Blanco-Los Bronces se ubica en el arco magmático Mioceno tardío-Plioceno temprano de Chile central entre los 3000 y 4800 m.s.n.m. Este se ubica al sur de la franja metalogénica Neógena (Figura 6). Durante el Eoceno tardío y el Mioceno temprano (~36-20 Ma) el área se caracteriza por un volcanismo toleítico a calco-alcalino en una cuenca extensional de intra-arco N-S, dando origen a las Formaciones Los Pelambres, Abanico y Coya Machalí (Vergara y Drake, 1979; Godoy et al. 1999; Sillitoe y Perelló, 2005).

Entre las latitudes que comprenden esta franja (31°-35°S) la evolución magmática del Mioceno-Plioceno se puede separar en dos (Vergara y Drake, 1979; Godoy et al. 1999; Sillitoe y Perelló, 2005): (1) del Mioceno temprano al tardío (~18 Ma al ≤15 Ma, probablemente 6 Ma de duración), rocas volcánicas de composición toleítica a basáltica calco-alcalina, dacítica y riolítica fueron eruptadas por estratovolcanes y domos (Formación Farellones). Además, plutones granodioríticos y pórfidos ricos en cobre se emplazaron entre los ~12 y 8 Ma; (2) las formaciones del Mioceno tardío al Plioceno temprano (~8,2-4,5 Ma) fueron mineralizadas por el emplazamiento de diques lamprofídicos en El Teniente (4-3 Ma) (Maksaev et al. 2004; Deckart et al. 2005).

La ubicación del Distrito coincide con la transición del flat-slab a una subducción normal (tipo chilena) lo que concuerda con la subducción de la dorsal de Juan Fernández (Figura 7) lo que a su vez, al parecer también coincide con los mayores eventos de mineralización en Río Blanco-Los Bronces y El Teniente (Stern, 1989; Skewes and Holmgren, 1993; Skewes and Stern, 1995; Kurtz et al. 1997; Kay and Mpodozis, 2002; Ramos et al. 2002; Hollings et al. 2005).

Los principales depósitos de la franja (El Teniente, Skewes et al. 2002; Río Blanco-Los Bronces y Los Pelambres, Serrano et al. 1996, Vargas et al. 1999, Camus, 2003, Cannell et al. 2005 y Perelló et al. 2009) se componen de una relación entre stocks y diques cuarzomonzoníticos, cuarzomonzodioríticos, granodioríticos y cuarzodioríticos. Este, además se compone de brechas hidrotermales ricas en cobre en un volumen considerablemente alto (con menor intensidad en Los Pelambres). Por último, la post-mineralización a partir de diatremas, está principalmente controlada por mineralización preexistente en la roca que forman esas brechas.

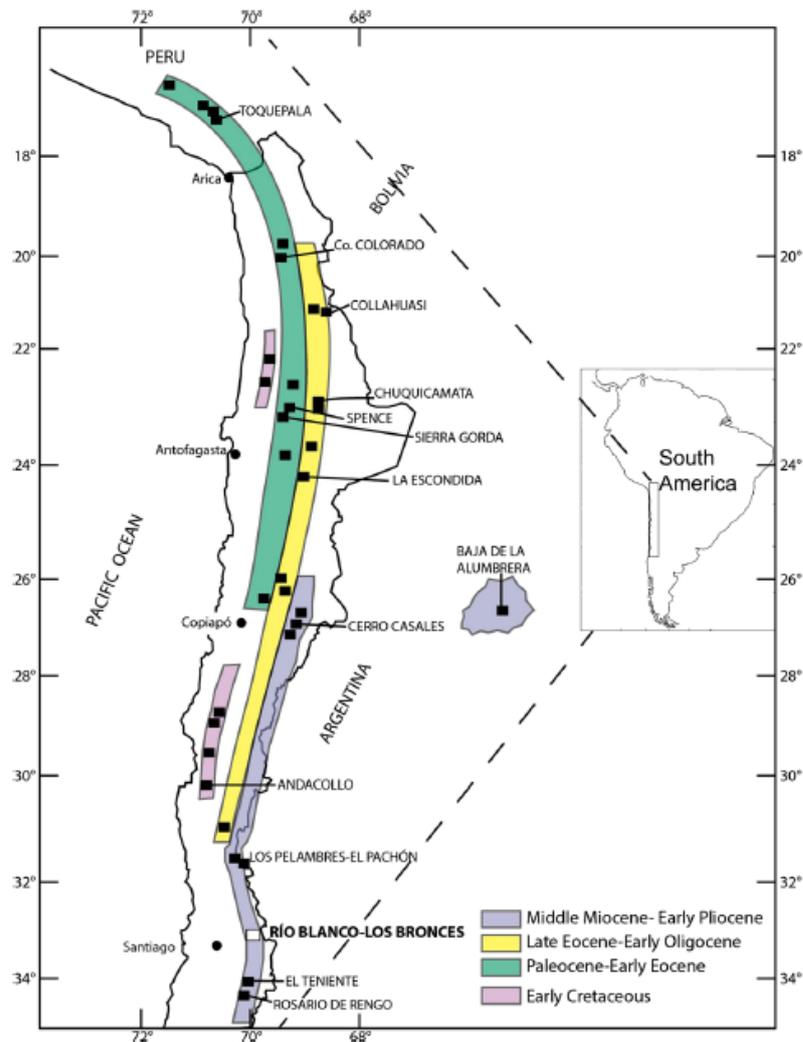


Figura 6. Ubicación del Distrito Río Blanco-Los Bronces en la franja metalogénica Neógena (tomado de Deckart et al. 2014)

3.2. GEOLOGÍA DISTRITAL

Las rocas volcánicas de las Formaciones Abanico y Farellones constituyen las rocas caja de los depósitos minerales del distrito. Estas formaciones son intruídas por pórfidos de Cu-Mo originados a partir de la evolución del Batolito San Francisco, complejo dominado por granodioritas con un área de extensión de al menos 200 km². Las rocas volcánicas premineralizadas de la Formación Farellones arrojan edades U-Pb en circones entre 23,1-16,5 Ma y para el batolito San Francisco se tienen edades U-Pb en circones de cristalización entre 16,6-8,2 Ma (Toro et al. 2012).

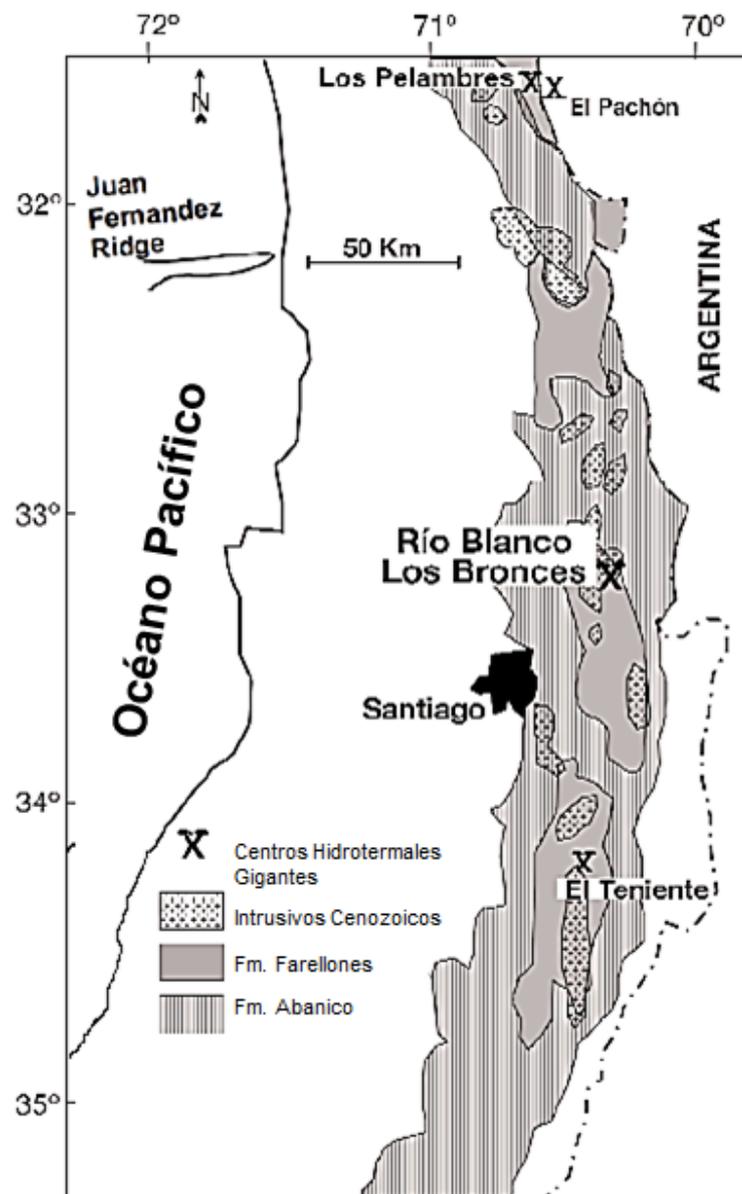


Figura 7. Ubicación del Distrito Río Blanco-Los Bronces. Se observa la subducción de la dorsal de Juan Fernández (modificado de Deckart et al. 2005).

De este modo, basándose en los tipos de roca, estructuras y edades determinadas, se han definido tres bloques en el distrito (Toro et al. 2012), los que representan franjas mineralizadas que evidencian una migración al este de la actividad magmática e hidrotermal, y corresponden a los bloques: Ortiga- Los Piches, San Manuel-El Plomo y Río Blanco-Los Bronces-Los Sulfatos (Figura 8).

3.2.1. BLOQUE ORTIGA- LOS PICHES

Este bloque muestra las primeras evidencias de actividad hidrotermal en el distrito con una edad plateau $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ en biotita secundaria de $14,8 \pm 0,1$ Ma (Deckart et al. 2009) y finalizando

a los $12,3 \pm 0,1$ Ma (medido en alunita hipógena por Eggers, 2009). Con una tendencia estructural N-S y abarca una superficie aproximada de 8×2 km. En el sector suroeste del bloque se observa un fuerte y amplio metasomatismo Na-Ca-Fe (actinolita-tremolita-escapolita-clorita-epidota-apatito-biotita y localmente pirita-calcopirita) que afecta a rocas volcánicas de la Formación Abanico, Formación Farellones e intrusivas asociadas al Batolito San Francisco, afectando también a brechas magmáticas tardías contemporáneas.

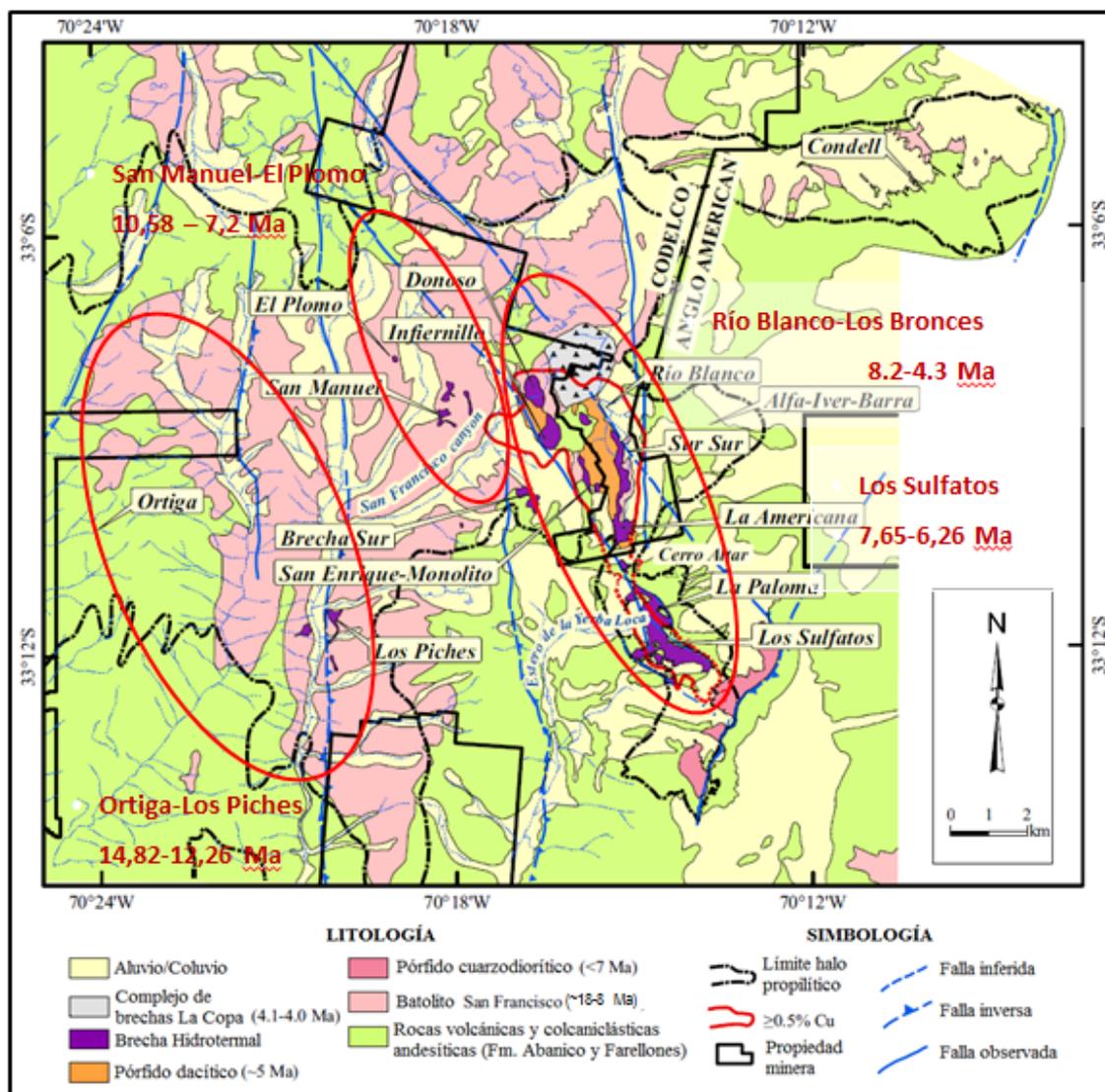


Figura 8. Mapa geológico del Distrito Río Blanco-Los Bronces. Los Bloques definidos se marcan con rojo (modificado de Toro et al. 2012).

Siguiendo al oeste, se observa un fuerte metasomatismo potásico con vetillas de biotita temprana (EB) y tipo A (Gustafson y Hunt, 1975; Gustafson y Quiroga, 1995) dentro de las facies cuarzomonzoníticas del batolito San Francisco. Además, en este sector hay presencia de brechas hidrotermales de cuarzo-turmalina-sericita-pirita. Existe un sector al oeste del área de Ortiga que presenta un *lithocap* silicio de alteración argílica avanzada (cuarzo, pirofilita, alunita, caolinita y pirita).

3.2.2. BLOQUE SAN MANUEL-EL PLOMO

Ubicado al este del bloque Los Piches-Ortiga, con una tendencia estructural NW, abarca un área de 6 km a lo largo, siguiendo el dominio estructural, y 3 km de ancho. Se observa un metamorfismo de contacto afectando a las rocas intruídas por pórfidos cuarzomonzoníticos del batolito San Francisco pertenecientes a las Formaciones Abanico y Farellones.

Se identifican dos centros hidrotermales: San Manuel y El Plomo. El primero muestra una fuerte alteración potásica (biotita-feldespato potásico) con calcopirita-bornita diseminada sobreimpuesta en andesitas. De igual forma, una asociación de biotita hidrotermal fue sobreimpuesta en estas rocas en el centro El Plomo. Con una orientación N-NW, brechas de turmalina-sericita con calcopirita-pirita diseminada, cortan los pórfidos y las rocas volcánicas y volcanoclásticas en ambos sectores. Además, se sobreimpone a las brechas tardías una asociación de clorita-magnetita-epidota-calcita. Todo lo anterior se ve afectado por una sobreimpresión de caolinita-illita-sericita-montmorillonita con calcopirita-pirita diseminadas.

La información geocronológica presente en El Plomo, corresponde a edades U-Pb en circones de un pórfido cuarzomonzodiorítico de $10,8 \pm 0,1$ Ma (Toro et al. 2012, Tabla 3) y $10,77 \pm 0,1$ Ma (Deckart et al. 2009), las que son levemente más antiguas que las edades plateau Ar^{40}/Ar^{39} en sericita de una brecha de turmalina de $10,6 \pm 0,2$ Ma y biotita secundaria en una andesita de $10,1 \pm 0,1$ Ma (Deckart et al. 2009). También se tiene la edad U-Pb medida en un pórfido feldespático de $10,2 \pm 0,3$ Ma la que es considerablemente mayor a la edad determinada para las primeras evidencias de actividad hidrotermal mediante Re-Os en molibdenita en una brecha de turmalina arrojando la edad de $8,36 \pm 0,06$ Ma y edad plateau Ar^{40}/Ar^{39} en biotita secundaria de un pórfido cuarzomonzonítico fino de $7,7 \pm 0,1$ Ma (Deckart et al. 2009).

3.2.3. BLOQUE RÍO BLANCO-LOS BRONCES-LOS SULFATOS

En este bloque se encuentra el principal sistema magmático-hidrotermal el cual concentra la mayor cantidad de mineralización económica en el distrito. Con estructuras N-NW que se extienden por unos 10 km, definiendo un corredor mineralizado de ~2 km de ancho, se controla el emplazamiento de enjambres de diques, brechas y mineralización. Esta tendencia está controlada por fallas profundas en el basamento con la misma orientación, que definen el corredor estructural Río Blanco-Los Bronces (Silva et al. 2009). Esta actividad magmática-hidrotermal es sintectónica, lo que es evidenciado por foliación de plagioclasas y biotitas hidrotermales, vetillas de cuarzo subparalelas y sigmoidales, y fracturas centimétricas rellenas con anhidrita. En cuanto a las brechas, el relleno incluye harina de roca, turmalina, biotita, clorita, especularita y magnetita, y la gradación del cemento varía en la vertical desde cuarzo-turmalina-especularita-sericita-kaolinita-pirita-calcopirita a niveles superficiales y cuarzo-biotita-feldespato potásico-magnetita-calcopirita-bornita a mayor profundidad (Vargas et al. 1999). Las relaciones de corte observadas sugieren un colapso del sistema hidrotermal el que coincide con el emplazamiento de varios cuerpos subvolcánicos y diatremas, en los que se pueden observar diques dacíticos y andesíticos y brechas locales de matriz de cuarzo-turmalina-pirita-calcopirita emplazadas con estos cuerpos, lo que representa la actividad magmática-hidrotermales joven en el bloque. Eventos posteriores se asocian a fallas NE extensionales donde se presentan vetillas de cuarzo-pirita-tenantita-enargita, galena, esfalerita, pirita-calcopirita, yeso-anhidrita, ankerita y dolomita, con halos de sericita, illita, caolinita o clorita-epidota

3.3. GEOLOGÍA DE LOS SULFATOS

En base a toda la información existente del depósito se cuenta con un modelo tridimensional de litología, alteración y mineralización el que se tomará como referencia para detallar la geología local (Zamorano y Pablo, 2013). Los Sulfatos corresponde a un complejo de brechas y pórfidos con diferentes alteraciones y estilos de mineralización, con un volumen de al menos 3 km³ alojados en rocas volcánicas de la Formación Abanico y Farellones. En la Figura 9 se observa el mapa geológico de superficie.

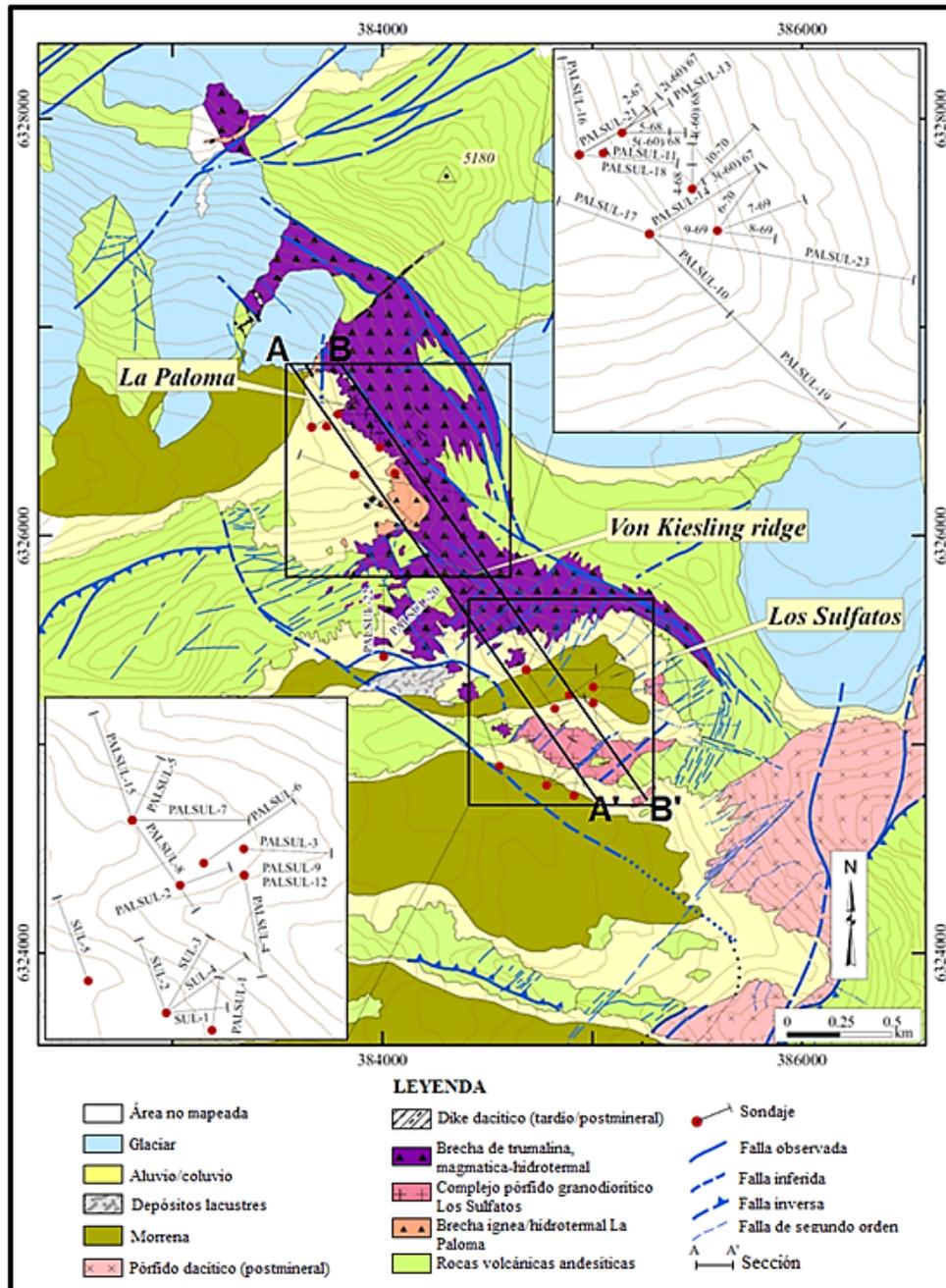


Figura 9. Mapa geológico de superficie. Irrarázaval et al. (2010).

En la Figura 10 se presenta una sección que muestra la relación entre las litologías en profundidad, las que se describirán a continuación:

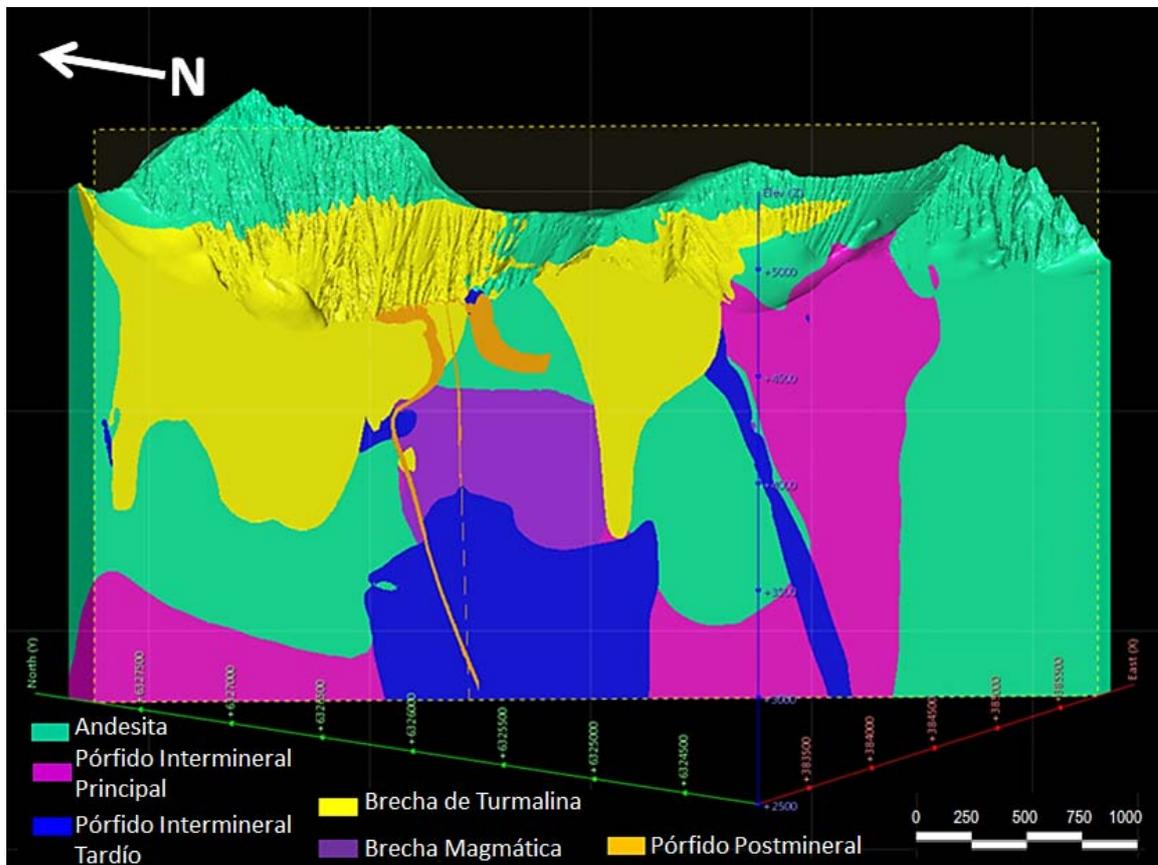


Figura 10. Unidades litológicas del depósito Los Sulfatos.

3.3.1. ROCAS ESTRATIFICADAS - UNIDAD ANDESITA “AND”

En el área del depósito las rocas volcánicas estratificadas corresponden a estratos de las Formación Farellones que sobreyacen discordantemente a los estratos de la Formación Abanico (Figura 11).

3.3.2. ROCAS INTRUSIVAS

Las unidades subvolcánicas intrusivas se dividieron en relación a alteración y mineralización según criterios de temporalidad existiendo así tres grandes unidades, además de cuerpo menor cuarzomonzonítico (Unidad QMF).



Figura 11. Imagen de muestra de mano de la Unidad Andesita (AND).

3.3.2.1. CUARZOMONZONITA FINA “QMF”

Pequeño cuerpo intrusivo perteneciente al Batolito Río Blanco-San Francisco que composicionalmente se define como una cuarzomonzonita fina. Este cuerpo representa un porcentaje muy bajo de los sondajes por lo que puede corresponder a un emplazamiento menor y solitario periférico del Batolito.

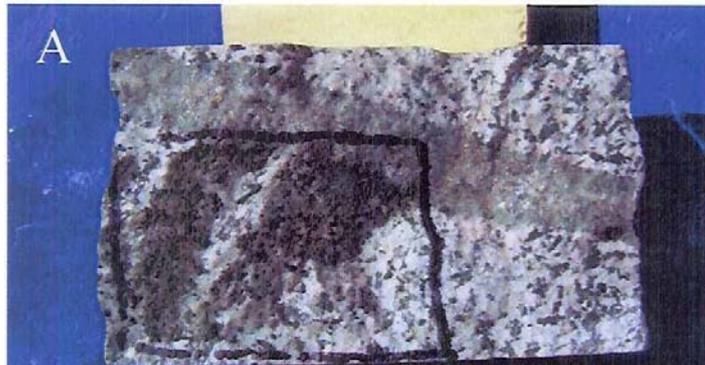


Figura 12. A Imagen de muestra de mano de la Unidad Cuarzomonzonita (QMF).

3.3.2.2. PÓRFIDO INTERMINERAL PRINCIPAL “PIP”

Esta unidad agrupa una serie de pulsos tempranos (a lo menos tres eventos) de composición cuarzodiorítica, cuarzomonzonítica y monzonítica, los que fueron acompañados de alteración potásica (feldespato potásico) y potásica (biotita) con un aporte importante de mineralización de calcopirita y bornita. El primero de los eventos está acompañado por una fuerte

biotitización de las rocas y una mineralización de calcopirita baja. Posteriormente, los otros eventos dieron origen a grandes cuerpos de brechas ígneas y también a brechas de biotita.



Figura 13. Imagen de muestras de mano de la Unidad Pórfido Intermineral Principal (PIP).

3.3.2.3. PÓRFIDO INTERMINERAL TARDÍO “PIT”

Esta unidad también agrupa una cantidad de pulsos indeterminados, dada la información disponible, de composición cuarzodiorítica a cuarzomonzonítica que al parecer fueron afectados por alteración potásica de manera muy leve, principalmente con veta de cuarzo. Estos pulsos dieron origen a brechas de contacto lo que es acompañado por un importante evento de sericita gris-verde con mineralización de calcopirita diseminada. Los cuerpos que conforman esta unidad se emplazaron poco antes de la primera etapa de hidrólisis.

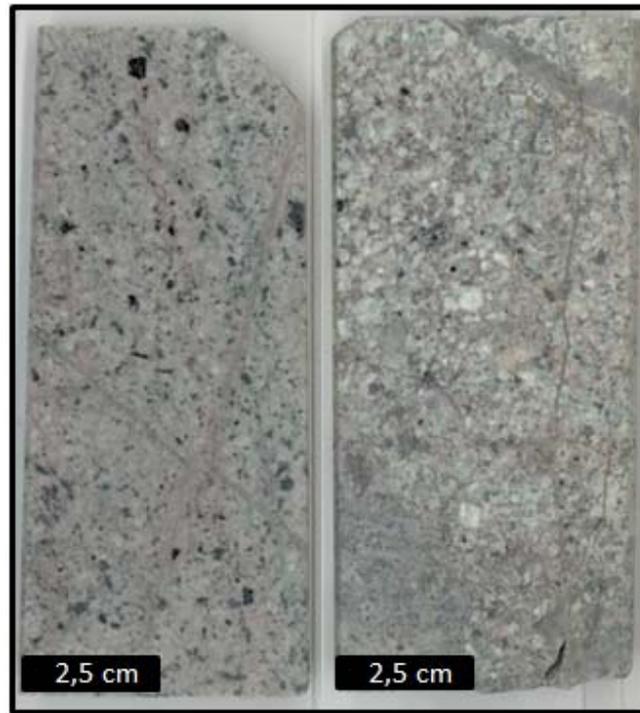


Figura 14. Imagen de muestras de mano de la Unidad Pórfido Intermineral Tardío (PIT).

3.3.2.4. PÓRFIDO POSTMINERAL “PPM”

Como último grupo de pórfidos, pero de menor tamaño, estos se emplazaron al final de la etapa hidrotermal y, también, posterior a ella. Estas corresponden a unidades tabulares tipo dique, con un espesor de metros a decenas de metros. Estas presentan alteración hidrotermal tipo illita con alteración de los ferromagnesianos a clorita y una mineralización de cobre escasa a nula.



Figura 15. Imagen de muestra de mano de la Unidad Pórfido Postmineral (PPM).

3.3.3. BRECHAS

Las unidades de brechas existentes en el depósito se clasifican en dos grandes conjuntos en base a su temporalidad, alteración y mineralización, así están las: Brechas Magmáticas y las Brechas de Turmalina.

3.3.3.1. BRECHA MAGMÁTICA “BXM”

Compuesta por brechas ígneas y/o magmáticas con alteración potásica y brechas de biotita secundaria, las que a pesar de ser de origen distinto son agrupadas en esta unidad dada la cantidad de información disponible. Las primeras están relacionadas al evento potásico (feldespato potásico-albita-sílice-biotita) con mineralización de calcopirita y/o bornita diseminada y en menor medida en vetillas tipo A. Las brechas de biotita corresponden a fracturamiento y en menor medida brechas locales con relleno de biotita hidrotermal y pobre mineralización de calcopirita.

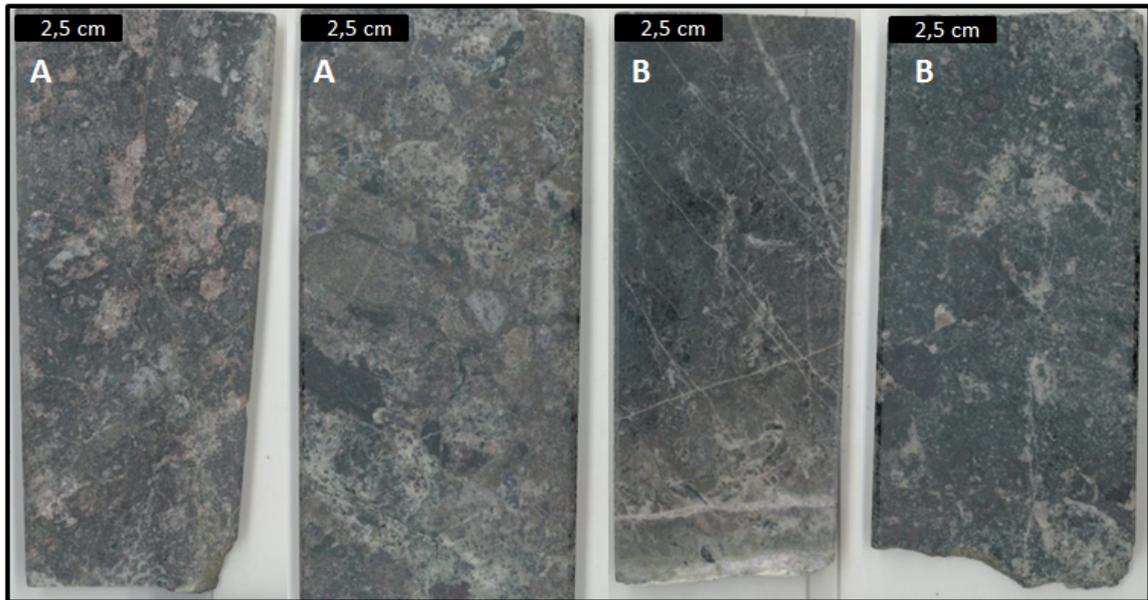


Figura 16. Imagen de muestras de mano de la Unidad Brecha Magmática (BXM).

3.3.3.2. BRECHA DE TURMALINA “BXT”

Agrupando varios episodios sobreimpuestos, donde los primeros pulsos de brechas son de un volumen mayor y en su evolución van disminuyendo, esta unidad se compone por brechas de turmalina, turmalina-polvo de roca, polvo de roca y magnetita-clorita polvo de roca. Estas rocas se manifiestan como un embudo invertido y sus dimensiones van desde 3,4 km de largo, un ancho de 1,1 km y pueden alcanzar más de 1 km de profundidad.

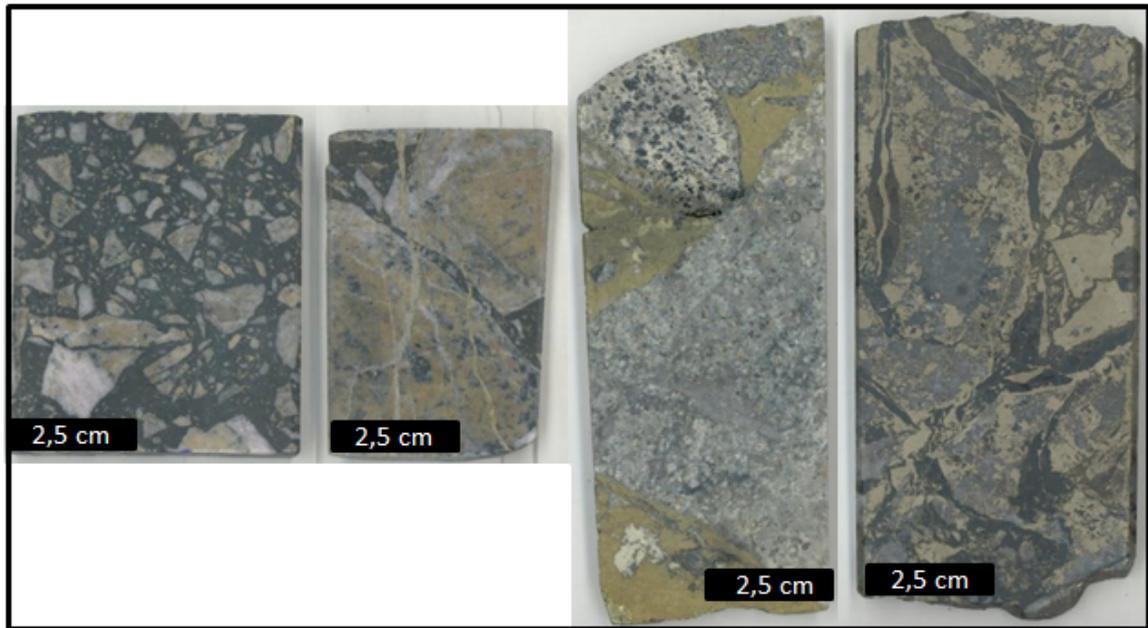


Figura 17. Imagen de muestras de mano de la Unidad Brecha de Turmalina (BXT).

3.3.4. ALTERACIÓN HIDROTHERMAL

La historia hidrotermal del depósito es compleja, se presenta varios tipos de alteración, tempranos y tardíos y con diferencias de temperatura y acidez. Así se han reconocido siete tipos de alteración en Los Sulfatos. En la Figura 18 se muestra una sección representativa de la distribución espacial de las alteraciones reconocidas en el depósito.

3.3.4.1. ALTERACIÓN POTÁSICA

3.3.4.1.1. FELDESPATO POTÁSICO

Asociación que agrupa los eventos más tempranos (albitización y feldespato potásico) y está compuesta de feldespato potásico-cuarzo-albita-biotita secundaria-magnetita. Se acompaña de menor mineralización de calcopirita y bornita. Esta alteración afecta principalmente a los stocks porfíricos. La alteración se presenta en vetillas de albita y/o feldespato potásico. También puede llegar a ser pervasiva obliterando la textura original de la roca.

3.3.4.1.2. BIOTITA SECUNDARIA

Esta alteración temprana se caracteriza principalmente por biotita secundaria-magnetita, a la cual se asocia mineralización menor de calcopirita. Esta se presenta mayoritariamente en la roca de caja (rocas volcánicas y volcanoclásticas) del pórfido afectando preferentemente a los minerales ferromagnesianos que corresponden a un 3 a 7% del volumen de estas rocas.

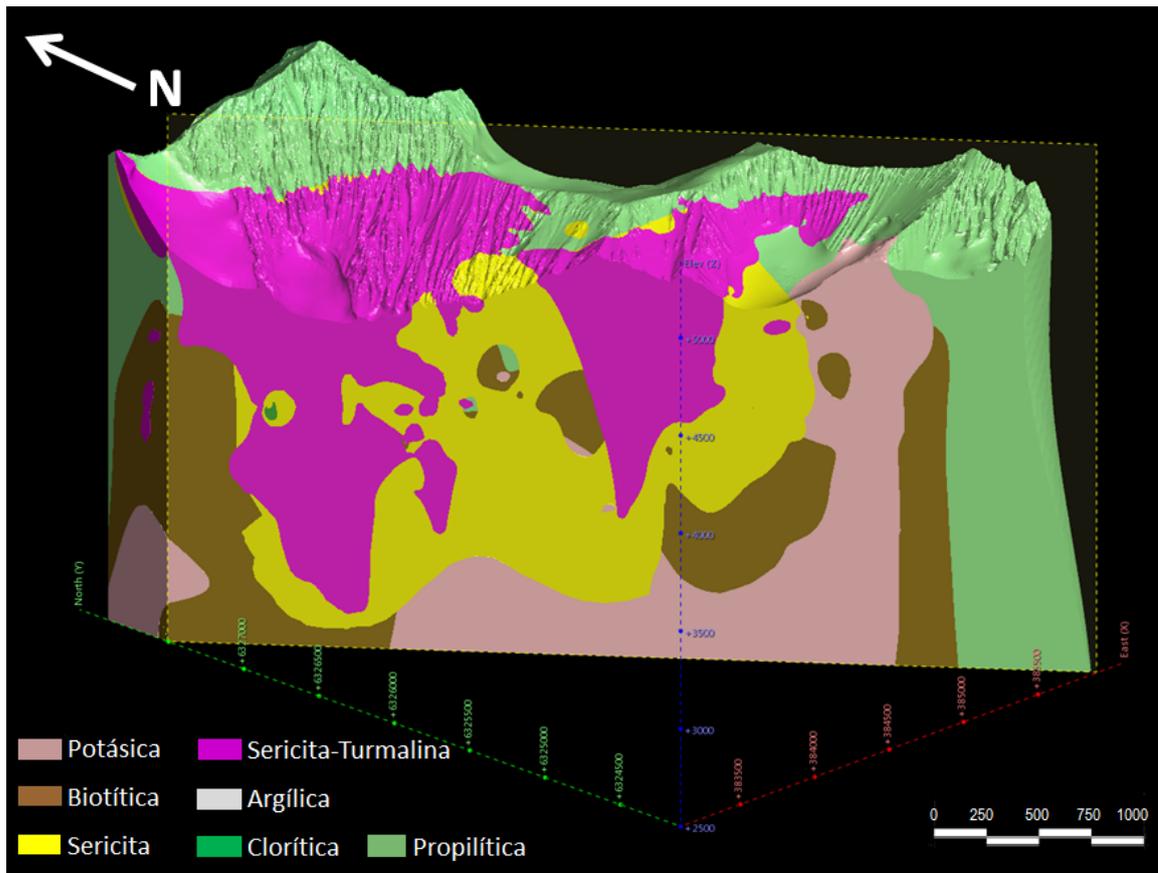


Figura 18. Sección de las alteraciones presentes en el depósito.

3.3.4.2. ALTERACIÓN PROPILÍTICA

Corresponde a la paragénesis clorita-magnetita \pm epidota-pirita que forma parte del halo externo de la alteración potásica (biotita) y afecta en mayor medida a la roca caja. La clorita afecta en mayor medida a los minerales ferromagnesianos de manera selectiva por sobre a los demás minerales silicatados. Esta alteración carece de mineralización de cobre.

3.3.4.3. CLORITIZACIÓN

Esta alteración está caracterizada por la presencia de clorita de manera aislada de la alteración propilítica. Esto se debe a que se produce de dos maneras distintas: la primera está relacionada con la hidrólisis intermedia de sericita sobre biotita primaria o secundaria. La segunda se asocia a la unidad PPM, donde los minerales ferromagnesianos están cloritizados.

3.3.4.4. ALTERACIÓN SERICITA

Esta alteración se asocia al primer episodio de hidrólisis ácida del depósito, caracterizada por la presencia de sericita-moscovita \pm illita-calcopirita, la que se sucede al evento potásico y se emplaza en la parte alta de los cuerpos PIP, PIT y la roca caja. La ocurrencia principal

corresponde a vetas de sericita-moscovita con halos de alteración de la misma mineralogía que las vetas, aunque también se manifiesta en forma masiva. Este evento removiliza el cobre a través de la disolución de bornita y en menor medida calcopirita para luego precipitarlo, generando un aumento de la ley de cobre asociado a esta alteración.

En algunos sectores se puede encontrar una sericita blanquecina más fina que la sericita gris verde en coexistencia con sericita más cristalina, lo que se interpreta como la parte final de este sistema donde el contenido de cobre es menor en relación a la primera etapa de este evento.

3.3.4.5. ALTERACIÓN SERICITA-TURMALINA

Caracterizada por la asociación turmalina-sericita-illita \pm calcopirita-pirita, esta alteración ocurre principalmente en los cuerpos de brechas de turmalina y sus inmediaciones. La turmalina ocurre como matriz de brecha, como relleno de vetillas y zonas de fracturamiento, o diseminada en la roca. A su vez, la sericita y la illita ocurren como reemplazo de minerales silicatados y/o filosilicatos preexistentes. La intensidad varía significativamente entre una alteración débil (5% del volumen) a una obliteración completa de la textura de la roca (100% del volumen). Esta alteración tiene asociada concentraciones menores de calcopirita diseminada en la matriz. En los sectores donde la ley es algo más alta, se explica por la presencia de fragmentos previamente mineralizados o cobre posteriormente incorporado.

3.3.4.6. ALTERACIÓN ARGÍLICA

Esta alteración está dada por la asociación illita-caolinita \pm sílice-pirita-calcopirita. Esta se vincula con la ocurrencia de un episodio epitermal de mediana a alta sulfuración. Esta alteración se puede observar sobreimpuesta a las brechas de turmalina o como vetas y vetillas de calcopirita-pirita con un halo de illita-caolinita.

3.3.5. EVOLUCIÓN Y PARAGÉNESIS

La historia hidrotermal comienza con el emplazamiento de pulsos subvolcánicos de composición cuarzodiorítica, cuarzomonzonítica a monzonítica. A lo menos 3 pulsos fueron acompañados por alteración potásica (feldespato potásico \pm albita \pm silicificación) y biotítica (biotita secundaria), con una importante mineralización caracterizada por calcopirita y/o bornita.

El primer subevento, fue acompañado por una intensa biotitización de la roca de caja y en menor medida alteración potásica acompañado por una débil mineralización de calcopirita.

Los posteriores pulsos tempranos, dieron origen a la formación de grandes cuerpos de brechas magmáticas (ígneas) y en menor medida brechas de biotita. Las primeras fueron acompañadas por una intensa alteración potásica (feldespato potásico-albita-cuarzo-biotita) con fuerte mineralización de calcopirita \pm bornita de preferencia diseminada y en menor medida en vetillas tipo A. Mientras que, los cuerpos de brecha de biotita, corresponden a craquelamientos, y en forma muy reducida a brechas locales, con rellenos de biotita hidrotermal y poco contenido de calcopirita.

Terminando el evento temprano, ocurre un episodio de anhidrita. Este corresponde a anhidrita cristalina a traslúcida que ocurre en un stockwork de vetillas, con contenidos menores de bornita y calcopirita, diseminadas en la vetilla. La ocurrencia estaría circunscrita a la envolvente potásica.

La evolución de sistema continúa con el emplazamiento de pórfidos en una serie de pulsos, de composición cuarzodiorítica a cuarzomonzonítica, los que al parecer no fueron afectados por alteración potásica. Los pulsos dieron origen a cuerpos de brechas de contacto, sin alteración potásica. Sin embargo, su emplazamiento fue acompañado por un importante evento de sericita gris-verde con mineralización diseminada de calcopirita. Este evento se superpone, en parte, al evento anterior removilizando cobre y re-depositándolo como calcopirita, y es considerado el primer fenómeno de hidrólisis ácida en el sistema.

Posterior al episodio de sericita gris-verde, el sistema fue acompañado por un fenómeno de desgasificación importante, favorecido por una rápida tasa de alzamiento y exhumación de los Andes Centrales (Maksaev et al. 2003). Varios episodios de brechas sobreimpuestos unos sobre otros, son observados, tanto en los sondajes como en superficie. Los primeros cuerpos corresponden a los de mayor tamaño, y en la medida que evoluciona el sistema los nuevos cuerpos presentan tamaños menores y disminuyen en componente hidrotermal, dando paso a la formación de cuerpos de brechas de turmalina polvo de roca.

Mientras los episodios de brechas estaban en curso, un segundo episodio de anhidrita se hace presente. Anhidrita cristalina a traslúcida se observa en vetillas, rellenando espacios dentro de las brechas o craquelando parte de la roca de caja. Este evento ocurre, prácticamente, en todo el depósito, alcanzando, inclusive, la parte alta de las brechas de turmalina.

En la Figura 19 se muestra un diagrama que esquematiza la temporalidad de evento y la formación de las litologías.

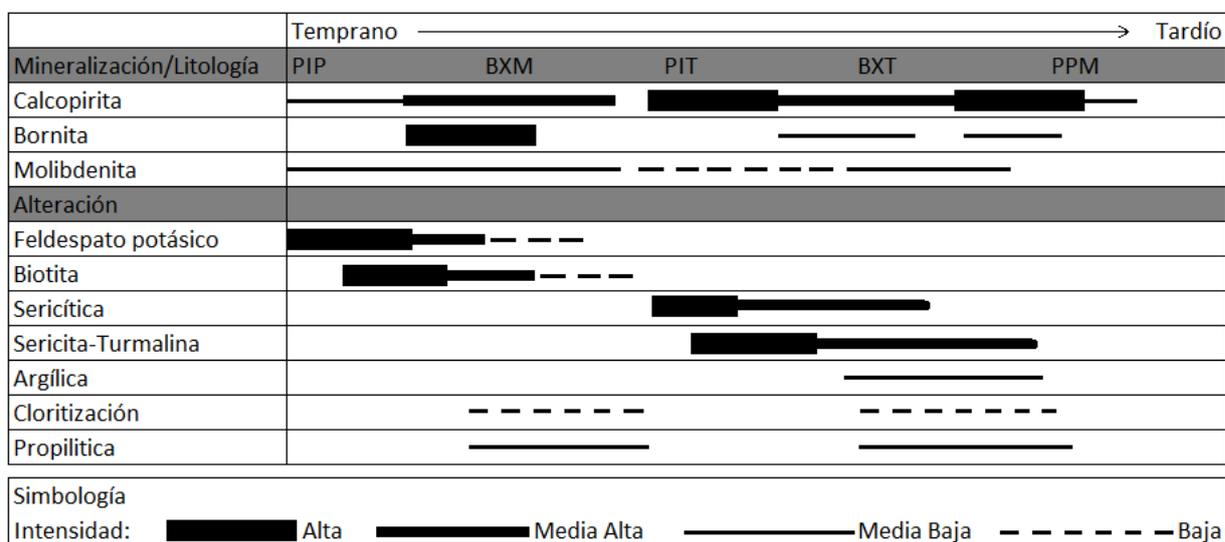


Figura 19. Esquema temporal de la evolución y paragénesis de litologías y eventos mineralizadores. Modificado de Zamorano y Pablo (2013). Abreviaciones: PIP=Pórfido Intermineral Principal; BXM= Brecha Magmática; PIT=Pórfido Intermineral Tardío; BXT=Brecha de Turmalina; PPM=Pórfido Postmineral.

Finalmente, un evento epitermal controlado por estructuras NE a EW comienza como un sistema de alta sulfuración el que evoluciona a uno de baja sulfuración. Lo anterior evidenciado en tres sub-eventos de rellenos de vetas y vetillas: El primero corresponde a vetas de calcopirita y/o pirita con halos de caolinita-illita; un segundo corresponde a vetas de cuarzo blanco con menor calcopirita \pm pirita, y como evento posterior y final un sub-evento de calcopirita-ankerita \pm siderita.

Es importante destacar que el primer sub-evento viene acompañado de una intensa mineralización de cobre, caracterizado por la presencia de calcopirita y en menor medida, tenantita, enargita, bornita y digenita. Este episodio afecta con mayor intensidad a una parte de la brecha de turmalina y roca circundante el cual se concentra en el sector de La Paloma, generando craquelamientos y muy localmente, brechización en la roca.

4. METODOLOGÍA

4.1. SELECCIÓN DE MUESTRAS

4.1.1. MUESTRAS DE ROCA

La selección de muestras se llevó a cabo en base a dos secciones paralelas separadas por 250 metros (secciones AA' y BB' Figura 20). Esta disposición se debe a que siguen la orientación del depósito y así se favorece la intersección con los sondajes disponibles. Donde se intersectan estas secciones con los prospectos se buscaron las muestras con leyes de Mo que garantizaran la presencia de molibdenita (la mayoría sobre 500 ppm) y que la distancia máxima a la sección no superara un valor de 125 metros.

Se escogieron siete muestras para la sección AA' y seis para BB', las que se analizaron y se describieron macroscópicamente. De este modo se procedió a analizar las muestras mediante distintas metodologías que corresponden a: descripción de cortes transparente-pulidos, XRD, datación Re-Os de molibdenita, ICP-MS, ICP-AES e INAA de concentrados de molibdenita e ICP-MS de pulpas correspondiente al tramo del sondaje de la muestra seleccionada.

La ubicación de las muestras se aprecia en las Figuras 20 y 21 y el detalle de estas en la Tabla 8. Las descripciones macroscópicas de las muestras estudiadas se encuentran en el Anexo II. En conjunto con estas figuras, la ubicación de las muestras es complementada con secciones litológicas y de alteración (Figuras 22 a 25).

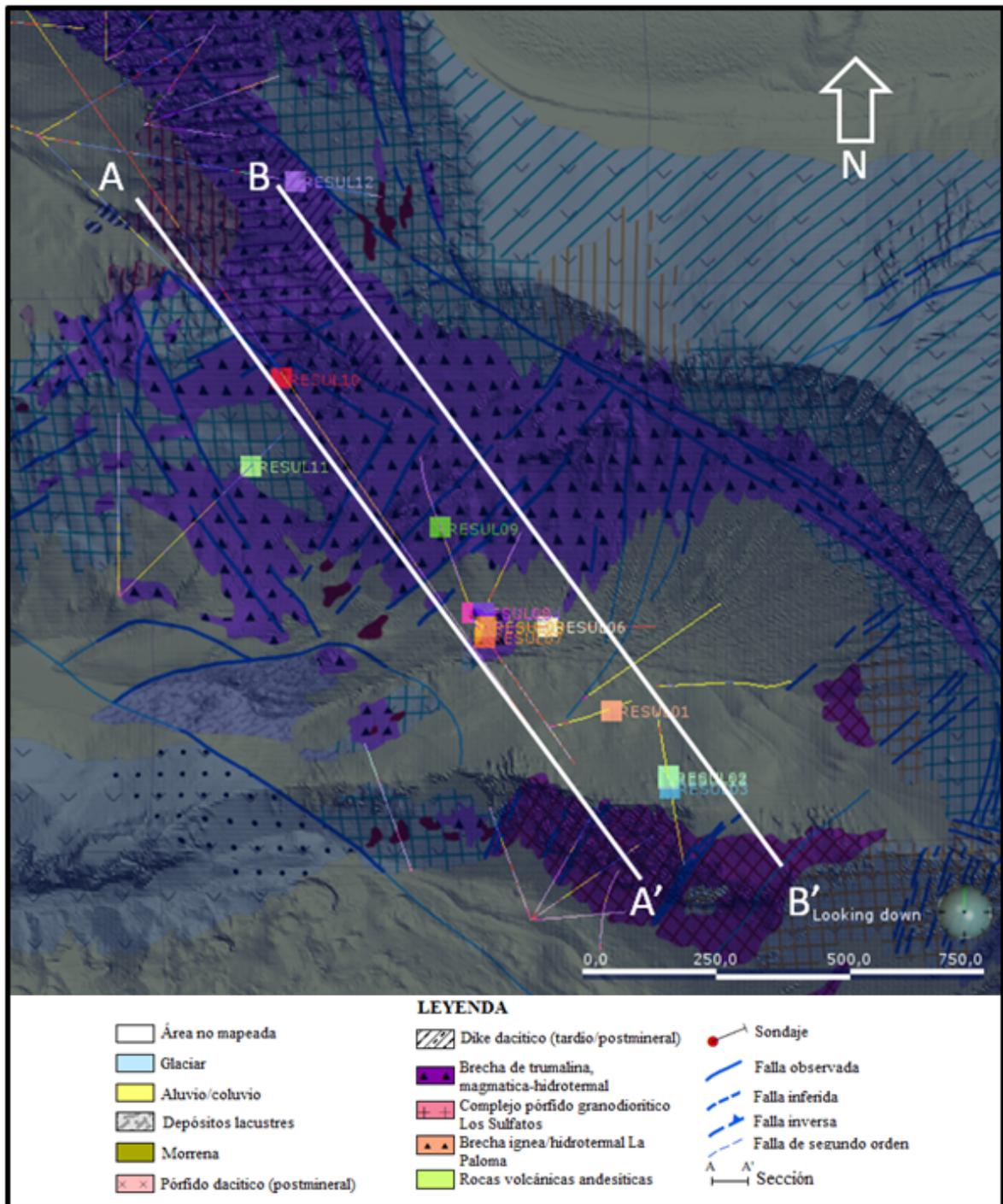


Figura 20. Ubicación en planta de las muestras seleccionadas.

Tabla 8. Muestras seleccionadas y metodologías aplicadas.

Muestra	Sondaje	Tramo	Litología	Alteración	Unidad	Sección	Metodología
RESUL01	PALSUL02	463,25-463,58	Cuarzomonzonita equigranular	Chl-Alb-Py & Qz-Ser	PIP	BB'	Concentrado, Corte T-P
RESUL02	PALSUL04	370,87-371,14	Granodiorita equigranular fina	Chl-Ser-Alb-Py	PIP	BB'	Re-Os, Corte T-P, DRX, Concentrado
RESUL03	PALSUL04	432,98-433,08	Granodiorita equigranular de grano medio	Ser-Chl-Alb	PIP	BB'	Re-Os, Corte T-P, Concentrado
RESUL04	PALSUL05	78,12-78,35	Granodiorita porfídica y brecha de biotita	Chl-Ser-Alb±Py	PIT	AA'	Concentrado, Corte T-P
RESUL05	PALSUL07	51,19-51,26	Granodiorita porfídica y brecha de biotita matriz de turmalina	Ser-Chl	PIT	AA'	Concentrado
		51,67-51,80					Concentrado, Corte T-P, DRX
		52,20-52,36					Concentrado
		56,46-56,55					Concentrado
RESUL06	PALSUL07	377,96-378,13 387,41-387,60	Cuarzomonzonita fina	Qz-Ser-Ank	PIT	BB'	Concentrado, Corte T-P Concentrado
RESUL07	PALSUL08	71,91-72,08 80,09-80,20	Granodiorita porfídica	Ser-Chl-Alb	PIT	AA'	Concentrado, Corte T-P Concentrado
RESUL08	PALSUL15	80,11-80,30	Brecha de biotita	Qz-Ser & Tur	BXT	AA'	Concentrado, Corte T-P, DRX
RESUL09	PALSUL15	557,87-557,98	Andesita porfídica con intrusiones de brecha de turmalina	Ser-Tur	AND	AA'	Concentrado
		561,37-561,55					Concentrado
		562,90-563,05					Concentrado, Corte T-P, DRX

Muestra	Sondaje	Tramo	Litología	Alteración	Unidad	Sección	Metodología
RESUL10	PALSUL19	1006,68-1006,81	Brecha de biotita	Bt-Kfeld & Chl-Alb	BXM	AA'	Re-Os
RESUL11	PALSUL20	716,06-716,17 721,16-721,25 728,43-728,74	Granodiorita porfídica fina con sectores de brecha de turmalina	Bt & Alb & Qz-Ser	BXT	AA'	Corte T-P, DRX, Concentrado Re-Os, Concentrado
RESUL12	PALSUL23	669,83-670,14	Brecha de biotita	Bt & Qz-Anh & Chl-Alb-Py	AND	BB'	Concentrado, Corte T-P
RESUL13	PALSUL04	386,69-387,02	Cuarzomonzodiorita porfídica	Chl-Ser & Alb	PIP	BB'	Concentrado, Corte T-P, DRX

Abreviaciones: Qz=cuarzo; Alb=albita; Anh=anhidrita; Ser=sericita; Chl=clorita; Cpy=calcopirita; Py=pirita; Tur=turmalina; Kfeld=feldespató potásico; Bt=biotita Ank=ankerita.

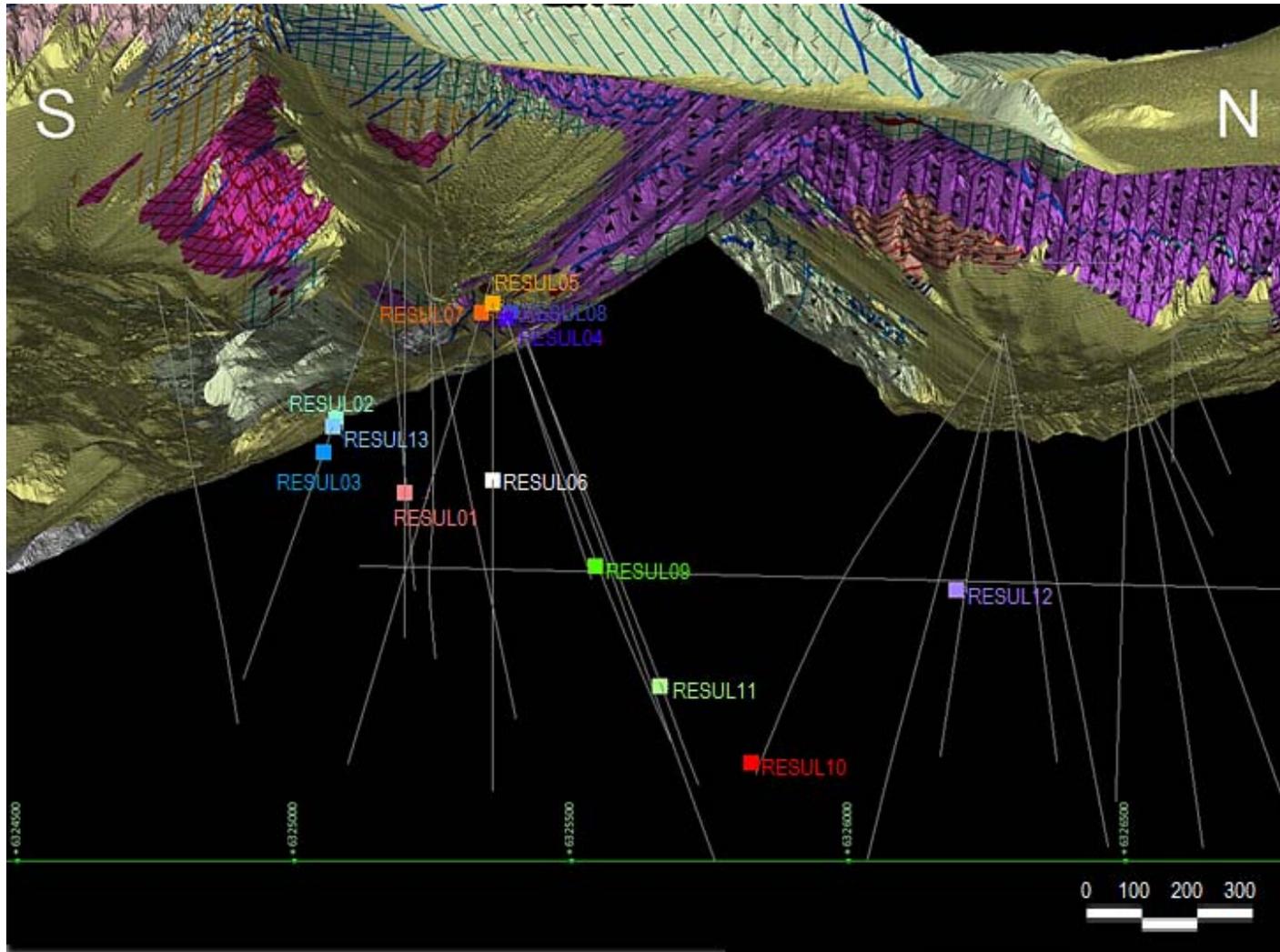


Figura 21. Ubicación en profundidad de las muestras seleccionadas.

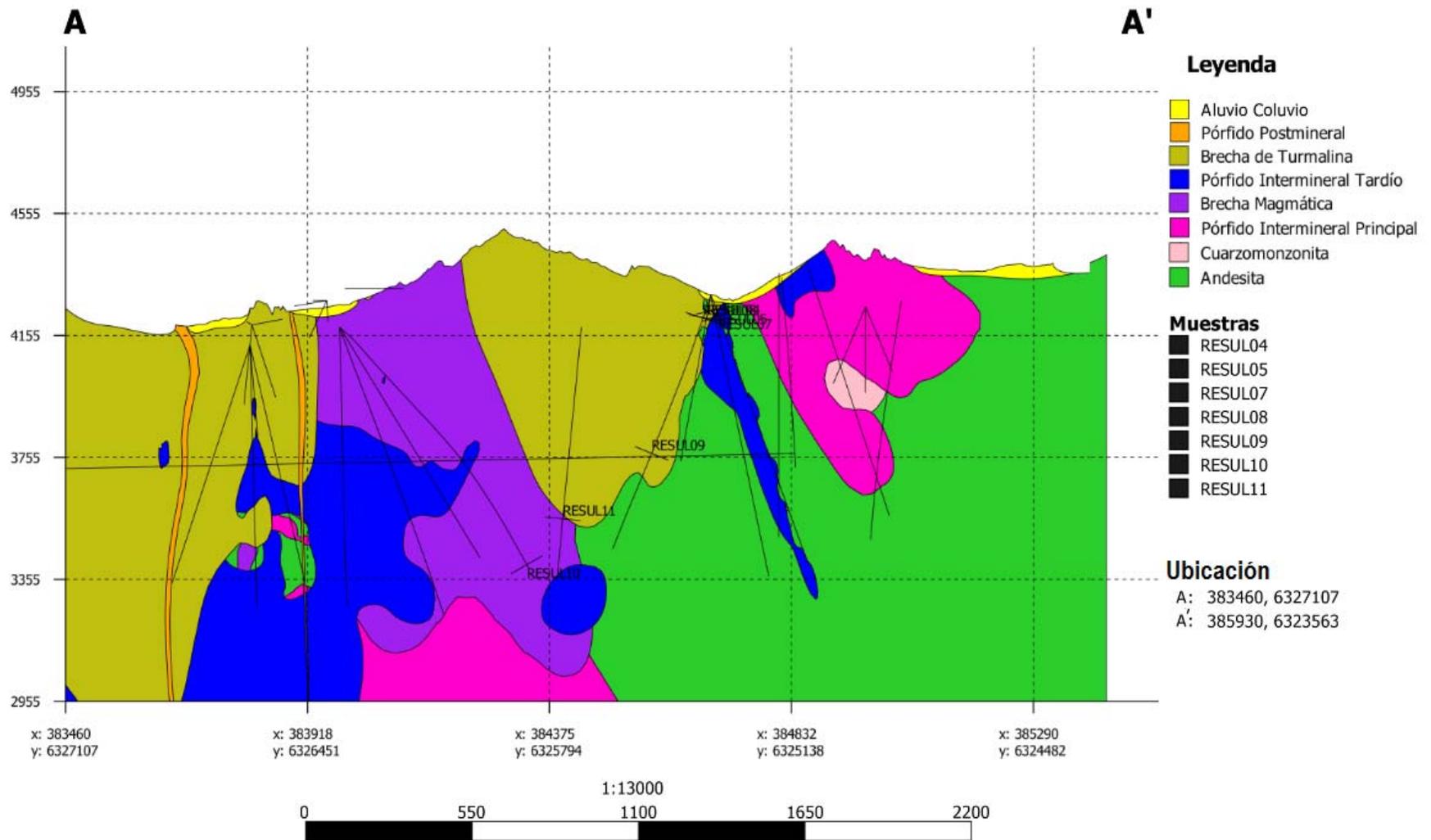


Figura 22. Sección AA' de litología con la ubicación de las muestras.

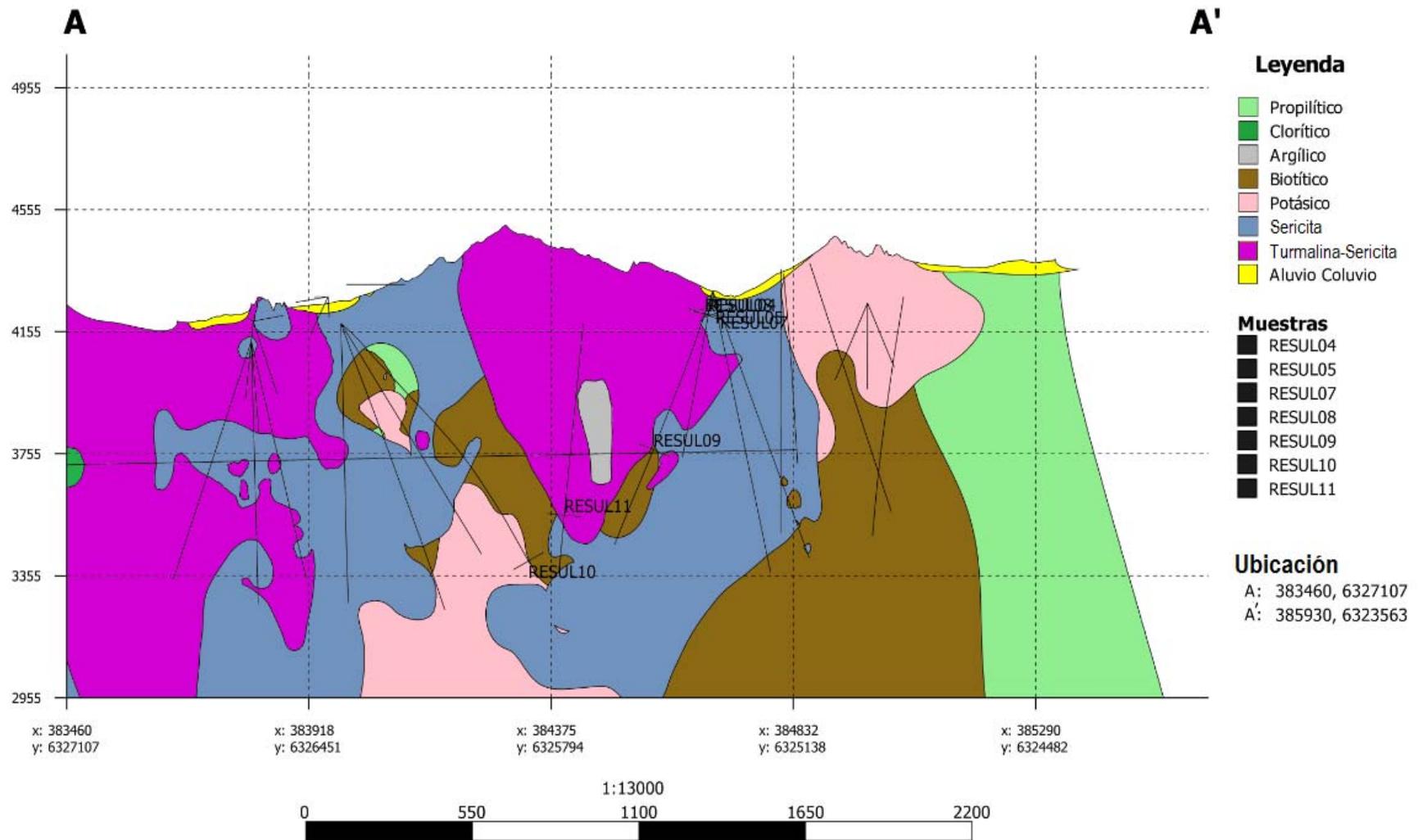


Figura 23. Sección AA' de alteración con la ubicación de las muestras.

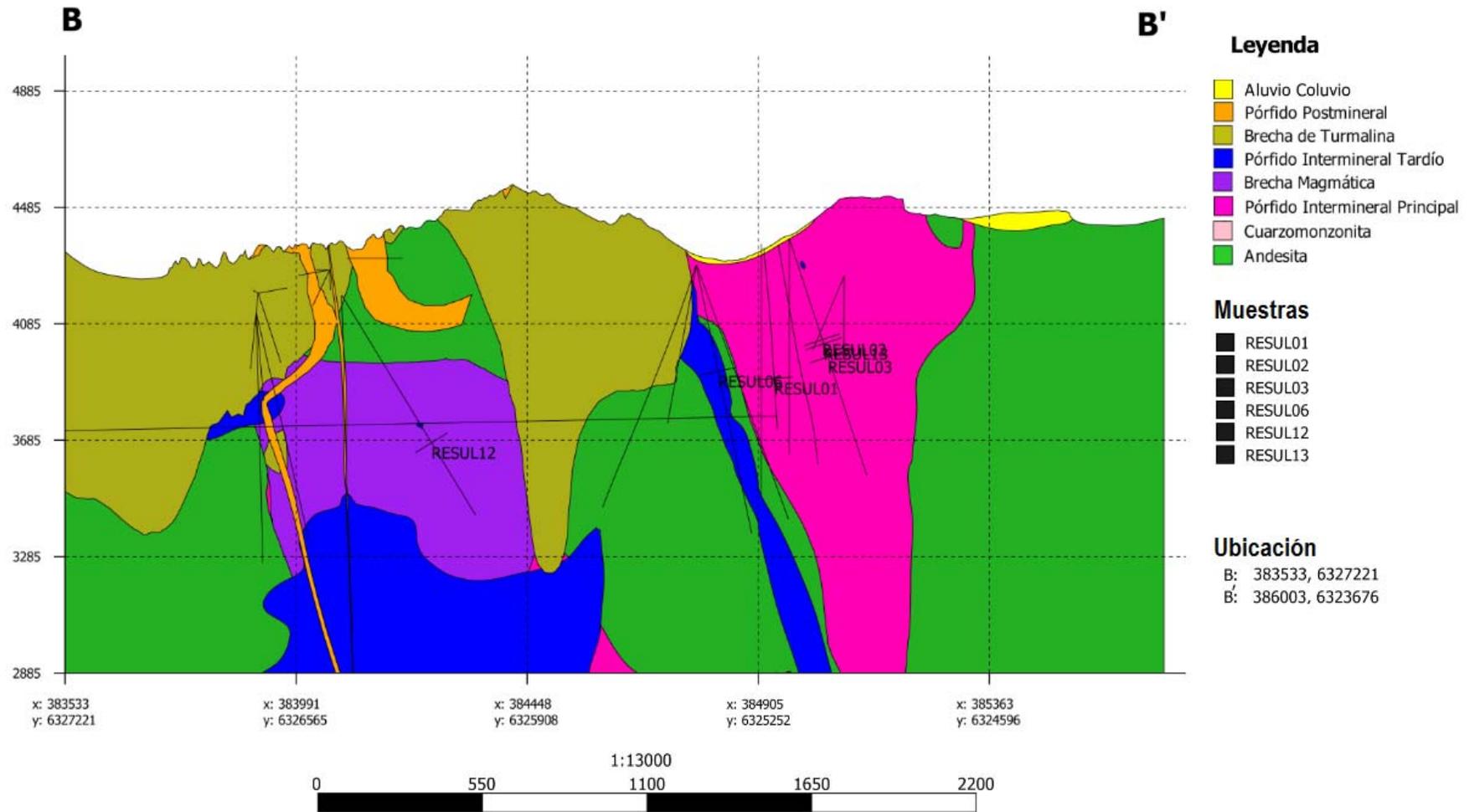


Figura 24. Sección BB' de litología con la ubicación de las muestras.

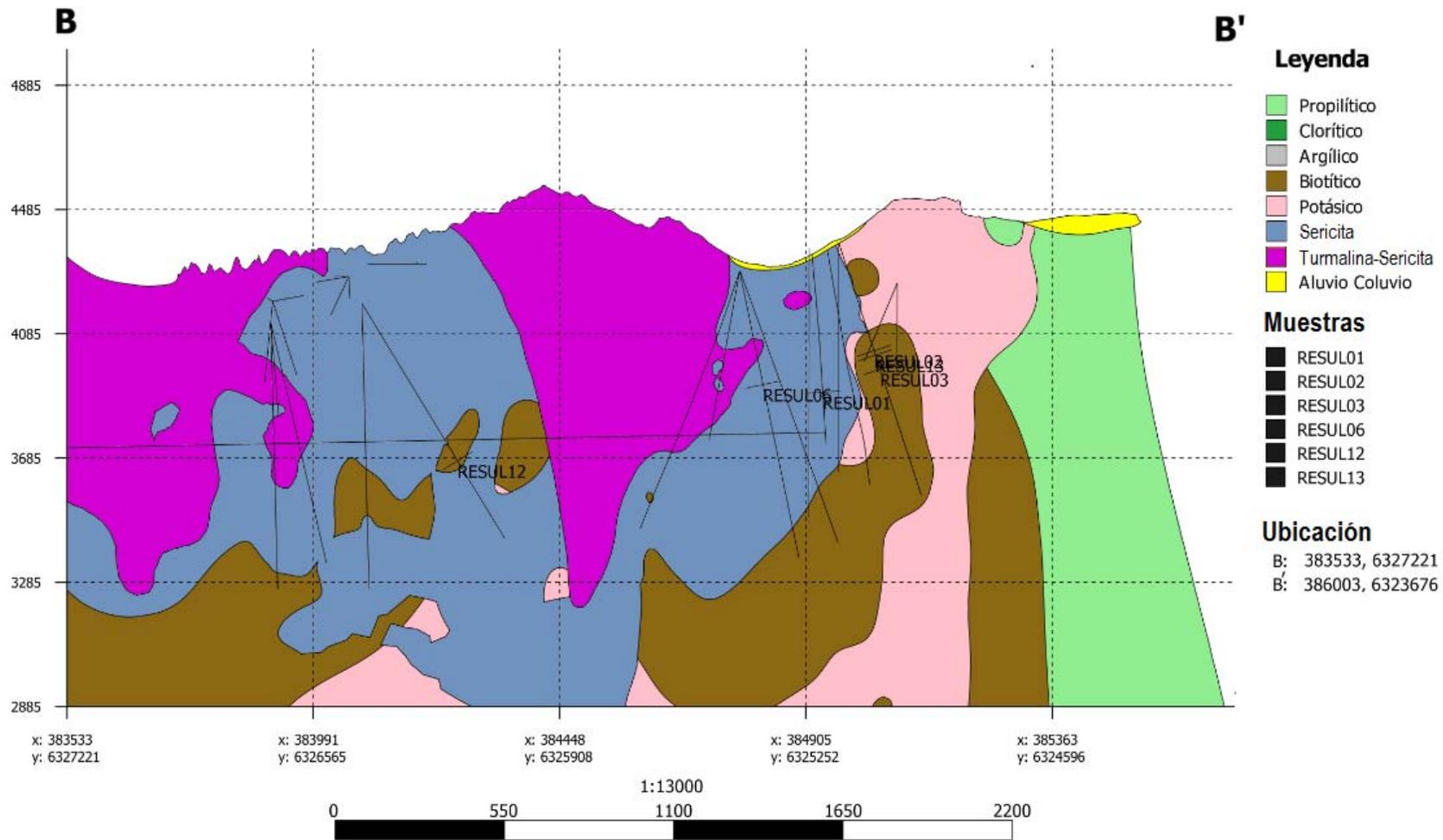


Figura 25. Sección BB' de alteración con la ubicación de las muestras.

4.1.1.1. CORTES TRANSPARENTE-PULIDOS

Se realizaron 12 cortes transparente-pulidos de tamaño estándar en el taller del Sr. Rubén Espinoza, comuna de Quinta Normal. Se realizó la descripción litológica y de alteración detallando su mineralogía. Se caracterizó además la ocurrencia de la mineralización y en particular de la molibdenita y sus características texturales.

4.1.1.2. DIFRACCIÓN DE RAYOS X (XRD)

Se escogieron 6 muestras que cubrieran todo el espectro de litologías, alteración y ocurrencias de molibdenita presentes. Estas corresponden a las muestras: RESUL02, RESUL05, RESUL08, RESUL09, RESUL11 Y RESUL13. Estas se prepararon en las dependencias de ALS Minerals mediante la metodología PREP31 (Anexo III), la cual deja la muestra bajo malla #200. Posteriormente, el análisis se llevó a cabo en el Laboratorio de Cristalografía del Departamento de Física de la Facultad de Ciencias Física y Matemáticas de la Universidad de Chile mediante el equipo D8 ADVANCE durante 10 minutos. Los resultados se analizaron con el *software* EVA con el cual se filtró el ruido y el rayo $K\alpha$ para que así la información sea de carácter monocromática. Además, el análisis con el EVA se hizo en modo neutro (simple y complejo a la vez), de esta manera se pueden identificar los máximos de la manera correcta y así detectar los minerales presentes y los politipos de molibdenita.

4.1.1.3. GEOCROLOGÍA Re-Os DE MOLIBDENITAS

Se seleccionaron 4 muestras de molibdenita para la realización de esta datación. Dos corresponden a molibdenita en vetillas de Qz-Mo-Cpy y las otras, a vetillas de molibdenita (Tabla 9).

Tabla 9. Detalle de muestras de geocronología.

Muestra	Sondaje	Litología	Alteración	Sección	Muestra	Tamaño
RESUL03	PALSUL04	Granodiorita equigranular de grano medio	Ser-Chl-Alb	AA'	Vetilla de molibdenita de tamaño fino	50-70 um
RESUL02	PALSUL04	Granodiorita equigranular fina	Chl-Ser-Alb-Py	AA'	Vetilla de molibdenita de tamaño fino	50-100 um
RESUL10	PALSUL19	Brecha de biotita	Bt-Kfeld & Chl-Alb	BB'	Vetilla de Qz-Mo-Cpy de grano grueso	Sin corte transparente-pulido hasta 500 um
RESUL11	PALSUL20	Granodiorita porfídica fina con sectores brechizados	Bt & Alb & Qz-Ser	BB'	Vetilla de Qz-Mo-Cpy de grano grueso	de largo con un espesor de 20-35 um

Abreviaciones: Qz=cuarzo; Alb=albita; Ser=sericita; Chl=clorita; Mo=molibdenita; Cpy=calcopirita; Bt=biotita; Kfeld=feldespatos potásico; Py=pirita.

Las muestras se analizaron en el Departamento de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Durham, Reino Unido. El proceso por el que pasaron las muestras se detalla en el Anexo III.

4.1.1.4. ANÁLISIS QUÍMICO DE LAS ROCAS

La composición de la roca es determinada mediante el análisis químico por ICP-MS e ICP-AES de las pulpas ya existentes y correspondientes a los tramos seleccionados. La medición se realizó en el laboratorio ALS Minerals en Vancouver, Canadá y se hizo mediante la metodología ME-MS61 (Anexo III).

4.1.1.5. ANÁLISIS QUÍMICO DE LAS MOLIBDENITAS

Todas las muestras, excepto la muestra RESULT10 seleccionada solo para datación, se enviaron al Laboratorio de Preparación de Muestras del Departamento de Geología de la Facultad de Ciencias Física y Matemáticas de la Universidad de Chile, para que se separara la molibdenita presente en la muestra. El procedimiento se basó en dos formas: extracción directa de la roca y molienda y separación por densidad en el caso de la molibdenita más fina. Esta separación no pudo llevarse a cabo con las muestras RESULT02 y RESULT07 debido a dificultades técnicas.

Posteriormente, las muestras se analizaron en los laboratorios de Actlabs Canadá mediante la metodología Ultratrace 3, la que determina la composición mediante ICP-AES, ICP-MS e Activación Neutrónica Instrumental (*Instrumental Neutron Activation Analysis - INAA*) (Anexo III).

4.1.2. MUESTRAS DE PULPA

Para la obtención de una visión general del depósito y sus concentraciones de Re se seleccionaron pulpas de roca provenientes de los sondajes realizados. La selección de estas muestras se basó en la concentración de Mo según los análisis previamente realizados por Anglo American. Así, hay dos grandes grupos: <600 ppm y >600 ppm. La selección contempló 231 muestras, 113 y 118, respectivamente. Se procuró que la distancia mínima entre las muestras fuera de 50 metros aproximadamente a lo largo del sondaje respectivo. Las pulpas fueron analizadas en ALS Minerals en Vancouver, Canadá por la metodología ME-MS61 (Anexo III). La ubicación de las muestras seleccionadas se aprecia en la Figura 26.

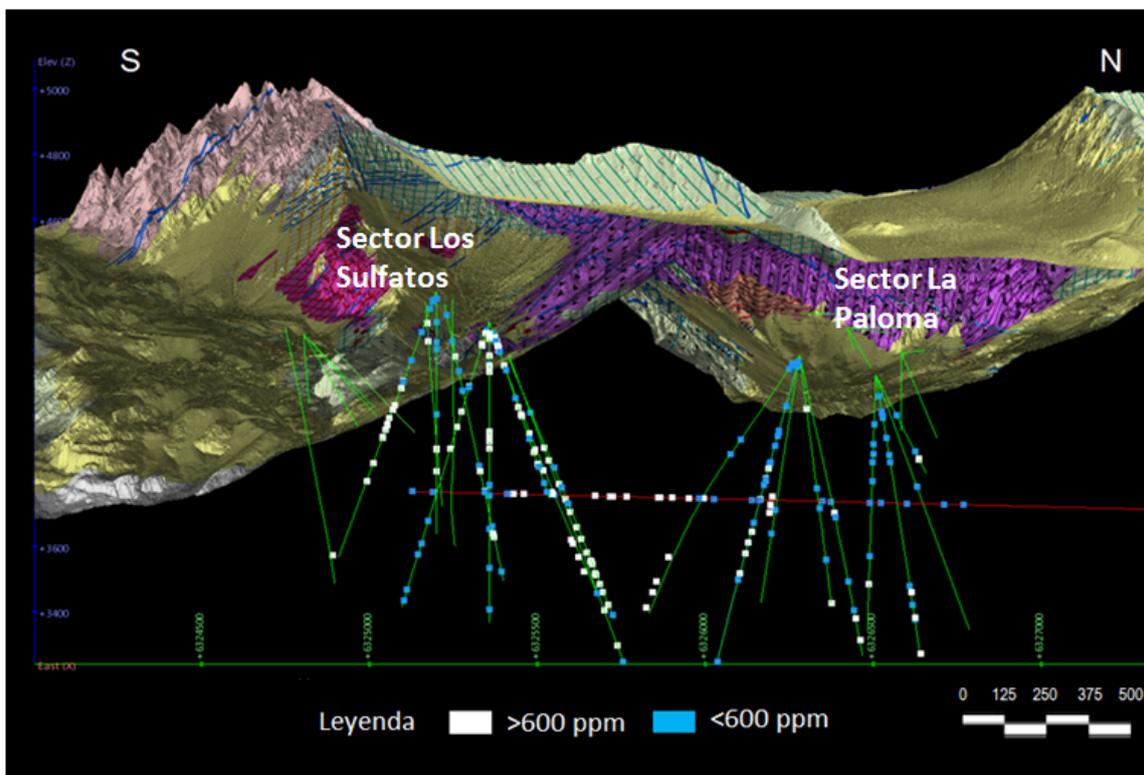


Figura 26. Distribución de las muestras de pulpa seleccionadas según su concentración de Mo.

5. RESULTADOS

En el presente capítulo se detallan los resultados relevantes para este estudio, los que fueron entregados por todas las metodologías aplicadas a las muestras macroscópicas y a muestras de pulpa de roca.

5.1. DESCRIPCIONES

De las muestras descritas macroscópicamente y microscópicamente, se presenta a continuación la ocurrencia de la molibdenita en base a muestras (ver Anexo II para las descripciones de cada corte).

5.1.1. MOLIBDENITA DISEMINADA

Este estilo de mineralización está presente en la mayoría de las muestras, pero especialmente en los pórfidos. En brechas está principalmente diseminada en los clastos pre-mineralizados de pórfidos, aunque también se le aprecia en la matriz intercrecida con turmalina. El porcentaje de molibdenita diseminada varía entre 10-60% del total de este mineral en las muestras y su tamaño oscila entre 0,25-0,5 mm. En las Figuras 27 y 28 se puede observar esta ocurrencia en corte pulido y en muestra de mano respectivamente, donde es posible distinguir que

los pequeños aglomerados de molibdenita observados en muestra de mano son agregados de pocos cristales de este mineral entre dos a cinco unidades aproximadamente.

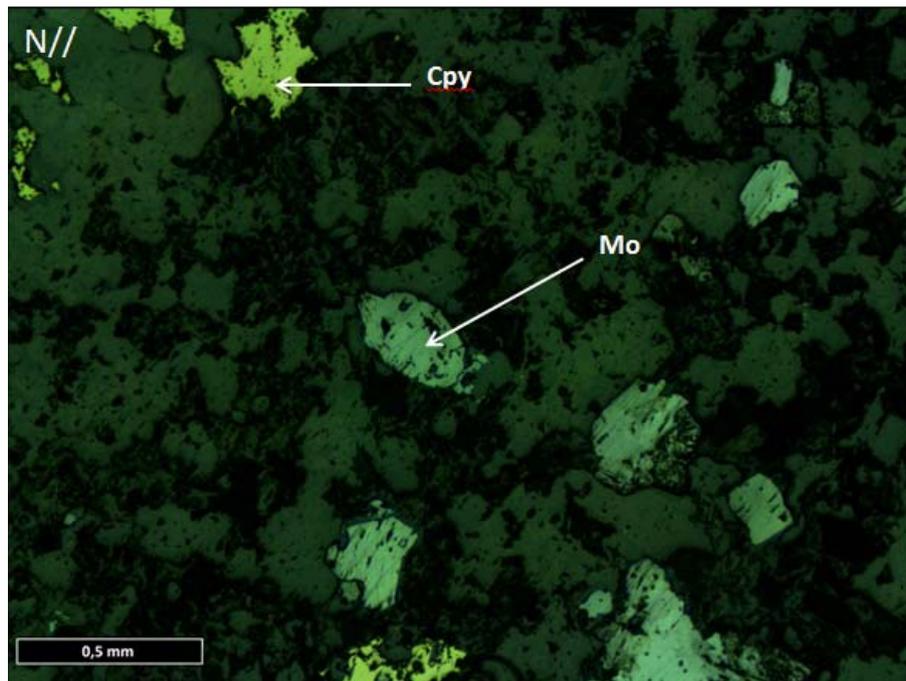


Figura 27. Fotomicrografía de la muestra RESUL01 a luz reflejada, aumento 50X y nicoles paralelos. Molibdenita diseminada. Cpy: calcopirita; Mo: molibdenita.



Figura 28. Imagen macroscópica de muestra RESUL06. Molibdenita diseminada. Mo: molibdenita.

5.1.2. VETILLAS DE MOLIBDENITA

Este tipo de ocurrencia se caracteriza por vetillas de espesor pequeño entre 0,15-0,4 mm y una granulometría fina que varía entre 0,05-0,15 mm. Es más abundante en las muestras que presentan alteración sericita y, como variante de esta ocurrencia, en las brechas también rodea los clastos conservando el tamaño de grano, por lo que no es una vetilla en estricto rigor, pero se asocia al mismo evento. Como promedio comprende el 25% de la mineralización de molibdenita alcanzando un máximo del 90% en algunos casos (muestra RESUL03, ver Anexo II). En las Figuras 29 y 30 se muestra una imagen macroscópica y a luz reflejada de corte pulido respectivamente, donde se aprecian las características de este estilo de mineralización. La Figura 31 muestra el caso especial en brechas, es decir, molibdenita rodeando clastos.

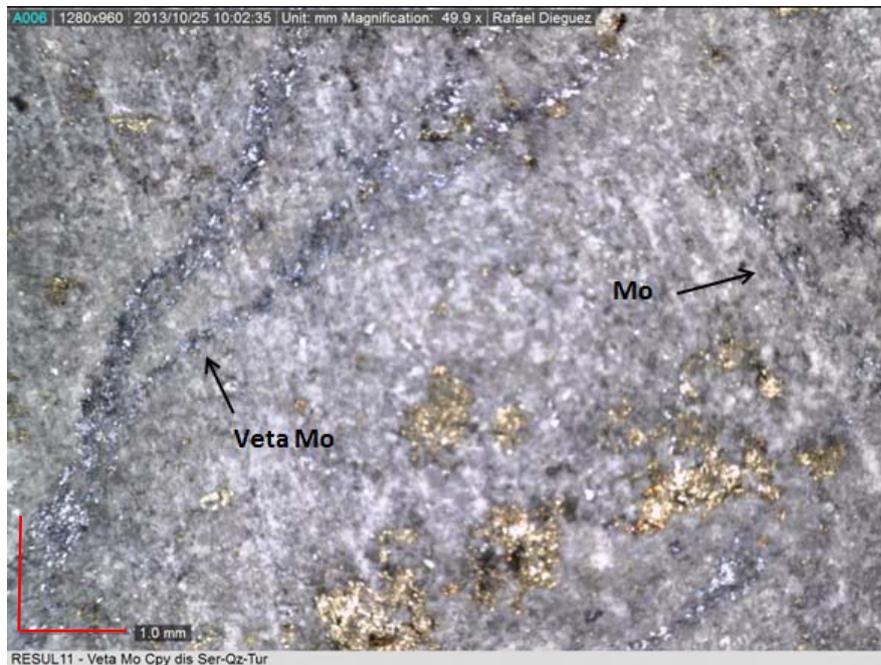


Figura 29. Imagen macroscópica de la muestra RESUL12. Vetillas de molibdenita. Mo: molibdenita.

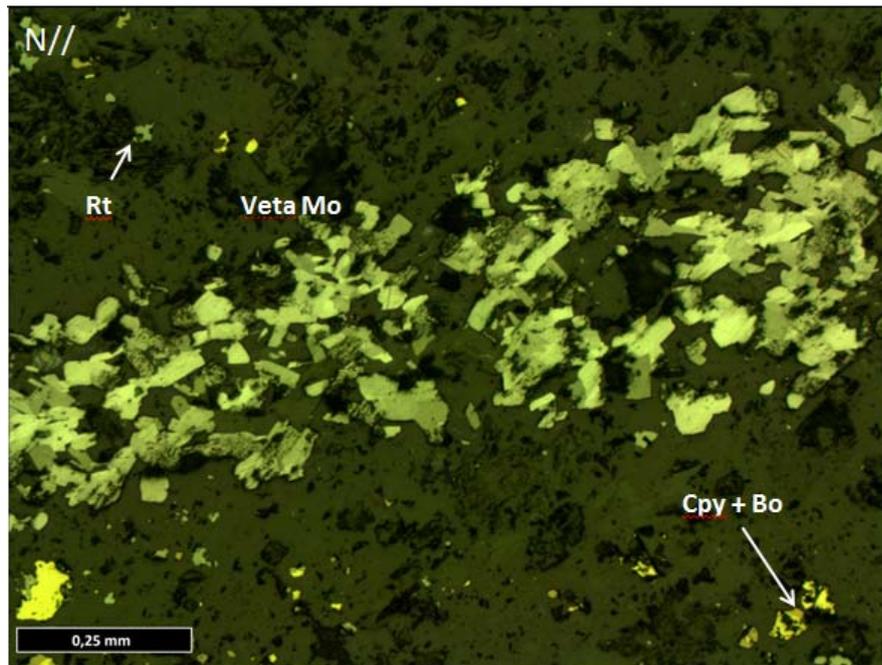


Figura 30. Fotomicrografía de la muestra RESUL12 a luz reflejada, aumento 100X y nicoles paralelos. Vetilla de molibdenita. Bo=bornita; Cpy=calcopirita; Mo=molibdenita; Rt=rutilo.

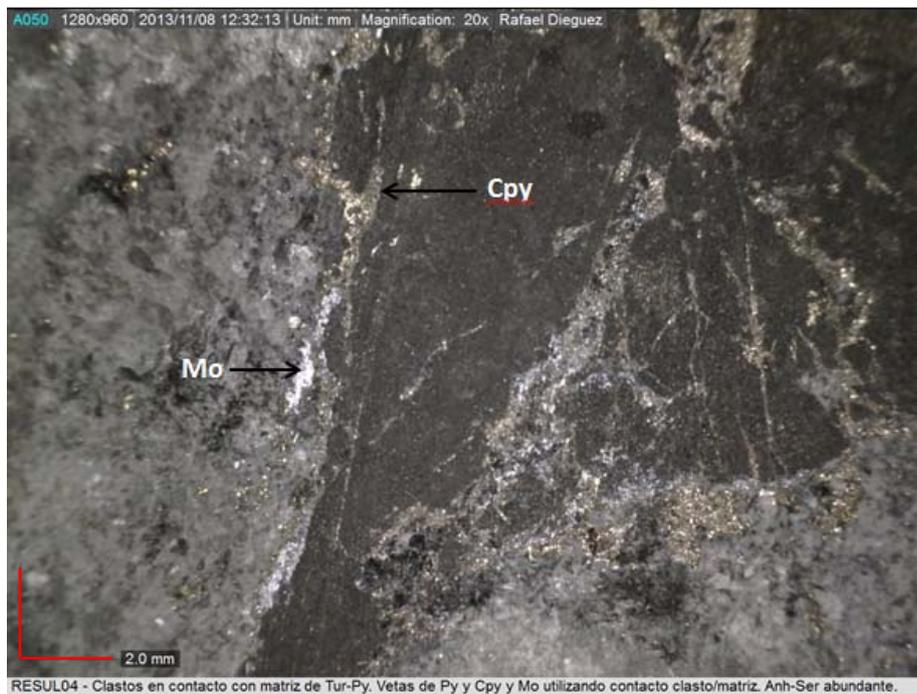


Figura 31. Imagen macroscópica de muestra RESUL04. Molibdenita rodeando clastos.

5.1.3. VETILLAS DE Qz-Anh-Mo-Cpy

Esta ocurrencia corresponde a una agrupación de vetillas, esto por dos factores principales: (1) la mineralogía presente se asocia al mismo evento; (2) la cantidad de muestras no permite realizar una clasificación más exhaustiva. Dentro del grupo se encuentran las siguientes asociaciones minerales: cuarzo-molibdenita \pm calcopirita \pm pirita (Figuras 32 y 33), anhidrita-molibdenita \pm cuarzo \pm calcopirita (Figura 34) y anhidrita-molibdenita (Figura 35). Estas asociaciones, como grupo, tienen mayor presencia en las litologías porfídicas y, además, en rocas con alteración potásica (biotita).

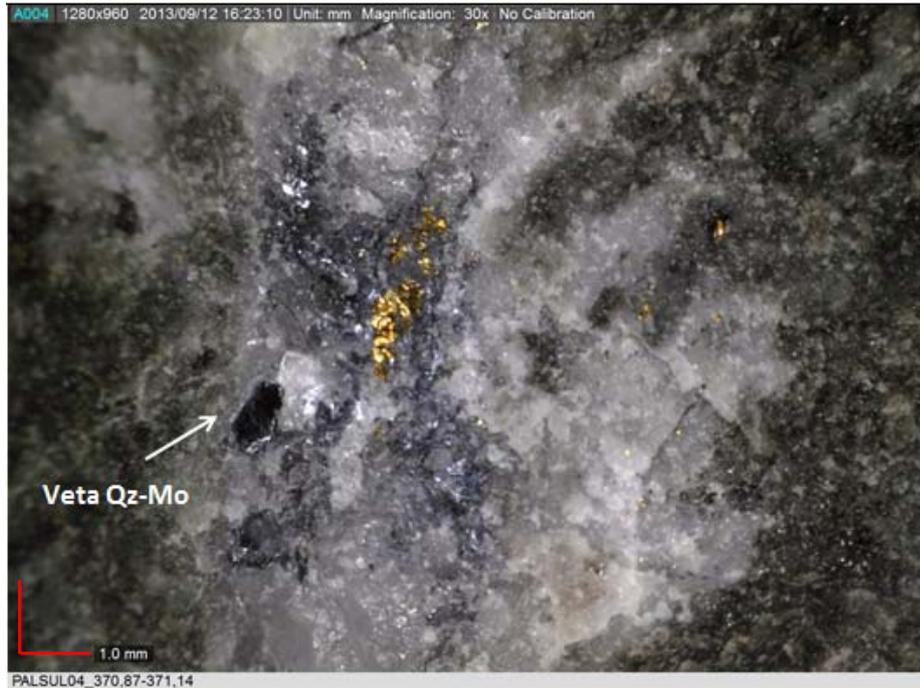


Figura 32. Imagen macroscópica de la muestra RESUL10. Vetilla Qz-Mo \pm Cpy \pm Py.



Figura 33. Imagen macroscópica de la muestra RESUL13. Vetilla Qz-Mo y Mo diseminada en la roca.

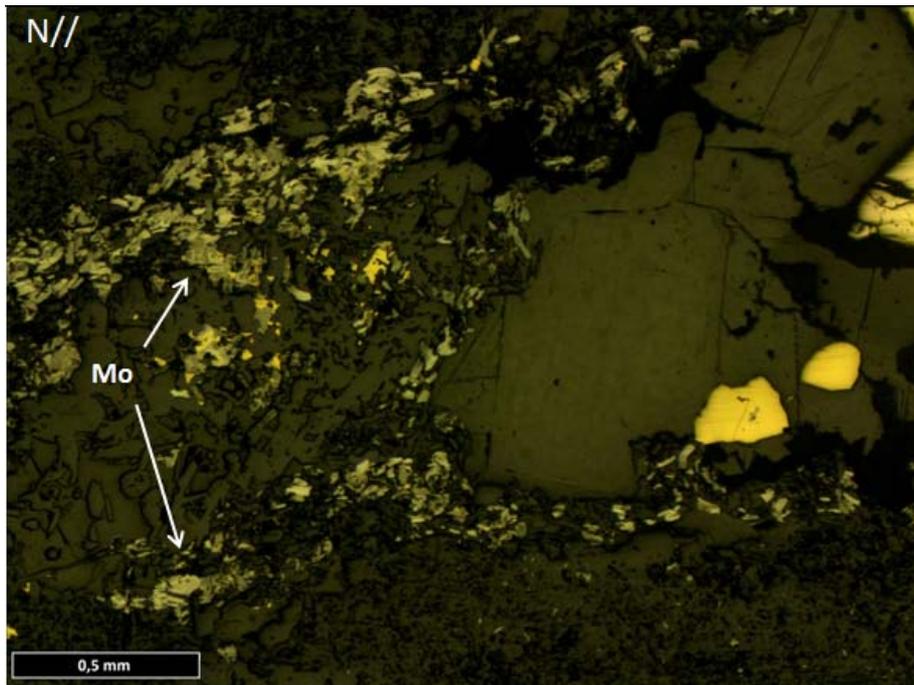


Figura 34. Fotomicrografía de la muestra RESUL09 a luz reflejada, aumento 50X y nicoles paralelos. Vetilla Anh-Mo±Qz±Cpy.



Figura 35. Imagen macroscópica de la muestra RESULT11.

5.2. DIFRACCIÓN DE RAYOS X

En la Tabla 10 se presentan los resultados obtenidos de este análisis, los cuales para efectos del estudio muestran que todas las molibdenitas son del tipo 2H (ver Anexo IV para los gráficos de cada muestra).

Tabla 10. Resultados de análisis por difracción de rayos X.

Muestra	Minerales	Politipo de molibdenita
RESULT02	Qz-Alb-Ms-Anh-Clc-Mo-Mc-Cp-Mag-Gp	2H
RESULT05	Qz-Anh-Mo-Cpy-Mag-Gp-Drv-Py-Ms	2H
RESULT08	Qz-Anh-Mo-Cpy-Mag-Drv-Py-Ms	2H
RESULT09	Qz-Anh-Cpy-Mag-Drv-Py-Ms-Mo	2H
RESULT11	Qz-Anh-Mo-Cpy-Mag-Drv-Ms-Clc-Alb	2H
RESULT13	Qz-Anh-Mo-Cpy-Mag-Drv-Ms-Clc-Gp-Alb	2H

Abreviaciones: Qz=cuarzo; Alb=albita; Anh=anhidrita; Ms=moscovita; Clc=clinocloro; Mo=molibdenita; Cpy=calcopirita; Py=pirita; Drv=dravita; Mag=magnetita; Gp=yeso.

Dentro de la mineralogía reconocida mediante esta técnica se puede observar que lo más abundante corresponde a: cuarzo, anhidrita, albita, calcopirita y moscovita. Por otro lado se diferencian las distintas fases minerales de las familias turmalina y clorita. De esta manera, para la familia de las turmalinas el mineral es dravita y en el caso de las cloritas corresponde a clinocloro (variedad rica en magnesio).

5.3. DATACIÓN Re-Os EN MOLIBDENITA

El resultado de las dataciones se resume en la Tabla 11 donde se pueden observar tres episodios distintos. Uno correspondiente a las muestras RESUL02 Y RESUL03, ya que los errores entre las muestras se traslapan. El siguiente evento corresponde a la Unidad Brecha Magmática (BXM), muestra RESUL10, y el final en la Unidad Brecha de Turmalina (BXT), muestra RESUL11 (detalle de concentraciones e imágenes en Anexo IV).

Tabla 11. Edades Re-Os de las muestras analizadas.

Muestra	Ocurrencia de molibdenita	Re (ppm)	Age (Ma)	Error 2 σ
RESUL02	Vetilla de molibdenita de tamaño fino	354,0	7,08	0,02
RESUL03	Vetilla de molibdenita de tamaño fino	968,9	7,13	0,08
RESUL10	Vetilla de Qz-Mo \pm Cpy \pm Py de grano grueso	161,5	6,68	0,13
RESUL11	Vetilla de Qz-Mo \pm Cpy \pm Py de grano grueso	699,1	6,40	0,06

Dado los resultados se tiene que para las muestras RESUL02 y RESUL03 es el mismo evento con edad 7,21-7,05 Ma. En el caso de la muestra RESUL10 su edad está entre 6,68-6,55 Ma y para RESUL11 es 6,46-6,34 Ma. Como estas dos últimas corresponden al mismo tipo de vetillas se puede agrupar como un largo periodo de actividad hidrotermal entre 6,68-6,34 Ma.

5.4. ANÁLISIS QUÍMICO DE LAS ROCAS

Se presentan a continuación los elementos de interés (Mo y Re), que se obtuvieron mediante ICP-MS en las pulpas (Tabla 12).

Tabla 12. Abundancia de Mo y Re en las pulpas correspondientes a las muestras tomadas.

Muestra	Litología	Alteración	Ocurrencia de Molibdenita	Mo ppm	Re ppm
RESUL01	Cuarzomonzonita equigranular	Chl-Alb-Py & Qz-Ser	Diseminada tamaño medio	-	-
RESUL02	Granodiorita equigranular fina	Chl-Ser-Alb-Py	Veta de Mo fina y diseminada fina	660	0,883
RESUL03	Granodiorita equigranular de grano medio	Ser-Chl-Alb	Veta de Mo fina y rodeando clastos	838	2,12
RESUL04	Granodiorita porfídica y brecha de biotita	Chl-Ser-Alb \pm Py	Veta de Mo fina	1480	1,145

Muestra	Litología	Alteración	Ocurrencia de Molibdenita	Mo [ppm]	Re [ppm]
RESUL05	Granodiorita porfídica y brecha de biotita matriz de turmalina	Ser-Chl	Veta de Mo fina	2865	2,033
RESUL06	Cuarzomonzonita fina	Qz-Ser-Ank	Veta de Mo de grano medio y diseminada de grano medio	945	1,85
RESUL07	Granodiorita profídica	Ser-Chl-Alb	Veta Anh-Mo grano grueso y diseminada	1736	0,996
RESUL08	Brecha de biotita	Qz-Ser & Tur	Diseminada solo en clastos y en vetas de Cpy	935	3,34
RESUL09	Andesita porfídica con intrusiones de brecha de turmalina	Ser-Tur	Veta de Mo fina y diseminada; Mo fina reutilizando veta Anh±Cpy±Py	2637	1,745
RESUL10	Brecha de biotita	Bt-Kfeld & Chl-Alb	Veta Qz-Mo grano grueso	-	-
RESUL11	Granodiorita porfídica fina con sectores de brecha de turmalina	Bt & Alb & Qz-Ser	Mo grano grueso en vetas de Anh	1051	0,253
RESUL12	Brecha de biotita	Bt & Qz-Anh & Chl-Alb-Py	Veta de Mo fina y diseminada; rodea clastos	1540	0,852
RESUL13	Cuarzomonzodiorita porfídica	Chl-Ser & Alb	Vetas Anh-Mo y diseminada	557	0,613

Abreviaciones: Qz=cuarzo; Alb=albita; Anh=anhidrita; Ser=sericita; Chl=clorita; Cpy=calcopirita; Py=pirita; Tur=turmalina; Kfeld=feldespató potásico; Bt=biotita Ank=ankerita.

En la tabla se puede observar que las concentraciones de renio comprenden un amplio rango siendo su nivel más bajo en la muestra RESUL11 con 0,25 ppm de Re y el más alto para la muestra RESUL08 con 3,34 ppm de Re. El promedio de las muestras es de 1385 ppm para el Mo y de 1,44 ppm para el Re, por lo que se observa que a nivel de roca total la abundancia del Mo es tres órdenes de magnitud mayor que el Re para las muestras seleccionadas.

5.5. ANÁLISIS QUÍMICO DE MOLIBDENITA

Los resultados obtenidos mediante ICP-MS e INAA se presentan en la Tabla 13 donde se observa que a nivel general todos los elementos presentan una alta variabilidad principalmente para Au y Ag con rangos entre 82-1010 ppb y 1,21-55,3 ppm respectivamente. Las concentraciones de Cu en las molibdenitas alcanzan en promedio el 0,63% (6293,3 ppm). Cabe destacar que este número está subestimado, ya que se usaron los límites de detección superiores, por lo que al menos esa es la abundancia promedio. El caso del Re es tanto favorable como desfavorable, debido a que las concentraciones de nueve muestras están por sobre el límite de detección superior, pero no son cuantificadas de manera precisa ni exacta.

Tabla 13. Elementos de interés analizados en el concentrado manual de molibdenita. Para el cálculo de los promedios se usó el límite de detección como valor.

Muestra	Au (1) [ppb]	Ag (2) [ppm]	Cu (3) [ppm]	Re (4) [ppm]
RESUL 02	402	20,8	3900	>100
RESUL 03	1010	55,3	523	>100
RESUL 04	265	11,2	>10000	>100
RESUL 05	408	8,02	>10000	>100
RESUL 06	169	1,21	1050	>100
RESUL 08	103	4,04	3360	>100
RESUL 09	316	5,84	>10000	>100
RESUL 11	99	4,43	>10000	>100
RESUL 12	82	6,86	>10000	54,1
RESUL 13	308	26,3	4100	>100
Promedio	316,2	14,4	6293,3	95,41

Los elementos son reportados por las metodologías: (1) INAA; (2) ICP-MS e INAA; (3) ICP-MS y (4) ICP-MS. Abreviaciones: ppm=partes por millón; ppb= partes por billón. Elementos: Au=Oro; Ag=Plata; Cu=Cobre; Re=Renio.

Analizando los valores promedios de los elementos se puede ver que dentro de las molibdenitas los elementos más abundantes corresponden al Cu, Re y Ag en menor medida. La razón de estos valores será revisada en el capítulo de discusión.

5.6. MUESTRAS DE PULPA

Las 231 muestras analizadas corresponden a distintas unidades litológicas y alteraciones (Tabla 14). En estos valores se puede observar que debido a los filtros aplicados (basados en las concentraciones de Mo) las litologías que presentan mayor cantidad de muestras con altas concentraciones de Mo corresponden a las brechas, BXM y BXT, pero esto a nivel general no es tan marcado. En el caso de las alteraciones, este si es más notorio siendo las alteraciones con sericita las que muestran mayor cantidad de muestras con valores altos de Mo. (Los valores de todas las muestras se encuentran en el Anexo IV).

Tabla 14. Cantidad de muestras de pulpa para cada litología y alteración.

Litología	<600	>600	Total	Alteración	<600	>600	Total
	ppm	ppm			ppm	ppm	
AND	16	23	39	K	19	1	20
PIP	21	20	41	BT	25	43	68
PIT	28	15	43	SET	28	39	67
BXM	17	31	48	SE	27	33	60
BXT	21	28	49	CL	6	0	6
PPM	10	1	11	AR	8	2	10

Abreviaciones de Unidades: AND= Andesita; PIP=Pórfido Intermineral Principal; PIT=Pórfido Intermineral Tardío; BXM=Brecha Magmática; BXT=Brecha de Turmalina; PPM=Pórfido Postmineral. Abreviaciones de alteraciones: K=Feldespatos Potásicos; BT=Biotita; SET= Sericita-Turmalina; SE=Sericita; CL=Cloritización; AR=Argílica

5.6.1. ESTADÍSTICAS GENERALES

A continuación se analizarán los resultados entregados por las muestras de pulpa. En primera instancia se realiza una revisión general de los valores promedio, desviaciones estándar, histogramas y gráficos de dispersión. Así, en la Tabla 15 se muestra el valor promedio para el Re y Mo y su comparación con concentraciones en muestras similares.

Tabla 15. Valores promedio para Mo y Re y su comparación con el planeta y otros yacimientos (Romero 2009~).

Elemento	Promedio	D.S.	Promedio Corteza	F.C.	Promedio Los Bronces	F.C.	Promedio Río Blanco	F.C.
Re [ppm]	0,497	0,612	0,0007	710	-	-	-	-
Mo [ppm]	620,9	691,9	1,20	517,4	250	2,48	290	2,14

D.S.=desviación estándar; F.C.=factor de concentración.

Se puede observar que en primera instancia los valores presentes en Los Sulfatos son mayores a los de Los Bronces y Río Blanco, pero cabe destacar que las muestras seleccionadas fueron, en su mayoría con altas leyes de Mo, por lo que este dato es solo referencial.

En la Figura 36 se muestran los histogramas de los resultados, donde se observa el comportamiento esperado para este tipo de elementos, el que corresponde a una distribución log-normal. Los peaks observados en leyes más altas (1477,7 ppm para el Mo; 1,561 y 2,228 ppm para el Re) se atribuyen a la selección de muestras donde la mayor cantidad corresponde a las muestras con concentraciones de molibdeno sobre 600 ppm (118 muestras).

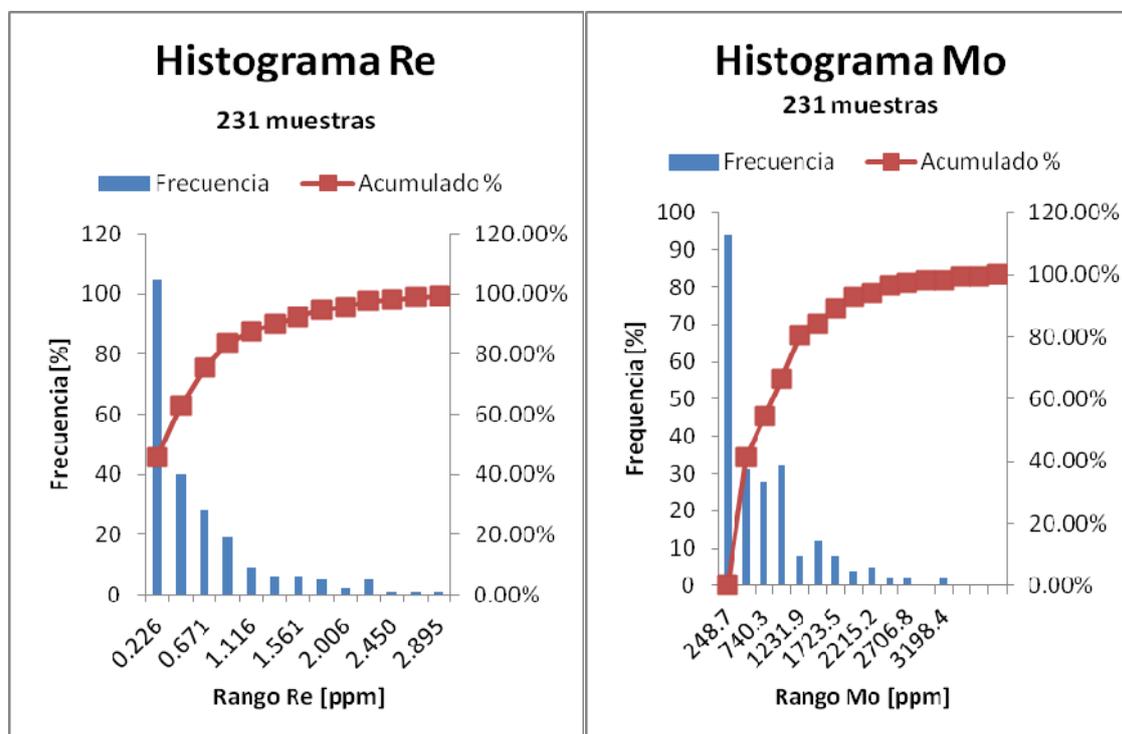


Figura 36. (A) Histograma de leyes de Re. (B) Histograma de leyes de Mo

Se analizó la relación entre el Mo y Re entre estas muestras, lo que se muestra en la Figura 37 donde se establece una correlación (R^2) de 0,5, por lo que existe una correspondencia entre los datos la cual es la esperada, es decir, a mayores concentraciones de Mo mayor será la concentración de Re. Este resultado hace necesario un análisis de los datos según la litología y la alteración a la que corresponden las muestras, esto se presenta en el capítulo de discusión (Capítulo 6).

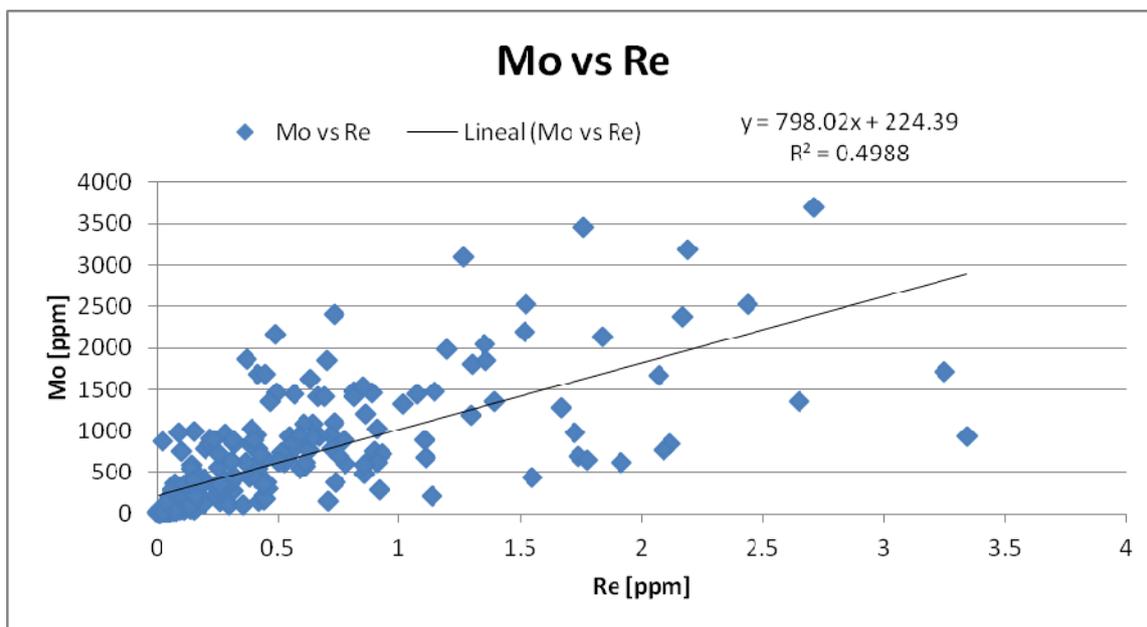


Figura 37. Gráfico de dispersión Mo vs Re de todas las muestras de pulpa.

5.7. MODELO DE DISTRIBUCIÓN DEL RENIO

En base a los datos de pulpa (231 muestras) se realizó un modelo de distribución, con el *software* Leapfrog, de concentraciones de Re en base a tres envoltentes: 1,3 ppm, 0,78 ppm y 0,42 ppm. Los parámetros para modelar se pueden observar en la Tabla 16. Esto se modeló con un lineamiento N-NW observado en Los Sulfatos (Figura 9) y además se consideró un área de influencia de 200 metros de distancia al sondaje.

Tabla 16. Parámetros para el modelo de distribución de renio.

Tendencia Global		Parámetros del variograma	
Dip	87,457	Modelo	Esferoidal
Dip direction	57,102	Sill	0,37
Pitch	90	Rango	200
Radios del elipsoide	2:3:1 (Max:Int:Min)	Alfa	3
		Efecto pepita	0,001
		Drift	Constante (Kriging ordinario)
		Precisión	0,001

El resultado del modelamiento se puede observar en las Figuras 38 a 40. La envolvente 1,3 ppm (Figura 38) se concentra principalmente en el sector de Los Sulfatos y se presenta también en forma discreta en la profundidad del sector Paloma. La envolvente 0,78 ppm (Figura 39) muestra el mismo comportamiento, pero como es de esperarse aumenta en sus dimensiones. En el caso de la envolvente de menor ley, 0,42 ppm (Figura 40), esta es considerablemente mayor y se puede observar que los sectores de menor concentración de Mo son excluidos.

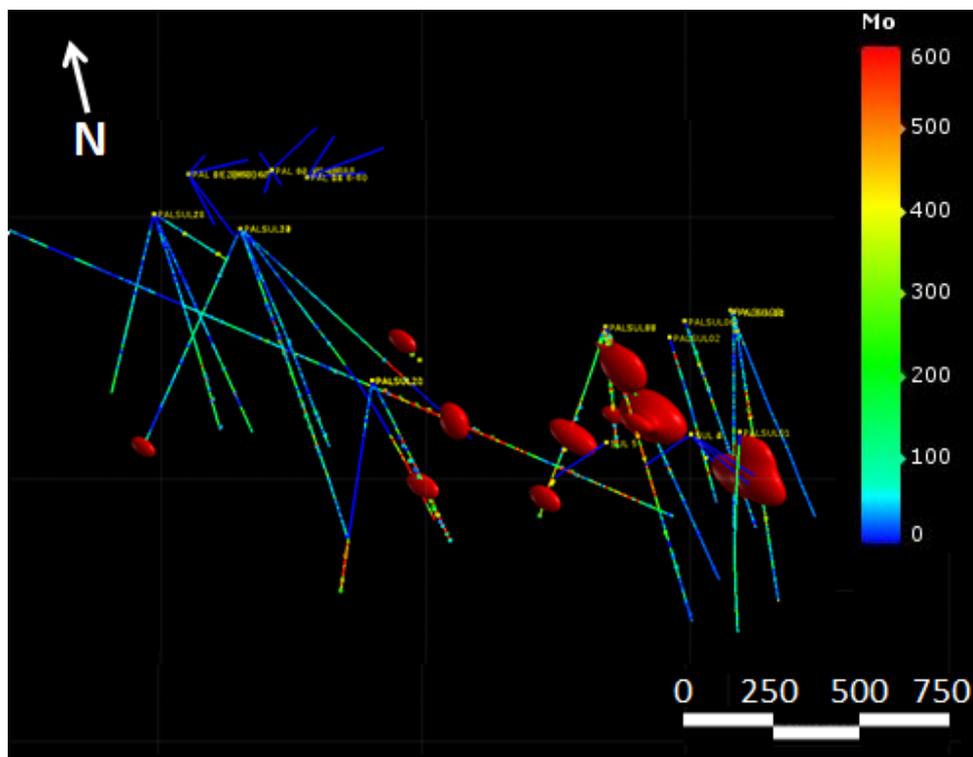


Figura 38. Envolvente 1,3 ppm de Re.

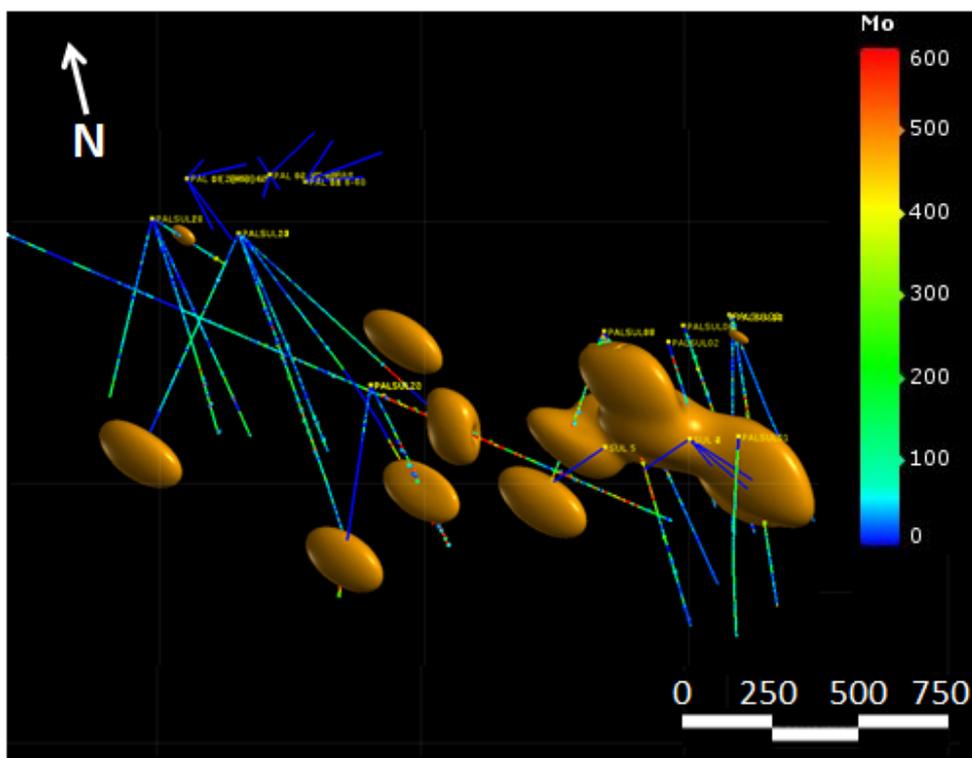


Figura 39. Envoltane 0,78 ppm de Re.

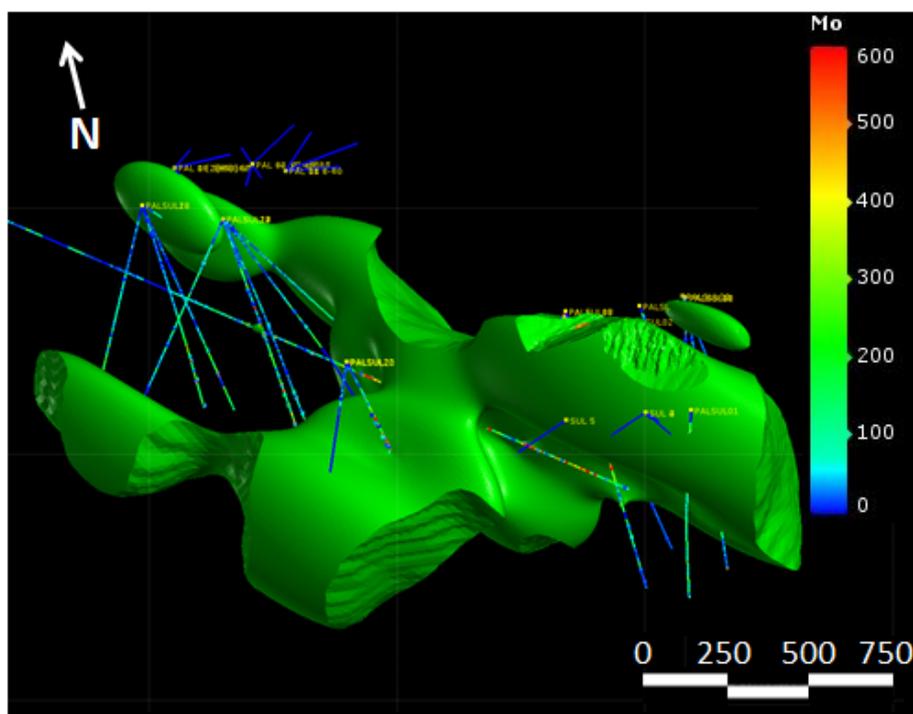


Figura 40. Envoltane 0,42 ppm de Re.

La forma de la envolvente 0,42 ppm evidencia un espacio considerable en los datos del sector de La Paloma, por lo que se revisó en comparación al Cu, ya que se cuenta con la información de los modelos de bloques para Cu y Mo. La Figura 41 muestra un perfil donde se puede ver que donde se concentran las altas leyes de Cu es el sector anteriormente mencionado y por lo tanto la relación de Cu con Mo y Re es totalmente opuesta en base a estos datos.

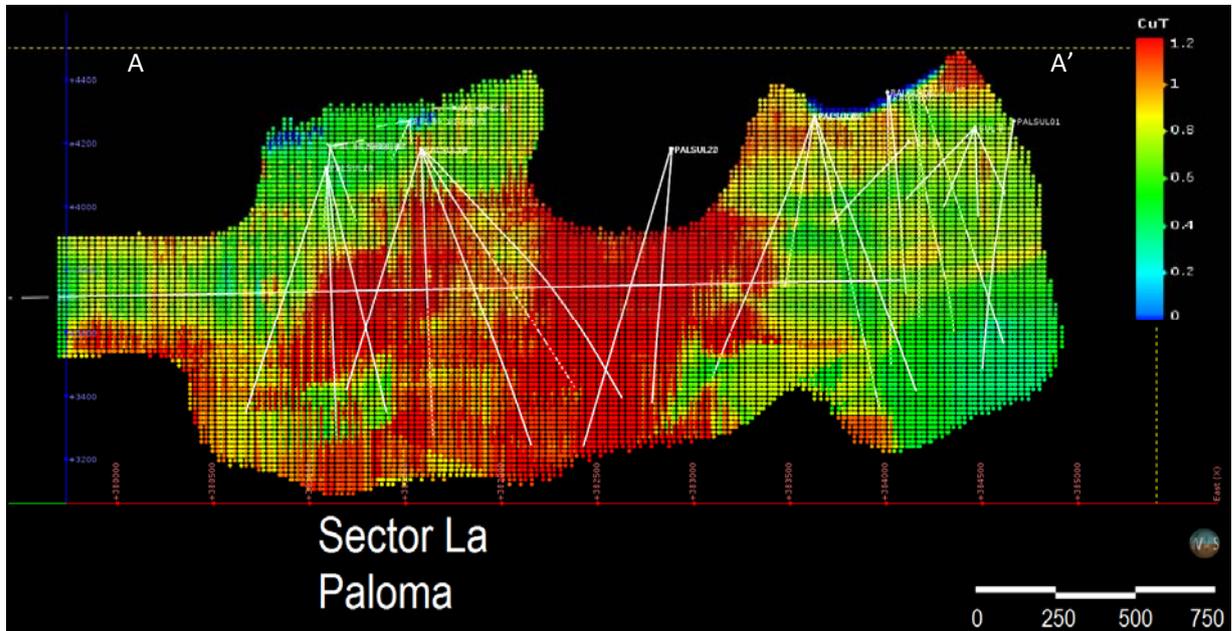


Figura 41. Sección del modelo de bloques de leyes de Cu en AA'. Se observa una concentración de los altos valores de Cu en el sector de La Paloma.

6. DISCUSIONES

6.1. DESCRIPCIONES

En el depósito Los Sulfatos la molibdenita se presenta fundamentalmente de tres maneras: diseminada, en vetillas de molibdenita y en vetillas Qz-Anh-Mo-Cpy. Este modo de ocurrencia se asocia a dos eventos principales; uno correspondiente a las vetas de molibdenita y el segundo a molibdenita diseminada y a las vetillas Qz-Anh-Mo-Cpy. En las muestras descritas no se encontraron relaciones de corte entre estas vetillas por lo que esta agrupación y separación de eventos debe ser definida en base a la información geocronológica que se generó en este estudio.

6.2. DIFRACCIÓN DE RAYOS X

Los resultados entregados por este análisis solo permiten una diferenciación sobre el politipo de molibdenita presente, sin embargo no permite establecer parámetros o controles sobre el amplio rango de concentraciones de Re en las molibdenitas analizadas. Por otro lado, la mineralogía de las muestras es acorde con las alteraciones definiendo que tipo de mineral es dentro de la familia respectiva. Así, se tiene que la dravita es el extremo rico en Na, Mg y Al de las turmalinas, el clinocloro es una variedad de las cloritas rica en Mg y la sericita es fundamentalmente moscovita de grano fino. Por lo tanto, la sericita gris verde presente en la alteración sericita estaría compuesta fundamentalmente por moscovita y clinocloro.

Tabla 17. Minerales específicos de cada familia encontrados en las muestras.

Familia	Mineral	Fórmula Química
Turmalinas	Dravita	$\text{Na}_2\text{Mg}_3\text{Al}_6(\text{BO}_3)_3\text{Si}_6\text{O}_{18}(\text{OH})_4$
Cloritas	Clinocloro	$\text{Mg}_{3,75}\text{Fe}_{1,25}^{2+}\text{Si}_3\text{Al}_2\text{O}_{10}(\text{OH})_8$
Micas Blancas	Moscovita	$\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$

6.3. DATACIÓN Re-Os EN MOLIBDENITA

Relacionando estos datos con el modelo evolutivo del depósito se tiene que las molibdenitas de tamaño fino se presentan en su mayoría en la Unidad Pórfido Intermineral Principal (PIP), además las muestras datadas pertenecen a esta unidad.

En el caso de la edad calculada para la muestra RESUL10, la unidad a la que pertenece (BXM) está originada por una sucesión pulsos tempranos, los que dan origen a las brechas magmáticas y de biotita. La edad de la muestra RESUL11, la más joven, también corresponde a una veta cuarzo-molibdenita en la unidad (BXT) por lo que se asocia al final del evento. Una secuencia paragenética integrando la nueva información geocronológica se esquematiza en la Figura 42.

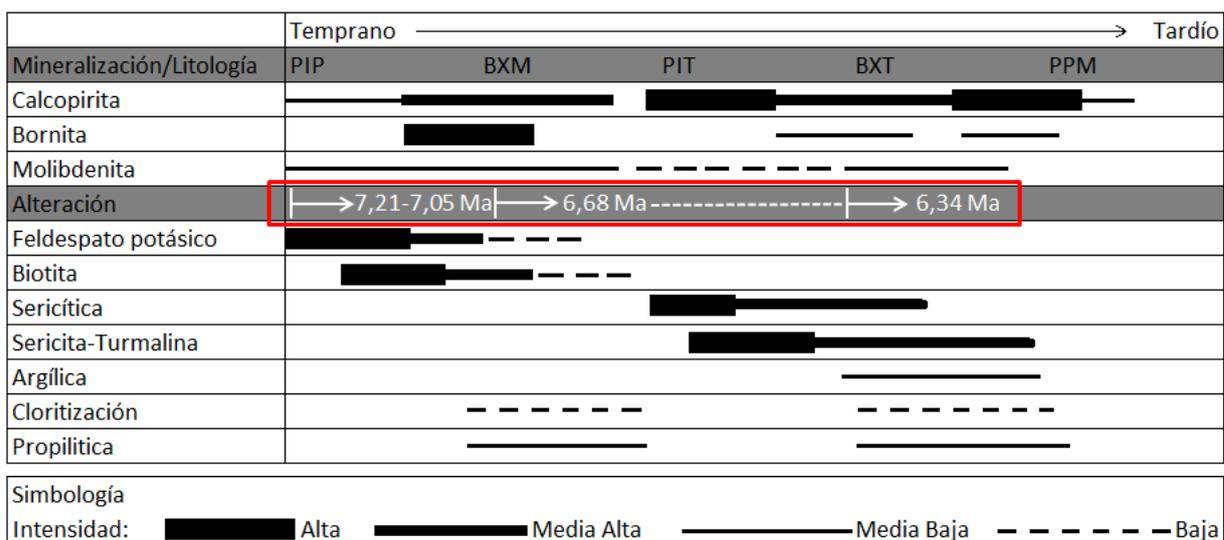


Figura 42. Paragénesis y resultados obtenidos. Modificado de Zamorano y Pablo (2013).

6.3.1. COMPARACIÓN CON OTROS SECTORES DEL DISTRITO

Las muestras analizadas en este estudio están en el rango 7,21 Ma a 6,34 Ma el cual es más antiguo que las edades reportadas por Deckart et al. (2014). Estas edades corresponden a dos molibdenitas (vetillas de molibdenita) del rajo de Los Bronces, $5,65 \pm 0,03$ Ma y $5,35 \pm 0,03$ Ma, y una muestra de molibdenita en la matriz de brecha con una edad de $8,36 \pm 0,06$ Ma en el sector de San Manuel. Si se consideran los datos de Mathur et al. (2001) de 5,26 a 6,30 Ma y datos de edades Re-Os de Toro et al. (2012) de Los Sulfatos, 7,50-7,39 Ma y $6,56 \pm 0,05$ Ma, se puede apreciar que la mineralización de molibdenita ocurrió dentro de un periodo extenso a nivel distrital.

Por otro lado separando los sectores se observa que la actividad hidrotermal y los eventos mineralizadores ocurrieron en primera instancia en Los Sulfatos y posteriormente en Los Bronces.

6.3.2. ABUNDANCIA DE Re EN MUESTRAS ANALIZADAS Y DEL DISTRITO

Para tener una noción de la concentración de Re en las muestras en relación a otros sectores del Distrito Río Blanco-Los Bronces se comparan las concentraciones obtenidas para Los Bronces, San Enrique Monolito (SEM) y Los Sulfatos (Tabla 18). En promedio el contenido de Re de las muestras de Los Sulfatos es mucho mayor que en las muestras de San Enrique Monolito y Los Bronces. En línea con esto, solo las muestras PS-6 y RESUL10 presentan valores que están por debajo de los valores de Re de las muestras de Los Bronces y solo la muestra PS-6 presenta un valor menor que la muestra con valor más bajo de SEM (CC-2). Basado en el limitado número de muestras analizadas, se puede concluir que las molibdenitas de Los Sulfatos tienen una mayor concentración de Re en comparación con el resto de los depósitos del distrito.

Otro punto a señalar es que la concentración de Re en las muestras de Los Bronces es similar al promedio del contenido de Re en los concentrados de molibdeno (Tabla 7).

Tabla 18. Concentraciones de re en molibdenitas datadas en distintos sectores del Distrito Río Blanco Los Bronces (para el detalle de las muestras ver Anexo I).

Los Sulfatos		SEM		Los Bronces	
Muestra	Re [ppm]	Muestra	Re [ppm]	Muestra	Re [ppm]
PS-5-1	1092,1	CC-1	133,4	MO-105 (965m)	288,1
PS-5-2	1139,2	CC-2	113,8	MO-105 (609m)	306,3
PS-6	33,5	CC-4	198	Promedio	297,2
PS-10	375,2	Promedio	148,4		
PS-14	216,5				
RESUL02	354,0				
RESUL03	968,9				
RESUL10	161,5				
RESUL11	699,1				
Promedio	560				

6.4. ANÁLISIS QUÍMICO DE ROCA TOTAL

A partir de estos datos se puede observar que las rocas que presentan mineralización de molibdenita de grano fino, tienden a mostrar una mayor concentración de Re. A su vez, las alteraciones con sericita como mineral dominante muestran el mismo patrón. Esta alteración genera un ambiente ácido y la molibdenita es la fase estable en ese medio (considerando una temperatura de 400°C), por lo que el Re se mantendrá en las rocas, ya que la molibdenita precipitó o no se disolvió en caso de presentarse previamente. Para corroborar esto se necesita información sobre las condiciones fisicoquímicas de los fluidos que alteraron la roca, de esta manera se podrá comparar las condiciones versus la estabilidad del mineral. Por otro lado, de acuerdo a los datos obtenidos, no es posible establecer un control litológico sobre las concentraciones de Re en molibdenitas.

En la Figura 43 se puede observar lo mencionado anteriormente donde las rocas con alteración sericita contienen las mayores concentraciones de Re.

Gráfico Re vs Mo

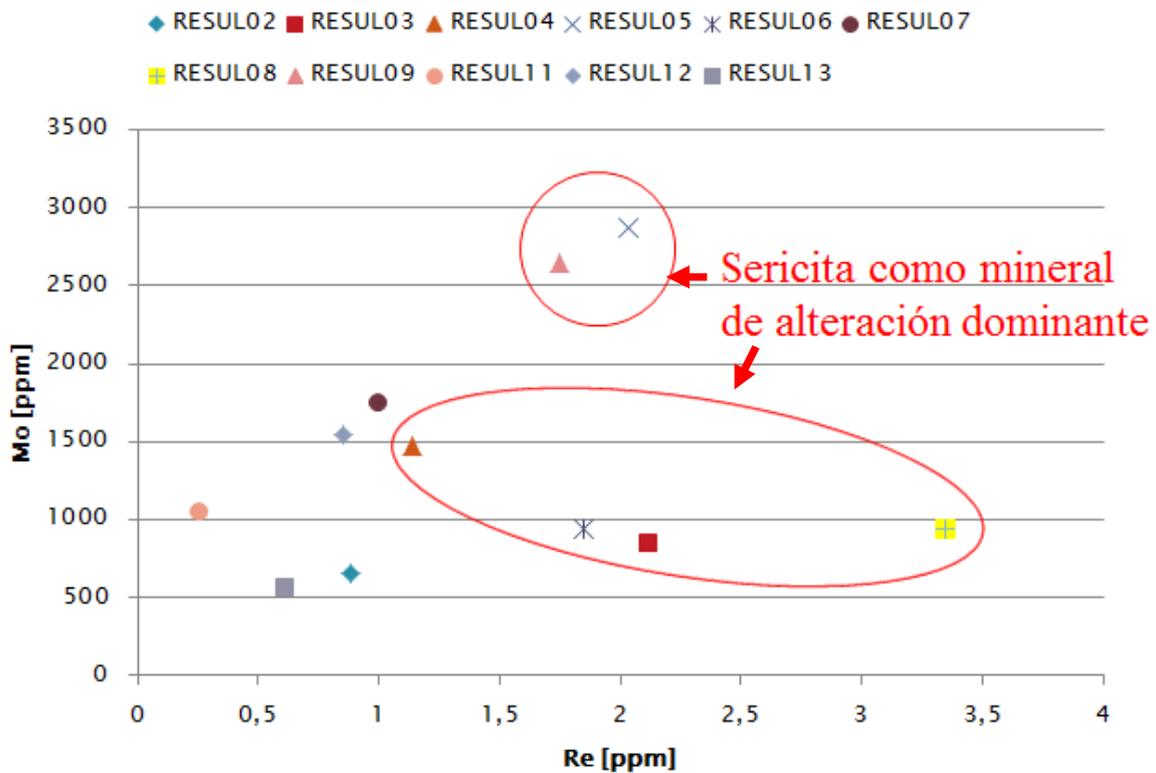


Figura 43. Gráfico Re vs Mo de las pulpas correspondientes a las muestras macroscópicas seleccionadas. En rojo se destacan las muestras con sericita como mineral de alteración dominante.

6.5. ANÁLISIS QUÍMICO DE MOLIBDENITA

Se comparan las abundancias promedio de Au, Ag y Cu en las muestras de concentrado manual de molibdenita con respecto al valor en la corteza terrestre para determinar el factor de concentración de estos elementos (Tabla 19). El Re no se considerará debido a que su concentración no pudo ser determinada adecuadamente. Se observa que para el Au este está concentrado cerca de 32 veces. Lo mismo ocurre con la Ag, pero esta está concentrada cerca de 100 veces en el concentrado manual analizado.

Tabla 19. Valores promedio de las muestras y la corteza terrestre.

	Au [ppb]	Ag [ppm]	Cu [ppm]
Muestras	158	7,45	3176,7
Corteza terrestre	5	0,08	60,0
Factor de concentración	31,6	96,50	52,9

La presencia de estos valores en el concentrado manual de molibdenita llama la atención, ya que según lo reportado por Newberry et al. (1979a, b), el Au, el Cu y la Ag no son impurezas de la molibdenita, por lo que la explicación se vincularía a la separación misma de las muestras. Durante este proceso es posible que otros minerales hayan formado parte de la muestra, alterando elevadamente los valores de Cu y también los de Au y Ag. Sin embargo, este resultado llama la atención dado que tanto en el proceso de separación manual, como en el proceso de la Planta de Molibdeno de la Planta las Tórtolas se encuentran valores de estos elementos (Tabla 7, valores de Ag y Cu).

Dadas las condiciones, no se pudo analizar el Re, por lo que se propone que se reanalicen las muestras mediante activación neutrónica usando la metodología del trabajo de Castillo (2012). Así, se podrá tener una visión real del grado de enriquecimiento de Re en las molibdenitas.

6.6. MUESTRAS DE PULPA

Los resultados obtenidos hacen necesaria la revisión de los datos buscando controles espaciales, litológicos o de alteración.

Considerando la distribución espacial de estas muestras (Figura 44) se observa una clara concentración de altos valores, tanto para el Re como para el Mo en el sector sur del depósito, sector Los Sulfatos. Por el contrario, se observa que las menores concentraciones e incluso la ausencia de muestras se encuentran más al norte, sector La Paloma. Esto está vinculado a las litologías y alteraciones que se presentan en esas zonas (unidades PIP, PIT y alteraciones potásica (biotita) y sericita en el caso del sector Los Sulfatos), las que corresponden al evento más temprano.

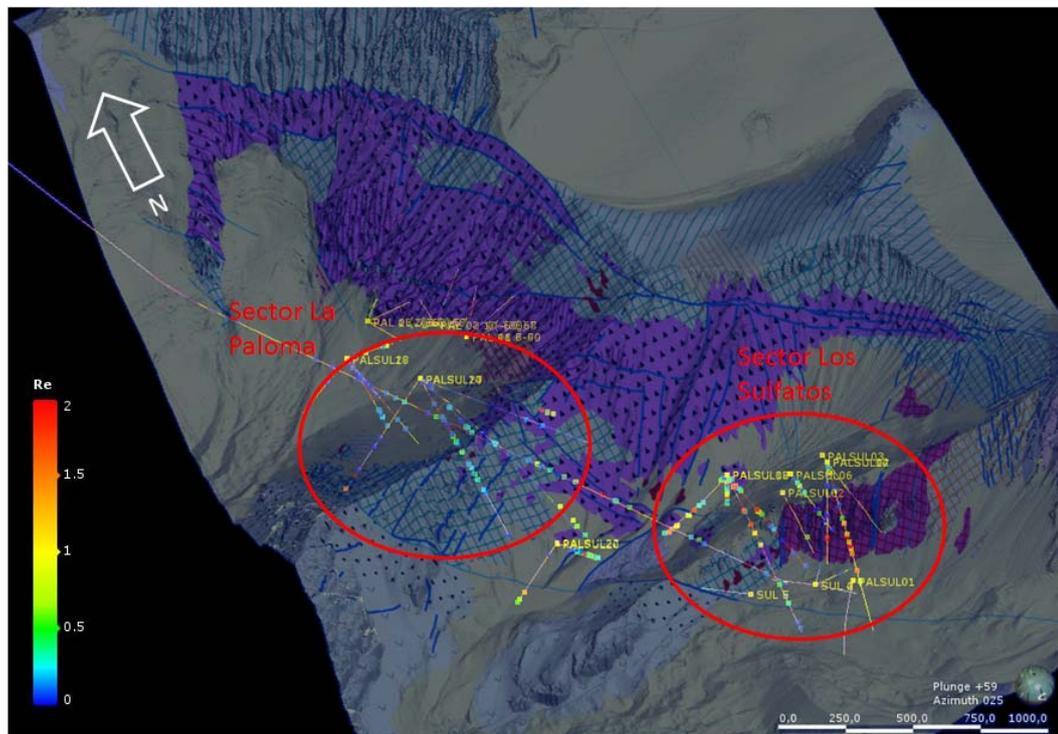


Figura 44. Distribución espacial de las muestras de pulpa según su concentración de renio.

6.6.1. DATOS SEGÚN LA LITOLOGÍA

Para estudiar si existe un control litológico en la distribución de las concentraciones de Re y Mo, se presenta en la Figura 45 donde se pueden identificar las muestras por la unidad a la que pertenecen. Las primeras observaciones indican que PPM no es importante, ya sea para el Mo como para el Re, en comparación con todo el resto de las litologías. Por otro lado, las que presentan mayor cantidad de valores altos de Re corresponden a PIT, PIP y AND, y en menor medida la Unidad BXT. De manera similar, estas reflejan las mayores concentraciones de Mo pero se ve que la mayor cantidad de muestras con altos valores se vinculan a BXM. Aquí, además, se nota que el grueso de las muestras correspondientes a esta unidad no sobrepasan 1 ppm de Re.

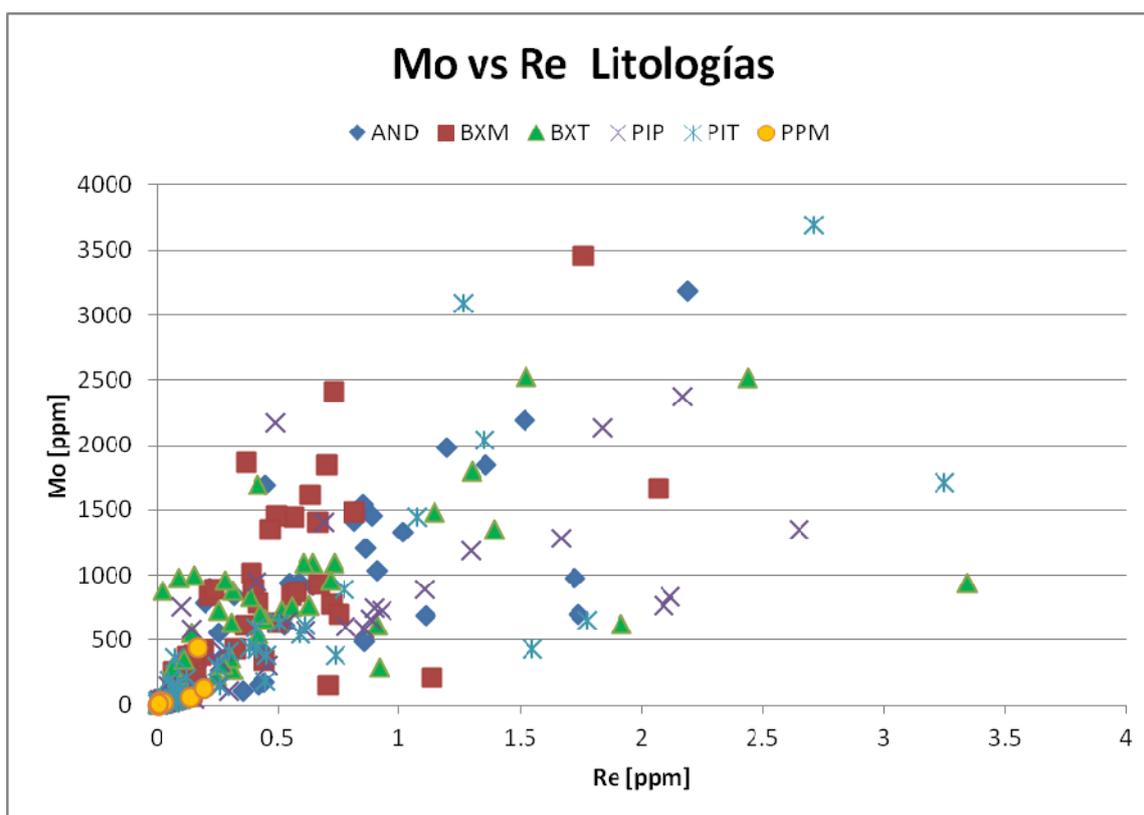


Figura 45. Gráfico de dispersión Mo vs Re por litología. Abreviaciones: AND=Andesita; BXM=Brecha Magmática; BXT=Brecha de Turmalina; PIP=Pórfido Intermineral Principal; PIT=Pórfido Intermineral Tardío; PPM=Pórfido Postmineral.

En el Figura 46(A) se observan los promedios de leyes de Re para cada litología. De aquí se desprende que las unidades que presentan mayores leyes son $AND > PIP > BXT > PIT$, lo que a nivel general tiene relación con lo visto en el gráfico de dispersión (Figura 45), quedando claro que si bien algunas litologías presentan valores puntuales muy altos de Re, no representan el general de estas. Cabe destacar que considerando todas las muestras, los niveles promedio son bastante similares, excepto el caso de PPM. Con respecto al Figura 46(B) se ve que el comportamiento de las concentraciones de Mo es similar y presenta la variabilidad esperada de los datos, es decir, el comportamiento de la abundancia entre estos elementos no es exactamente el mismo (dada su correlación). Otro punto destacable son las altas concentraciones que muestra la Unidad AND lo que se revisará más adelante.

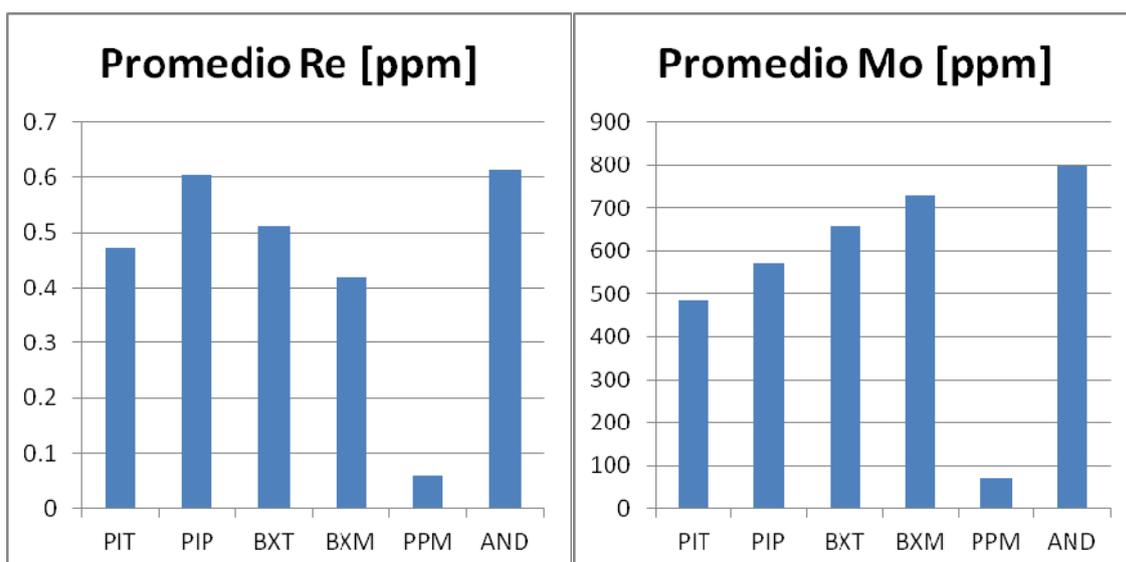


Figura 46. (A) Promedios de Re por litología. (B) Promedios de Mo por litología.

Se realizó la separación de las muestras por su concentración de Mo (<600ppm y >600 ppm), y se revisaron los valores promedio por litología (Tabla 20). En esta se puede ver que en los altos valores de Mo, la variabilidad del Re es mayor y los valores son más altos en las litologías PIT y PIP. Por otro lado, en el rango de menores concentraciones, el Re tiene un comportamiento más uniforme exceptuando el caso de la unidad AND en que es casi el doble que el resto de las litologías.

Tabla 20. Valores promedio de Re y Mo según el rango de leyes Mo anteriores.

>600 ppm de Mo			<600 ppm de Mo		
Litología	Re [ppm]	Mo [ppm]	Litología	Re [ppm]	Mo [ppm]
PIT	1,111	1109	PIT	0,099	109
PIP	1,120	1053	PIP	0,111	113
BXT	0,786	1042	BXT	0,145	148
BXM	0,553	1089	BXM	0,180	111
PPM	0,170	443	PPM	0,047	31
AND	0,903	1262	AND	0,252	202

Abreviaciones de Unidades: AND= Andesita; PIP=Pórfido Intermineral Principal; PIT=Pórfido Intermineral Tardío; BXM=Brecha Magmática; BXT=Brecha de Turmalina; PPM=Pórfido Postmineral. **Abreviaciones de alteraciones:** K=Feldespató Potásico; BT=Biotita; SET= Sericita-Turmalina; SE=Sericita; CL=Cloritización; AR=Argílica

6.6.2. POR ALTERACIÓN

Se realizó la misma revisión con el fin de encontrar algún control dado por las alteraciones (Figura 47). De este se desprende que las alteraciones clorítica y argílica carecen de interés para el estudio, dada sus bajas concentraciones de Mo y Re. Observando el sector de altas leyes de Re no se observa un dominio claro de alguna alteración en particular. Sin embargo, es claro que las alteraciones potásica (biotita) y las con sericita como mineral dominante presentan las mayores concentraciones de Re y Mo.

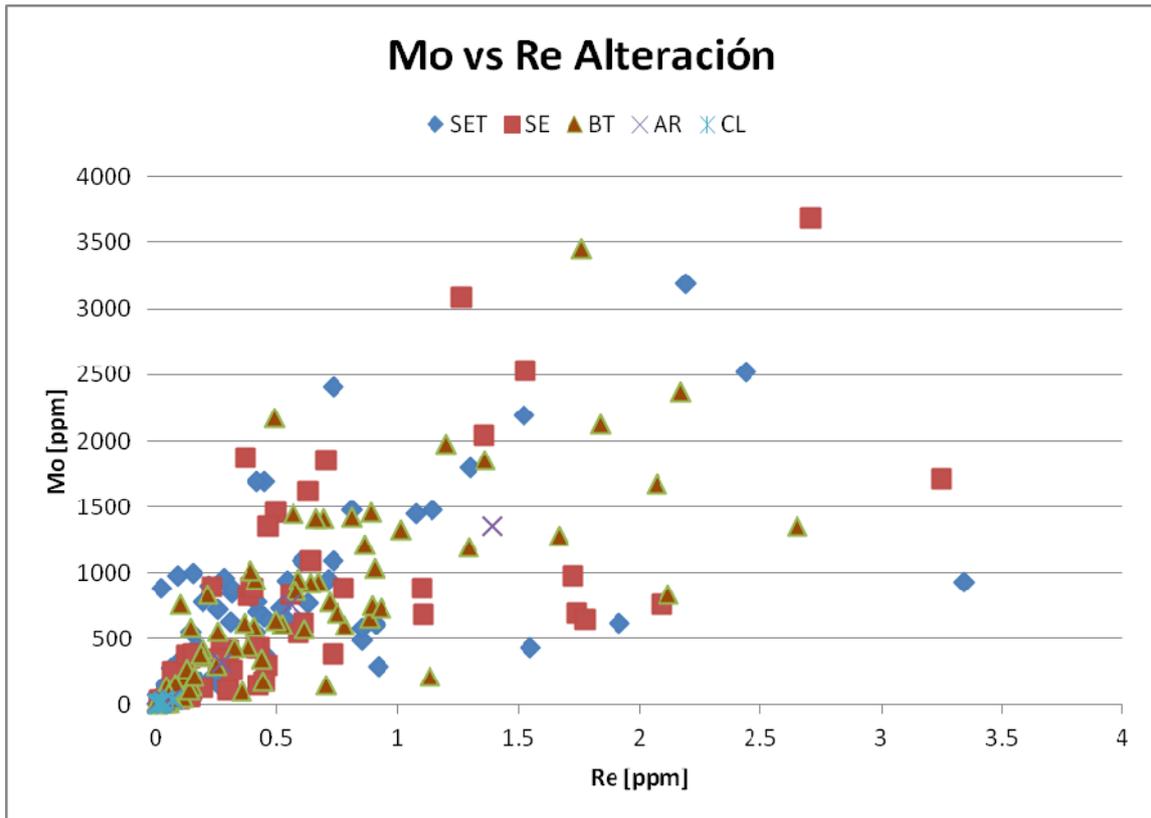


Figura 47. Re vs Mo por alteración. Abreviaciones: BT=Potásica (biotita); SET=Sericita-Turmalina; SE=sericita; AR=argílica; CL=clorítica.

Se continúa con el análisis según las alteraciones con los valores promedio de Re y Mo. Lo dicho anteriormente se manifiesta de igual forma en la Figura 48 donde se observa que las alteraciones de interés son la potásica (biotita), sericita y sericita-turmalina. Vinculando estos resultados con los observados según el control litológico, las muestras pertenecientes a la Unidad AND también presentan estos altos valores. Estas rocas están fuertemente biotitizadas, por lo que la concentración de Re y Mo en estas coincide con la alteración potásica (biotita).

Separando los resultados según los rangos de concentración (Tabla 21) se observa que en las altas leyes de Mo, el Re tiene un comportamiento relativamente uniforme, por lo que no se ve reflejado un control especial. Por otro lado, a concentraciones más bajas de Mo, el Re se presenta en las alteraciones sericita y sericita-turmalina. Esto va de la mano con lo observado en las muestras macroscópicas y sus pulpas correspondientes.

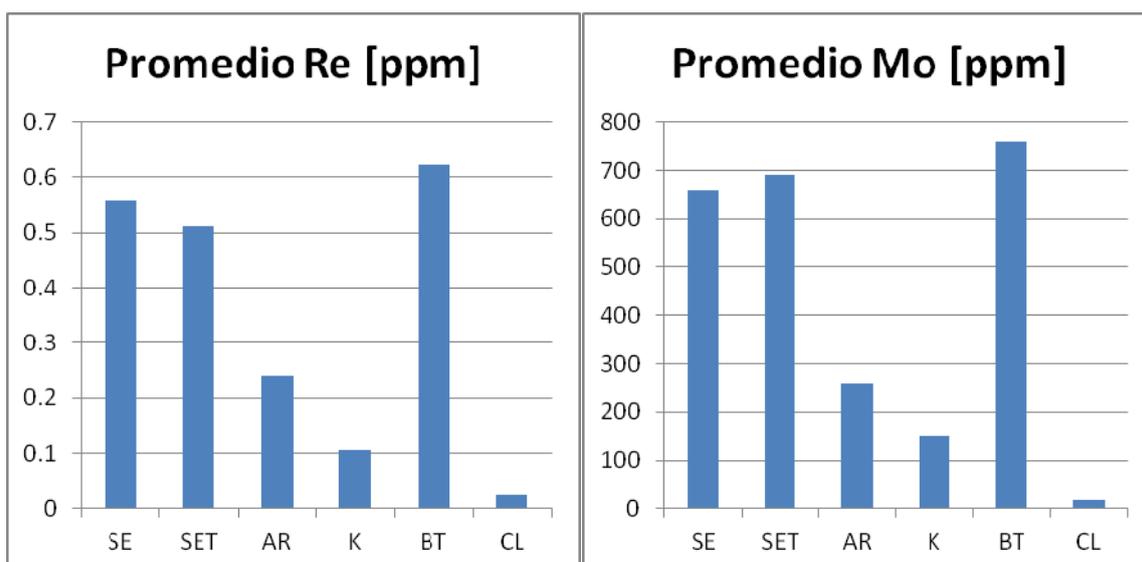


Figura 48. (A) Promedios de Re por alteración. (B) Promedios de Mo por alteración.

Tabla 21. Valores promedio de Re y Mo según el rango de leyes Mo anteriores.

>600 ppm de Mo			<600 ppm de Mo		
Alteración	Re [ppm]	Mo [ppm]	Alteración	Re [ppm]	Mo [ppm]
SE	0,898	1100	SE	0,140	135
SET	0,759	1078	SET	0,166	155
AR	0,977	1055	AR	0,056	60
K	0,852	1540	K	0,054	59
BT	0,862	1102	BT	0,21	172
CL	-	-	CL	0,025	17

Abreviaciones de Unidades: AND= Andesita; PIP=Pórfido Intermineral Principal; PIT=Pórfido Intermineral Tardío; BXM=Brecha Magmática; BXT=Brecha de Turmalina; PPM=Pórfido Postmineral. **Abreviaciones de alteraciones:** K=Feldespato Potásico; BT=Biotita; SET= Sericita-Turmalina; SE=Sericita; CL=Cloritización; AR=Argílica

Considerando el trabajo de Berzina et al. (2005) y dependiendo de la temperatura de formación de la molibdenita, la alta concentración de Re en la alteración sericita se puede explicar asumiendo una temperatura de formación en el rango de 300-400°C, ya que es el rango de temperatura de formación de las molibdenitas ricas en Re (concentración promedio de Re de 164 ppm en el depósito Erdenetuin-Obo). Esto, además, es consecuente con la medición de la abundancia de Re en el concentrado manual de molibdenita medido en este estudio (la mayoría sobre 100 ppm de Re). Por lo tanto, al parecer las molibdenitas formadas en la alteración sericita son más ricas en Re que las formadas en las alteraciones de mayor temperatura, como la potásica (feldespato potásico). Sin embargo, esta tendencia no es muy marcada.

Es importante destacar que en conjunto con el depósito recién mencionado, el prospecto Aksug también presenta molibdenitas ricas en Re y son los que presentan mayor actividad de

cloro (Berzina et al. 2009, Figura 11), ion importante para el transporte de metales en fluidos hidrotermales.

6.7. MODELO DE DISTRIBUCIÓN DE Re

Dada la correspondencia existente entre los datos de Mo y Re se realiza una comparación del modelo de distribución de Re con el modelo de bloques de Mo. Aquí se espera que las envolventes modeladas tengan una similitud espacial en relación a los sectores de mayores leyes de Mo. Para esto, se presentan cuatro secciones perpendiculares al Socavón Los Sulfatos (perfiles CC', DD', EE' y FF') ubicadas en los metros 6160, 6860, 7680 y 7900 respectivamente (Figura 49).

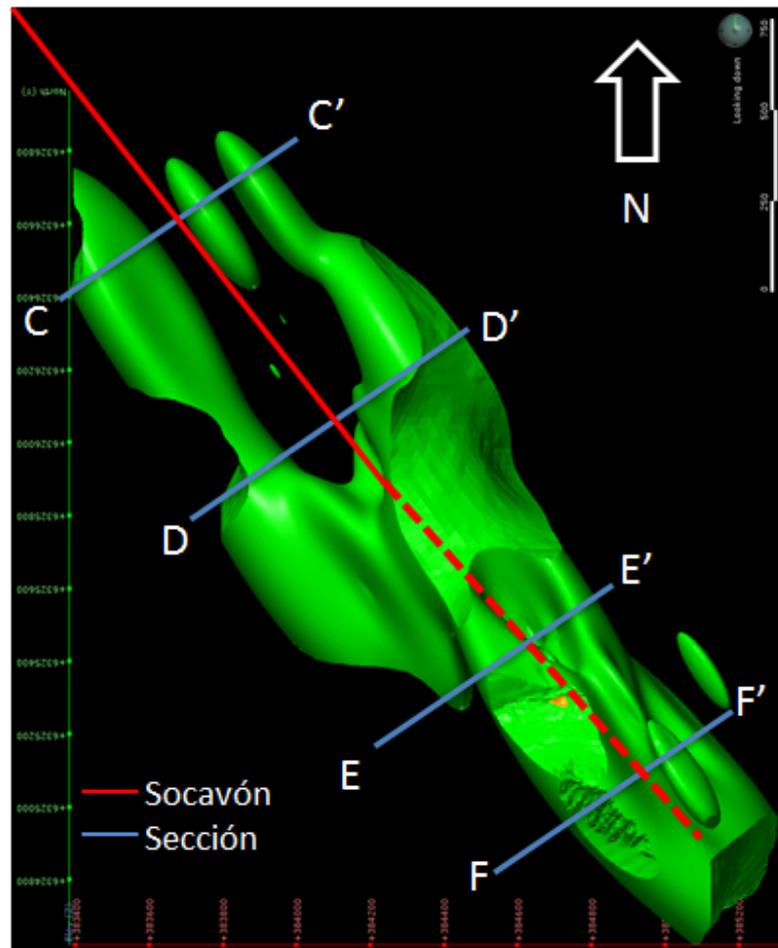


Figura 49. Secciones de comparación entre envolventes y modelo de bloques de Mo. La línea roja corresponde al Socavón Los Sulfatos.

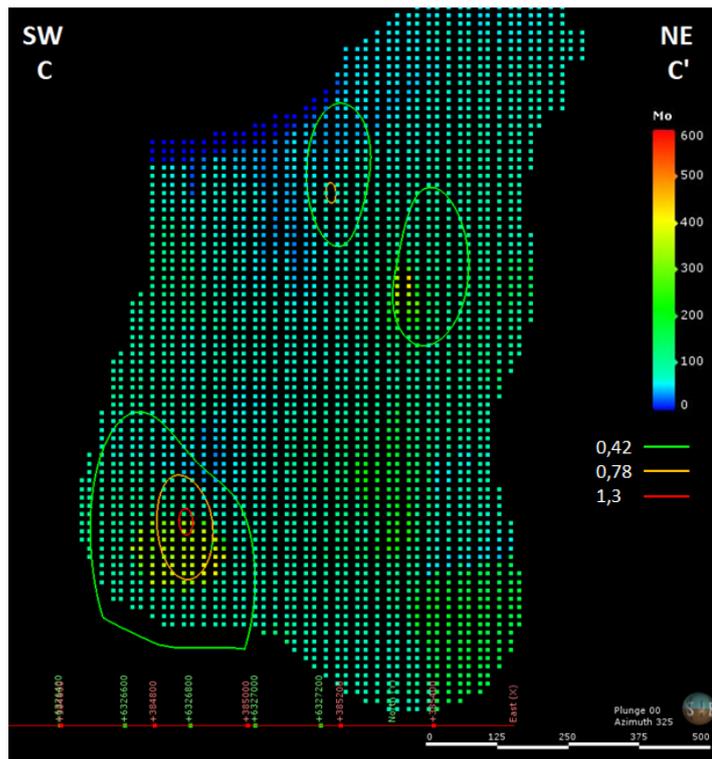


Figura 50. Sección CC'.



Figura 51. Sección DD'.

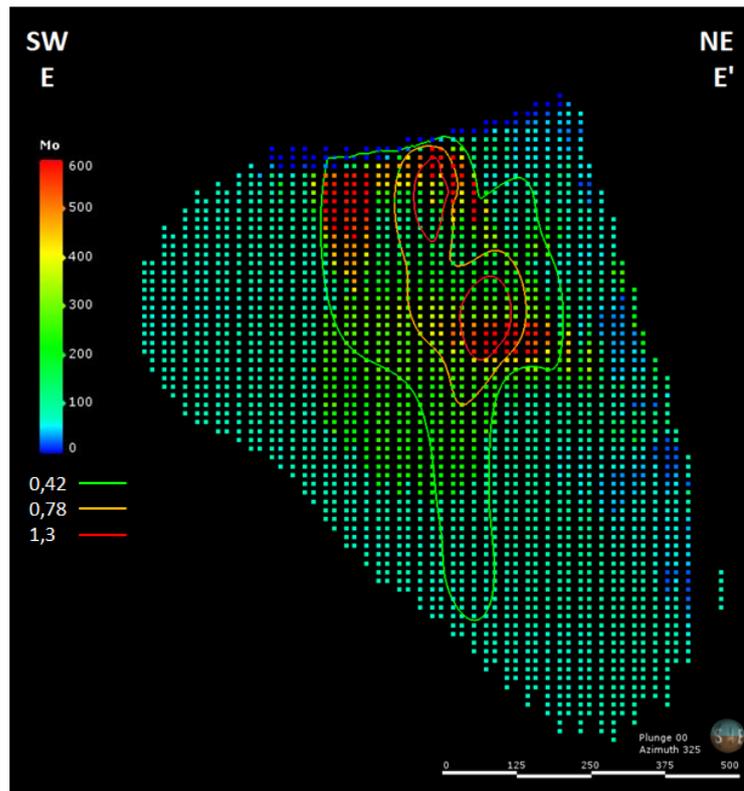


Figura 52. Sección EE'.

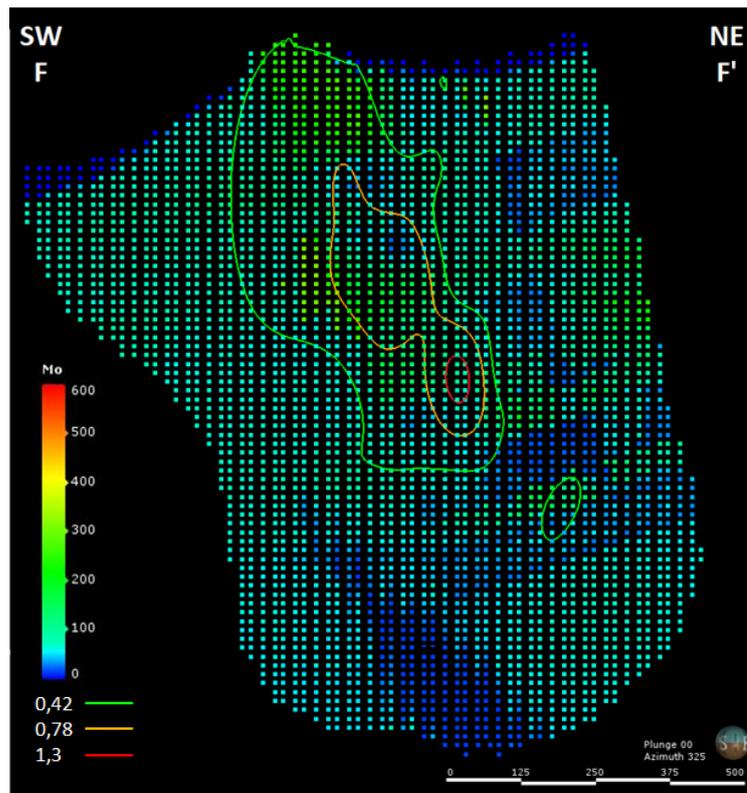


Figura 53. Sección FF'.

Observando las secciones se puede ver que el modelo de distribución de Re se relaciona bien con el modelo de bloques por lo que se considera como válido, considerando la cantidad de muestras que tiene como base.

6.7.1. SECCIONES DE LITOLOGÍA

Se presentan a continuación las secciones AA' y BB' (ubicación en la Figura 20 y Anexo III) correspondientes a las escogidas para la selección de muestras macroscópicas. En estos perfiles se muestra la litología, la distribución modelada de Re y la ubicación de las muestras macroscópicas.

Se observa que como se ha revisado en los resultados numéricos, las envolventes se concentran en las litologías que muestran los valores altos (PIP, PIT y en menor medida brechas), por lo que el modelo de distribución es coherente con lo revisado.

6.7.2. SECCIONES DE ALTERACIÓN

Se presentan a continuación las mismas secciones, pero esta vez con las alteraciones, la distribución modelada de Re y la ubicación de las muestras.

De igual forma, se ve que las envolventes 0,42 ppm y 1,3 ppm se concentran en las alteraciones sericita, sericita-turmalina y potásica (biotita), que es lo esperado según los resultados obtenidos y en menor medida alcanzan a la alteración potásica (feldespato potásico).

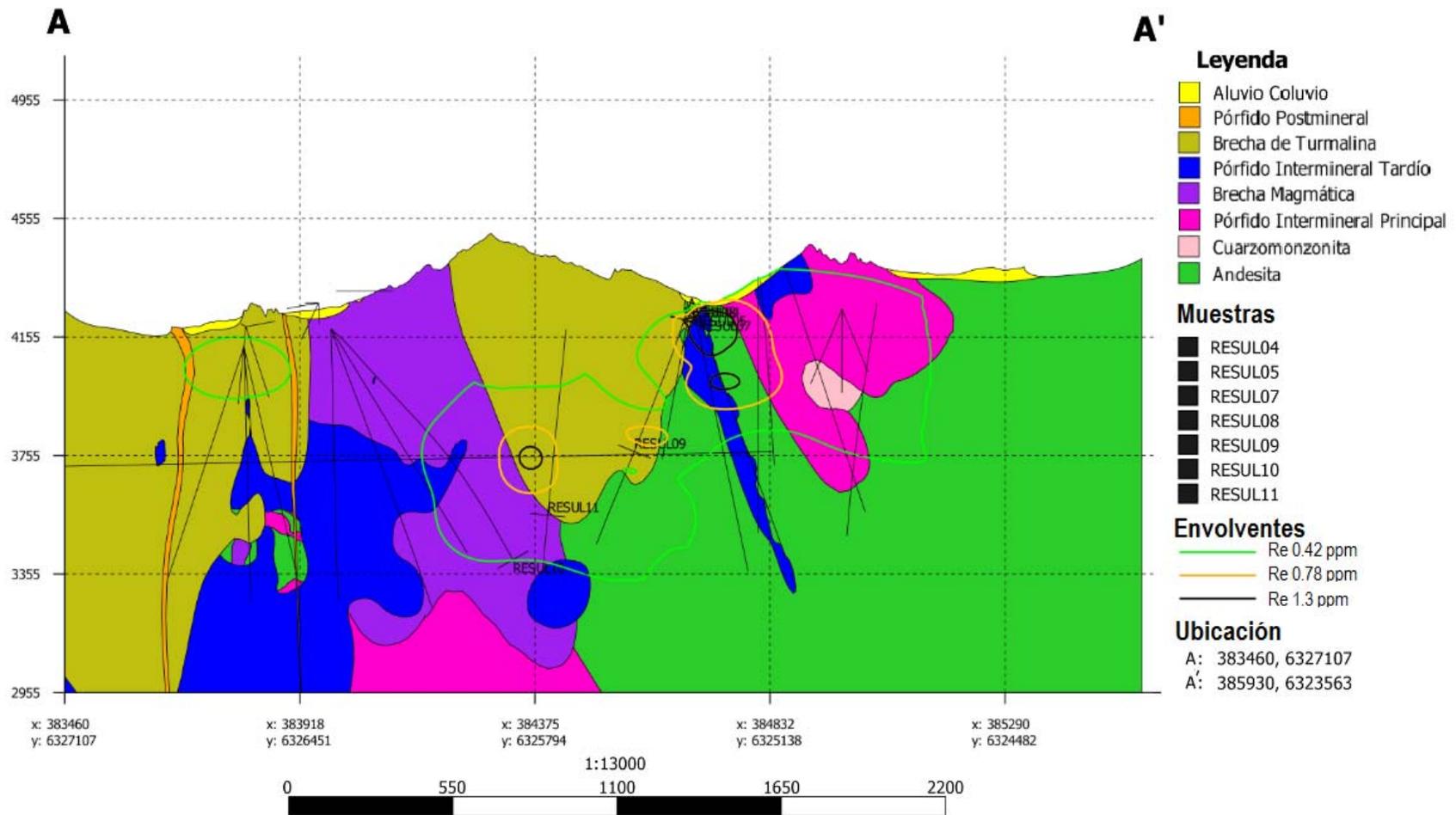


Figura 54. Sección AA' de litología mostrando las envolventes de distribución de renio. Se observa que las altas concentraciones de Re se agrupan en torno a las litologías tipo pórfido y en menor medida las brechas tomando en cuenta el envoltente 0,42 ppm de Re.

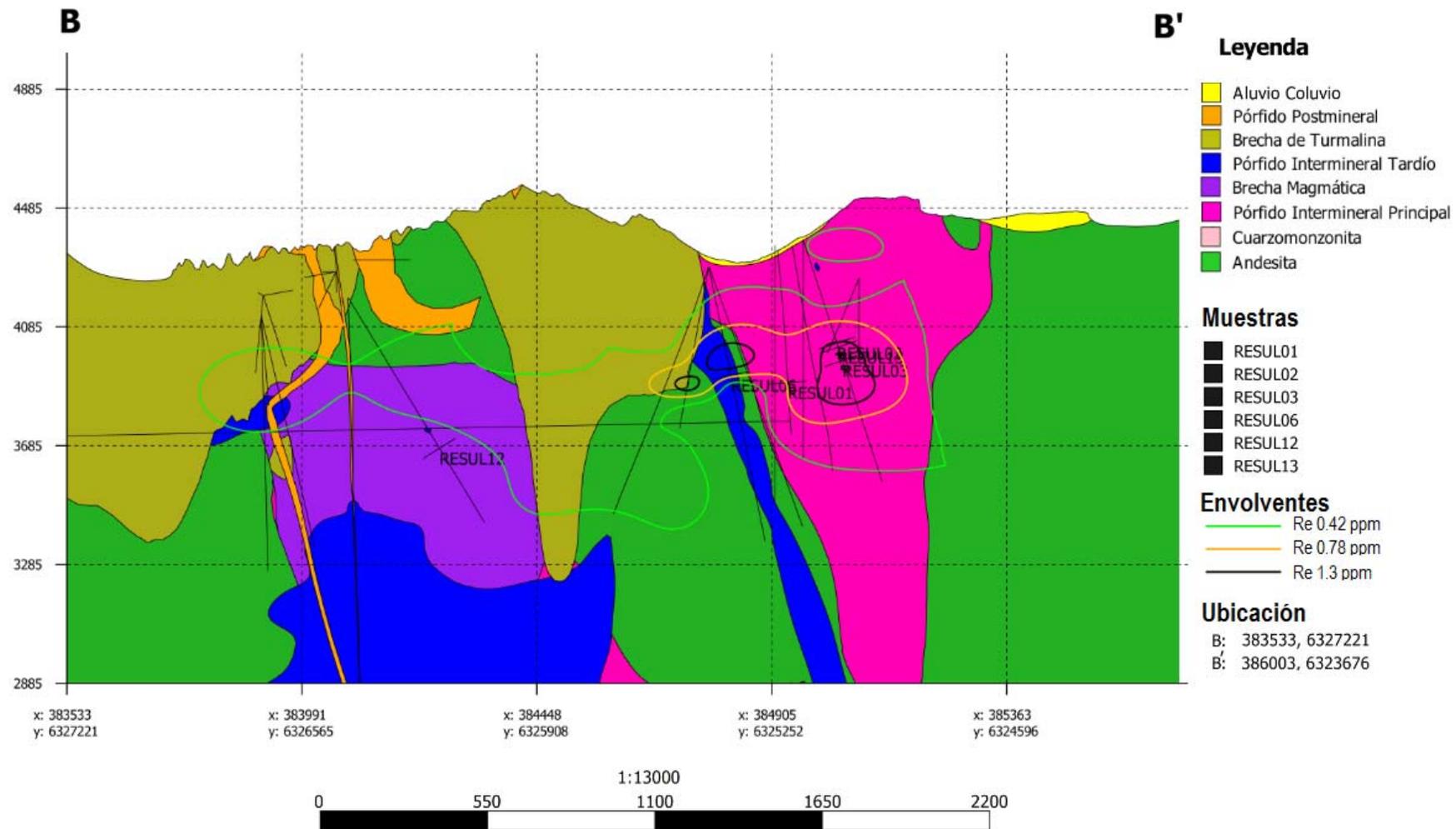


Figura 55. Sección BB' de litología mostrando las envolventes de distribución de renio. En esta sección se observa el mismo caso, pero comparando la superficie que abarcan, la unidad Pórfido Intermineral Principal (PIP) concentra la mayoría.

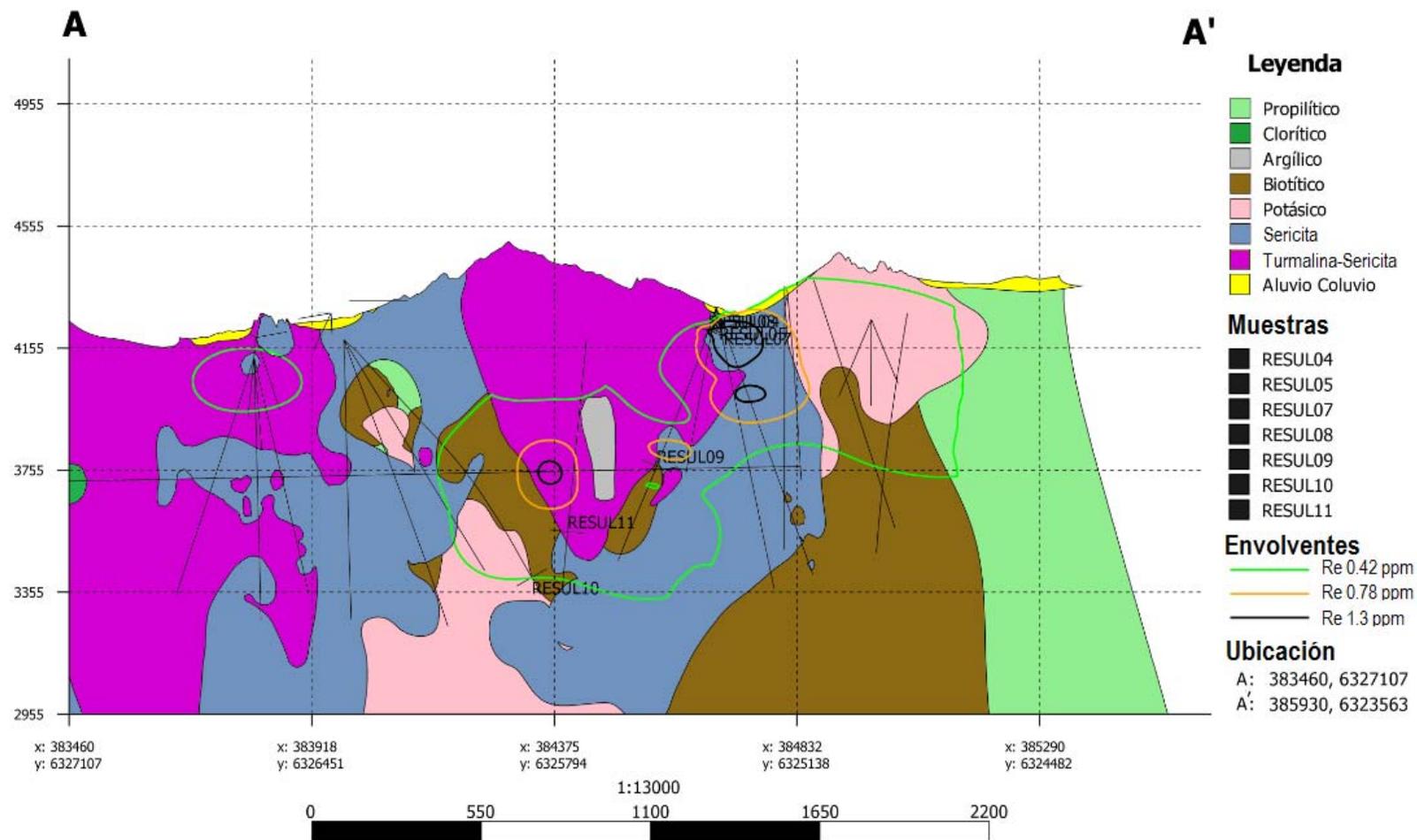


Figura 56. Sección AA' de alteración mostrando las envolventes de la distribución de renio. Se observa como altas concentraciones de Re se agrupan en torno a las alteraciones Sericita y Sericita-Turmalina, y la envolvente de menor ley se expresa mayormente en la potásica-biotita y potásica-feldespato potásico.

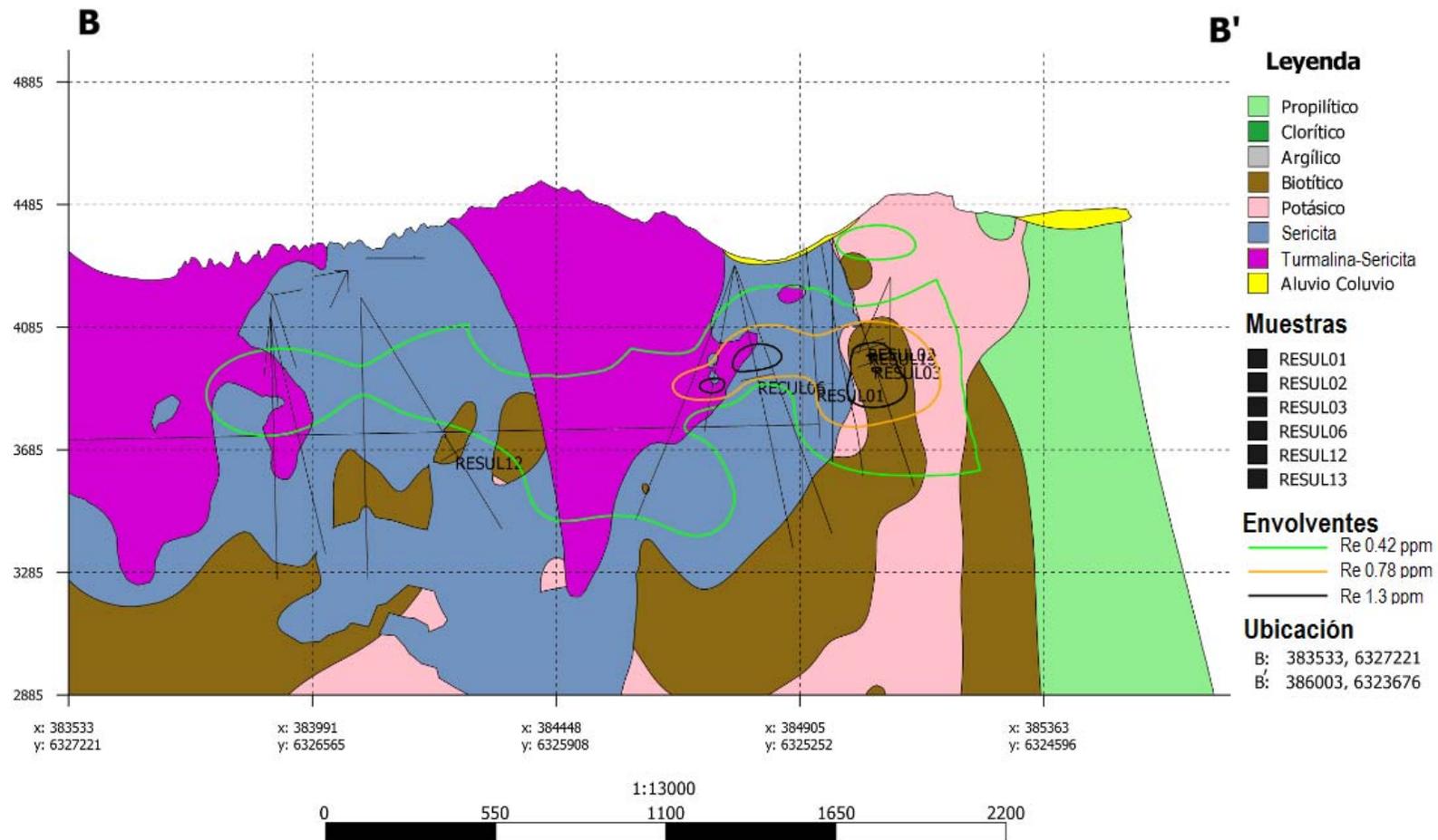


Figura 57. Sección BB' de alteración mostrando las envolventes de distribución de renio. En este perfil se nota una fuerte expresión de altas concentraciones en la alteración potásica-biotita y también en las alteraciones con sericita. Además, un amplio sector de estas últimas alteraciones es ocupado por la envolvente 0,42 ppm de Re.

7. CONCLUSIONES

Ocurrencia de la molibdenita

La ocurrencia de este mineral en el depósito corresponde a tres estilos de mineralización: diseminada, vetillas de molibdenita y vetillas Qz-Anh-Mo±Cpy. La primera no muestra un patrón claro de abundancia en alguna litología o alteración en particular, pero cabe destacar que se presenta mayormente en pórfidos y en la matriz de brechas. Las vetillas de molibdenita se presentan preferentemente en rocas con alteración sericita. Por último, las vetillas Qz-Anh-Mo±Cpy tienen un comportamiento similar a las vetillas de molibdenita, pero abundan más en las rocas con alteración potásica (biotita).

Relación entre molibdenita y renio con litología y alteración

Con los datos de muestras macroscópicas y muestras de pulpas, se concluye que las litologías en las que se encuentran los mayores valores de Re corresponden al Pórfido Intermineral Tardío y al Pórfido Intermineral Principal. Por otro lado, las alteraciones que presentan los valores de Re más altos son la potásica (biotita) y la sericita. Esto es coherente con las conclusiones de los trabajos de Berzina et al. (2005) y Castillo (2012) donde las litologías con mayor concentración de renio son las tipo pórfido y las alteraciones sericita y clorítica, que en el caso de Los Sulfatos correspondería solo a las con sericita como mineral dominante y no así en alteraciones con mayor contenido de clorita. Esto se debe a la temperatura a la que se producen estas alteraciones, donde el Re, al parecer, se concentra mejor cuando la molibdenita se forma a temperaturas más bajas como la correspondiente a la alteración sericita.

Como se mencionó anteriormente, la Unidad Andesita, presenta valores altos de Re, los que se explican con la coincidencia de alteración potásica (biotita) en esta litología. Esto último se contradice con lo propuesto antes, dado que esta alteración es de una temperatura mayor, por lo que puede que estas altas concentraciones se deban a una transición entre las alteraciones potásica (feldespato potásico) y sericita, estando la potásica (biotita) como punto medio. Algo similar plantea Voudouris et al. (2005), donde expresa que pasando de alteraciones de mayores a menores temperaturas el ambiente facilita la precipitación de molibdenita con altos contenidos de Re. Esto fundamentado en que la alteración potásica (feldespato potásico) no presenta altos valores de Re en promedio en el depósito, pero sí de Mo.

Características de la molibdenita: abundancia de renio vs politipo

Con los datos obtenidos hasta el momento no es posible establecer una relación entre el politipo de molibdenita y la concentración de Re, que en este caso todas corresponden al 2H. Sin embargo, existen altas concentraciones de Re en algunos casos, por lo que se puede pensar que el control del politipo sobre la abundancia de Re no es tan determinante. Con los datos obtenidos de la composición de los concentrados manuales de molibdenita se concluye que además del Re como impureza, tanto el Au como la Ag pueden ser blancos de estudio en los concentrados de molibdenita, ya que tanto en estos como en los concentrados de molibdeno se presentan en concentraciones no menores.

Edades de eventos mineralizadores de molibdeno

Las edades obtenidas se atribuyen a eventos tempranos los que se relacionan bien con el modelo genético existente. En conjunto con las edades presentadas por Toro et al. (2012) en Los Sulfatos, se tiene un periodo de actividad mineralizadora de molibdeno de aproximadamente 1,2 millones de años entre 7,50-6,34 Ma. Esto se expresa en tres eventos: (1) vetillas de Mo en PIP de $7,13 \pm 0,08$ Ma, (2) vetillas de Qz-Mo±Cpy±Py en BXM de $6,68 \pm 0,13$ Ma y (3) vetillas de Qz-Mo±Cpy±Py en BXT de $6,4 \pm 0,06$ Ma

Además, cabe destacar que las molibdenitas que presentan características mineralógicas similares a las datadas (ocurrencia) tienen altos valores de Re en las pulpas correspondientes. Por lo que se podría decir que las molibdenitas precipitadas a partir de los primeros eventos tempranos son las que contienen mayor concentración de Re. Esto apoya lo propuesto anteriormente sobre la transición entre la alteración potásica (feldespato potásico) y la alteración sericita. En relación a otras concentraciones de Re en el sector en base a muestras datadas, Los Sulfatos presenta los valores más altos.

Distribución del renio

El modelo de distribución de Re se considera como una estimación preliminar considerando el número de muestras utilizadas. Para construir un modelo más preciso y con zonas de real interés económico, se necesita una mayor cantidad de muestras y datos geometalúrgicos para comparar la concentración de Re en las molibdenitas y la abundancia en los concentrados de molibdeno y así calcular un factor de concentración y de recuperación de los procesos mineros de extracción de Mo y Re a partir del mineral. Por lo tanto, este modelo es una guía que muestra los sectores con mayores concentraciones de Re y su distribución espacial en las litologías y las alteraciones.

8. BIBLIOGRAFÍA

ACTLABS LABORATORIES. Ultratrace 3 – Total Digestion – ICP and ICP/MS, INAA. 2014. [en línea] <http://www.actlabs.com/page.aspx?page=508&app=226&cat1=549&tp=12&lk=no&menu=64> [consulta: 17 febrero 2014].

Audétat, A., and Pettke, T., 2003, The magmatic-hydrothermal evolution of two barren granites: A melt and fluid inclusion study of the Rito del Medio and Canada Pinabete plutons in northern New Mexico (USA): *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 67, p. 97–121.

Audétat, A., 2010, Source and evolution of molybdenum in the porphyry Mo(-Nb) deposit at Cave Peak, Texas: *Journal of Petrology*, v. 51, p. 1739–1760.

Barra, F. Alcota, H. Rivera, S. Valencia, V. Munizaga, F. Makshev, V. 2013. Timing and formation of porphyry Cu-Mo mineralization in the Chuquicamata district, northern Chile: new constraints from the Toki Cluster. *Mineralium Deposita* DOI10.1007/s00126-012-0452-1.

Beane, R.E., and Titley, S.R., 1981, Porphyry copper deposit. Pt. II. Hydrothermal alteration and mineralization: *ECONOMIC GEOLOGY 75TH ANNIVERSARY VOLUME*, p. 235–269.

Berzina, A. Sotnikov, V. Economou, M. Eliopoulos, D. 2005. Distribution of Rhenium in Molybdenite from Porphyry Cu-Mo Deposits Russia (Siberia) and Mongolia. *Ore Geology. Rev.* 26, pp. 91-113.

Camus, F., 2003, *Geología de los sistemas porfiricos en los Andes de Chile*: Santiago, Chile, Servicio Nacional de Geología y Minería, 267 p.

Candela, P.A., and Holland, H.D., 1984, The partitioning of copper and molybdenum between silicate melts and aqueous fluids: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 48, p. 373–380.

Cannell, J., Cooke, D.R., Walshe, J.L., and Stein, H., 2005, Geology, mineralization, alteration, and structural evolution of the El Teniente porphyry Cu-Mo deposit: *Economic Geology*, v. 100, p. 979–1003.

Cao, X., 1989, Solubility of molybdenite and the transport of molybdenum in hydrothermal solutions: Ames, Iowa, Unpublished Ph.D. thesis, Iowa State University.

Castillo, C. 2012. Distribución de renio en el sector de San Enrique Monolito. Informe interno, LBD Project, Anglo American.

Cox, D.P., and Singer, D.A., 1988, Distribution of gold in porphyry copper deposits: U.S. Geological Survey Open-File Report 88-46, 10 p.

Deckart, K., Clark, A.H., Aguilar, C., Vargas, R., Bertens, A.N., Mortensen, J.K., and Fanning, M., 2005, Magmatic and hydrothermal chronology of the giant Río Blanco porphyry copper deposit, central Chile: Implications of an integrated U-Pb and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ database: *Economic Geology*, v. 100, p. 905–934.

Deckart, K., Silva, W., Toro, J.C., and Bertens, A., 2009, New geochronology of the Los Bronces porphyry: Implication for mineral exploration on the Río Blanco-Los Bronces cluster: Congreso Geológico Chileno, 12th, Santiago, 2009, Actas, Pendrive, p. S11–012.

Deckart, K., Clark, Cuadra, P., Fanning, M. 2012. Refinement of time-space evolution of the giant Mio-Pliocene Río Blanco-Los Bronces porphyry Cu-Mo cluster, Central Chile: new U-Pb (SHRIMP II) and Re-Os geochronology and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ thermochronology data. *Miner Deposita* DOI 10.1007/s00125-012-0412-9.

Deckart, K., Silva, W., Spröhnle, C., Vela, I. 2014. Timing and duration of hydrothermal activity at the Los Bronces porphyry cluster: an update. *Miner Deposita*, DOI 10.1007/s00126-014-0512-9. *Gestión Minera* (2008) La biografía del renio. *Revista Gestión Minera* vol 06, pp 1-19. New Haven, Connecticut Lancaster.

Eggers, T., 2009. Alteración argilica avanzada en el distrito Los Bronces: Congreso Geológico Chileno, 12th, Santiago, 2009. Actas, Pendrive, p. S11–013.

Grabazhev, A.I. Shagalov, E. 2009. Rhenium distribution in molybdenite: results of microprobe scanning (copper porphyry deposits, The Urals). *Doklady Earth Sciences*, 2010, Vol. 431, Part 1. Pp 351-355. Pleiades Publishing, Ltd.

Godoy, E., Yañez, G., Vera, E., 1999. Inversion of an Oligocene volcano-tectonic basin y uplifting of its superimposed Miocene magmatic arc in the Chilean Central Andes: first seismic y gravity evidences. *Tectonophysics*, vol. 306, p. 117-136.

Gu, Y., 1993, Theoretical and experimental studies of the hydrothermal geochemistry of molybdenum: Unpublished Ph.D. thesis, Australia, Monash University.

Guillong, M., Latkoczy, C., Seo, J.H., Günther, D., and Heinrich, C.A., 2008a, Determination of sulfur in fluid inclusions by laser ablation ICPMS: *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, v. 23, p. 1581–1589.

Gustafson, L.B., and Hunt, J.P., 1975, The porphyry copper deposit at El Salvador, Chile: *Economic Geology*, v. 70, p.856–912.

Gustafson, L.B., and Quiroga G., J., 1995, Patterns of mineralization and alteration below the porphyry copper orebody at El Salvador, Chile: *Economic Geology*, v.90, p. 2–16.

Halter, W.E., Pettke, T., and Heinrich, C.A., 2002, The origin of Cu/Au ratios in porphyry-type ore deposits: *Science*, v. 296, p. 1844–1846.

Haynes, M., Lide, D., Bruno, T. 2012. *CRC Handbook of Chemistry and Physics*. 93^a ed. CRC press.

Heinrich, C.A., Driesner, T., Stefansson, A., and Seward, T.M., 2004, Magmatic vapor contraction and the transport of gold from the porphyry environment to epithermal ore deposits: *Geology*, v. 32, p. 761–764.

Heinrich, C.A., 2006, From fluid inclusion microanalysis to large-scale hydrothermal mass transfer in the Earth's interior: *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, v. 101, p. 110–117.

Hoffman, E.L., 1992. Instrumental Neutron Activation in Geoanalysis. *Journal of Geochemical Exploration*, volume 44, pp. 297-319.

Irrarrazaval, V. Sillitoe, R. Wilson, A. Toro, J.C. Robles, W. Lyall, G. 2010. Discovery History of a Giant, High-Grade, Hypogene Porphyry Copper-Molibdenum Deposit at Los Sulfatos, Los Bronces-Río Blanco District, Central Chile. Society of Economic Geologist, Inc. Special Publication 15. Pp. 253-269.

Keppler, H., and Wyllie, P.J., 1991, Partitioning of Cu, Sn, Mo, W, U, and Th between melt and aqueous fluid in the systems halplogranite-H₂O HCl and halplogranite-H₂O HF: *Contributions to Mineralogy and Petrology*, v. 109, p. 139–150.

Kesler, S.E., Chryssoulis, S.L., and Simon, G., 2002, Gold in porphyry copper deposits: Its abundance and fate: *Ore Geology Reviews*, v. 21, p. 103–124.

Kolonin, G., Shironosova, G. Laptev, Y., V. 1975. Experimental checking of thermodynamic diagrams of the stability of W, Mo and Bi minerals under hydrothermal conditions. *Fortschr. Miner. Spec Issue. IMA – papers 9th Meeting*. pp 161-167.

Kolonin G. R., Laptev Y. V., and Biteikina R. P. (1975) Formation condition of molybdenite and powellite in hydrothermal solutions. *Experimental Studies in Mineralogy, Akad. Nauk USSR, Novosibirsk*, 27–33

Korzhinsky, M.A.; Tkachenko, S. I.; Shmulovich, K. I.; Taran Y. A.; Steinberg, G. S. (2004-05-05). Discovery of a pure rhenium mineral at Kudriavy volcano. *Nature* 369.

Klemm, L.M., Pettke, T., and Heinrich, C.A., 2008, Fluid and source magma evolution of the Questa porphyry Mo deposit, New Mexico, USA: *Mineralium Deposita*, v. 43, p. 533–552.

Landtwing, M.R., Furrer, C., Redmond, P.B., Pettke, T., Guillong, M., and Heinrich, C.A., 2010, The Bingham Canyon porphyry Cu-Mo-Au deposit. III. Zoned copper-gold ore deposition by magmatic vapor expansion: *ECONOMIC GEOLOGY*, v. 105, p. 91–118.

Maksaev, V., Zentilli, M., Munizaga, F., y Charrier, R. Denudación/Alzamiento del Mioceno Superior – Plioceno Inferior de la Cordillera de Chile Central (33°-35°S) Inferida por Dataciones de Trazas de Fisión en Apatito de Plutones Miocenos. 10° Congreso Geológico Chileno, 2003. Universidad de Concepción.

Maksaev, V., Munizaga, F., McWilliams, M., Fanning, M., Mathur, R., Ruiz, J., and Zentilli, M., 2004, New chronology for El Teniente, Chilean Andes, from U-Pb, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$, Re-Os, and fission track dating: Implications for the evolution of a supergiant porphyry Cu-Mo deposit: Society of Economic Geologists Special Publication 11, p. 15–54.

Mathur, R. Ruiz, J. R. Munizaga, F. M. 2001. Insights into Andean metallogenesis from the perspective of Re-Os analyses of sulfides. South American Isotope Conference, (CD-ROM). SERNAGEOMIN, Chile, p 4.

Markey, R., Stein, H., Hannah, J.L., Zimmerman, A., Selby, D., Creaser, R.A., 2006. Standardizing Re-Os geochronology: a new molybdenite Reference Material (Henderson, USA) and the stoichiometry of Os salts. *Chemical Geology*, 244, 74-87.

McCandless, T., Ruiz, J., Campbell, A. 1992. Rhenium behavior in molybdenite in hypogene and near-surface environments: Implications for Re-Os geochronometry. *Geochimica et Cosmochimica Acta* Vol. 57, pp. 889-905.

Minubayeva, Z., and Seward, T.M., 2010, Molybdic acid ionisation under hydrothermal conditions to 300°C: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 74, p. 4365–4374.

MOLYMET. Industria metálica/superalcaciones. 2013. [en línea] <http://www.molymet.cl/es/productos/23-industria-metalica-superalcaciones.html> [consulta: 08 septiembre 2013].

MOLYMET. Usos del molibdeno. 2013. [en línea] <http://www.molymet.cl/es/productos/20-usos-del-molibdeno.html> [consulta: 08 septiembre 2013].

Murakami, H., Seo, J.H., and Heinrich, C.A., 2010, The relation between Cu/Au ratio and formation depth of porphyry-style Cu-Au +/- Mo deposits: *Mineralium Deposita*, v. 45, p. 11–21.

Newberry, J. 1979 a, Polytypism in molybdenite (I): a non-equilibrium impurity-induced phenomenon. *American Mineralogist*, v. 64, pp 758-767.

Newberry, J. 1979 b, Polytypism in molybdenite (II): relationships between polytypism, ore deposition/alteration stages and rhenium contents. *American Mineralogist*, v.64, pp 768-775.

Lawley, C.J.M., and Selby, D. 2012. Re-Os Geochronology of Quartz Enclosed Ultra-fine Molybdenite: Implications for Ore Geochronology, *Economic Geology*, v. 107, 1499-1506.

Ortuzar, J. 2005~. Informe de Datación Radiométrica, Edades Re-Os de Molibdenita. Exploraciones, Anglo American.

Perelló, J., Sillitoe, R.H., Brockway, H., Posso, H., and Mpodozis, C., 2009, Contiguous porphyry Cu-Mo and Cu-Au mineralization at Los Pelambres, central Chile: Congreso Geológico Chileno, 12th, Santiago, 2009, Actas, Pendrive, 4 p.

Porter, S.J., Selby, D. 2010. Rhenium-Osmium (Re-Os) molybdenite systematics and geochronology of the Cruchan Granite skarn mineralization, Etive Complex: implications for emplacement chronology. *Scottish Journal of Geology*, 46, (1), 17-21.

Redmond, P.B., and Einaudi, M.T., 2010, The Bingham Canyon porphyry Cu-Mo-Au deposit. I. Sequence of intrusions, vein formation, and sulfide deposition: *ECONOMIC GEOLOGY*, v. 105, p. 43–68.

Rempel, K.U., Migdisov, A.A., and Williams-Jones, A.E., 2006, The solubility and speciation of molybdenum in water vapour at elevated temperatures and pressures: Implications for ore genesis: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 70, p. 687–696.

Rempel, K.U., Williams-Jones, A.E., and Migdisov, A.A., 2008, The solubility of molybdenum dioxide and trioxide in HCl-bearing water vapour at 350°C and pressures up to 160 bars: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 72, p. 3074–3083.

Romero, B. Kojima, S. Wong, C. Barra, F. Véliz, W. Ruiz, J. 2010. Molybdenite mineralization and Re-Os geochronology of the Escondida and Escondida Norte porphyry deposits, Northern Chile. *Resource Geology* Vol. 61, No. 1: 91-100

Romero, B.[2009~] Caracterización y Distribución del Molibdeno. Minera Escondida. Memoria de Título. Universidad Católica del Norte.

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

Rusk, B.G., Reed, M.H., and Dilles, J.H., 2008, Fluid inclusion evidence for magmatic-hydrothermal fluid evolution in the porphyry copper-molybdenum deposit at Butte, Montana: *ECONOMIC GEOLOGY*, v. 103, p. 307–334.

Sanhueza, L. 2010. Estudio de factibilidad técnica y económica de recuperación de renio desde concentrados de molibdenita en la planta Las Tórtolas. Informe de memoria de título. División Los Bronces, Anglo American.

Seedorff, E., and Einaudi, M.T., 2004a, Henderson porphyry molybdenum system, Colorado: I. Sequence and abundance of hydrothermal mineral assemblages, flow paths of evolving fluids, and evolutionary style: *ECONOMIC GEOLOGY*, v. 99, p. 3–37.

Selby, D. and Creaser, R. A., 2001. Re-Os Geochronology and Systematics in Molybdenite from the Endako Porphyry Molybdenum Deposit, British Columbia, Canada. *Economic Geology*, v. 96, p. 197-204.

Selby, D., and Creaser, R.A., 2004. Macroscale NTIMS and microscale LA-MC-ICP-MS Re-Os isotopic analysis of molybdenite: Testing spatial restrictions for reliable Re-Os age determinations, and implications for the decoupling of Re and Os within molybdenite. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 68, p. 3897-3908.

Seo, J.H., Guillong, M., Aerts, M., Zajacz, Z., and Heinrich, C.A., 2011, Microanalysis of S, Cl, and Br in fluid inclusions by LA-ICP-MS: *Chemical Geology*, v. 284, p. 35–44.

Seo, J., Guillong, M., Heinrich, C., 2012. Separation of Molybdenum and Copper in Porphyry Deposits: The Roles of Sulfur, Redox, and pH in Ore Mineral Deposition at Bingham Canyon. *Economic Geology*, v. 107, pp. 333-356.

Serrano, L., Vargas, R., Stambuk, V., Aguilar, C., Galeb, M., Holmgren, C., Contreras, A., Godoy, S., Vela, I., Skewes, M.A., and Stern, C.R., 1996, The late Miocene to early Pliocene Río Blanco-Los Bronces copper deposit, central Chilean Andes: *Society of Economic Geologists Special Publication 5*, p. 119–130.

Sillitoe, R.H., 1997, Characteristics and controls of the largest porphyry copper-gold and epithermal gold deposits in the circum-Pacific region: *Australian Journal of Earth Sciences*, v. 44, p. 373–388.

Sillitoe, R.H., Perelló, J., 2005, Andean copper province: Tectonomagmatic settings, deposit types, metallogeny, exploration, and discovery: *Economic Geology 100th Anniversary Volume*, p. 845–890.

Sillitoe, R.H. 2010, Porphyry copper systems: *ECONOMIC GEOLOGY*, v. 105, p. 3–41.

Silva, W., Toro, J.C., and Bertens, A., 2009, Mineralización primaria sintectónica en el distrito minero Río Blanco-Los Bronces: *Congreso Geológico Chileno, 12th*, Santiago, 2009, *Actas, Pendrive*, p. S11–059.

Simon, G., Kesler, S.E., Essene, E.J., and Chryssoulis, S.L., 2000, Gold in porphyry copper deposits: Experimental determination of the distribution of gold in the Cu-Fe-S system at 400° to 700°C: *ECONOMIC GEOLOGY*, v. 95, p. 259–270.

Simon, A.C., Pettke, T., Candela, P.A., Piccolli, P.M., and Heinrich, C.A., 2006, Copper partitioning in a melt-vapor-brine-magnetite-pyrrhotite assemblage: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 70, p. 5583–5600.

Sociedad Nacional de Minería, Estadísticas, Precios Mensuales de Metales. 2014. [en línea] http://www.sonami.cl/index.php?option=com_content&view=article&id=226&Itemid=119 [consulta: 08 de abril 2014] .

Skewes, A.M., Arévalo, A., Floody, R., Zuñiga, P.H., and Stern, C.R., 2002, The giant El Teniente breccia deposit: Hypogene copper distribution and emplacement: *Society of Economic Geologists Special Publication 9*, p. 299–332.

Toro, J.C., Ortúzar, J., Zamorano, J., Cuadra, P., Hermosilla, J., Spröhnle, C., 2012, Protracted Magmatic-Hydrothermal History of the Río Blanco-Los Bronces District, Central Chile: Development of World's Greatest Known Concentration of Copper. *Society of Economic Geologists, Inc. Special Publication 16*, pp. 000-000.

U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, Molybdenum, January 2013. 2013. [en línea] <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/molybdenum/> [consulta: 21 agosto 2013].

U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, Rhenium, January 2013. 2013. [en línea] <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/rhenium/> [consulta: 21 agosto 2013].

Ulrich, T., Günther, D., and Heinrich, C.A., 1999, Gold concentrations of magmatic brines and the metal budget of porphyry copper deposits: *Nature*, v. 399, p. 676–679.

Ulrich, T., and Heinrich, C.A., 2001, Geology and alteration geochemistry of the porphyry Cu-Au deposit at Bajo de la Alumbrera, Argentina: *ECONOMIC GEOLOGY*, v. 96, p. 1719–1742.

Ulrich, T., and Mavrogenes, J., 2008, An experimental study of the solubility of molybdenum in H₂O and KCl-H₂O solutions from 500° to 800°C, and 150 to 300 MPa: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 72, p. 2316–2330.

Vargas, R., Gustafson, L.B., Vukasovic, M., Tidy, E., and Skewes, M.A., 1999, Ore breccias in the Río Blanco-Los Bronces porphyry copper deposit, Chile: *Society of Economic Geologists Special Publication 7*, p. 281–297.

Vergara, M., Drake, R., 1979a. Edades K/Ar en secuencias volcánicas continentales postneocomianas de Chile Central; su depositación en cuencas intermontanas restringidas. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, Vol. 34, p. 42-52.

Vergara, A. 2011. Informe inédito de resumen descripción Planta Las Tórtolas para Cat4. Anglo American.

Voudouris, P., Melfos, V., Spry, P., Bindi, L., Krtal, T., Arikas, K., Moritz, R., Ortelli, M. 2009. Rhenium-Rich Molybdenite and Rheniite in the Pagoni Rachi Mo-Cu-Te-Ag-Au Prospect, Northern Greece: Implications for the Geochemistry of Porphyry-Style Cu-Mo and Mo Mineralization. *The Canadian Mineralogist*. Vol. 47 pp. 1013-1036 (2009).

Voudouris, P., Melfos, V., Spry, P., Bindi, L., Moritz, R., Ortelli, M., Kartal, Tm. 2013. Extremely Re-Rich Molybdenite from Porphyry Cu-Mo-Au prospects in Northeastern Greece: Mode of Occurrence, Causes of Enrichment, and Implications for Gold Exploration. *Minerals* 2013, 3, 165-191; doi10.3390/min3020165.

Wallace, S.R., 1995, Presidential address; The Climax-type molybdenite deposits— what they are, where they are, and why they are?: *ECONOMIC GEOLOGY*, v. 90, p. 1359–1380.

Warnaars, F., Holmgren, C., Barassi, S. 1985. Porphyry Copper and Tourmaline Breccias at Los Bronces-Río Blanco, Chile. *Economic Geology* Vol. 80, 1985, pp. 1544-1565. WEBMINERAL. Clinochlore Mineral Data. 2014 [en línea] <http://webmineral.com/data/Clinochlore.shtml#.U3Nq2f15MXt> [consulta: 07 mayo 2014].

Wedepohl, K. 1978. Handbook of Geochemistry, Vol 5, Editorial Springer-Verlag, pp 42-A – 42-L.

White, W.H., Bookstrom, A.A., Kamilli, R.J., Ganster, M.W., Smith, R.P., Ranta, D.E., and Steininger, R.C., 1981, Character and origin of Climax-type molybdenum deposits: ECONOMIC GEOLOGY 75TH ANNIVERSARY VOLUME, p. 270–316.

Wood, S.A., Crerar, D.A., and Borcsik, M.P., 1987, Solubility of the assemblage pyrite-pyrrhotite-magnetite-sphalerite-galena-gold-stibnite-bismuthinite-argentite-molybdenite in H₂O-NaCl-CO₂ solutions from 200°C to 350°C: ECONOMIC GEOLOGY, v. 82, p. 1864–1887.

Zajacz, Z., Seo, J.H., Candela, P.A., Piccoli, P.M., Heinrich, C.A., and Guillong, M., 2010, Alkali metals control the release of gold from volatile-rich magmas: Earth and Planetary Science Letters, v. 297, p. 50–56.

Zamorano, J., Pablo, M. 2013. PLBD Informe de Modelamiento Geológico Los Sulfatos. Informe interno. LBD Project, División Los Bronces, Anglo American.

ANEXO I. ANTECEDENTES

Tabla 1. Resumen de las concentraciones de renio de yacimientos tipo pórfido de cobre de Chile.

Yacimiento	Muestra	Re [ppm]	Ocurrencia
Complejo Toki (Barra et al. 2013)	AD-1157A	1380,800	Alteración sericítica moderada, qz-ccp-mo transicional a veta tipo B en pórfido tonalítico (Toki)
	AD-1005A	1157,000	Alteración sericítica moderada y menor clorítica, ccp-mo transicional a veta tipo B en pórfido tonalítico (Toki)
	AD-1123	3099,200	Alteración sericita-clorita-sílice moderada, qz-mo transicional a veta tipo B en pórfido tonalítico (Toki)
	AD-1162	654,600	Alteración sericítica moderada y menor feldespato potásico y clorítica, qz-mo transicional a veta tipo B en brecha hidrotermal en pórfido tonalítico (Toki)
	AD-1159	274,600	Alteración feldespática fuerte, vena tipo B transicional a pórfido tonalítico (Quetena)
	AD-1185	1210,000	Alteración biotita-clorita menor, vena tipo B transicional en stock granodiorítico (Quetena)
	AD-1705	795,900	Alteración biotita-sericita menor, vena transicional tipo B con ccp-mo-feldk en pórfido tonalítico (Quetena)
	AD-966	755,500	Alteración clorita y menor biotita moderada, vena de qtz-mo ± ccp transicional a tipo B en metandesita (Quetena)
	AD-1012	613,100	Alteración biotita-clorita moderada, vena de qz-mo transicional a tipo B en pórfido tonalítico (Quetena)
	DDH-2550	1392,000	Alteración clorita-sericita-feldk moderada, vena mo ± ccp transicional a tipo B en pórfido tonalítico (Miranda)
	DDH-2565	1074,500	Vena de qz-mo transicional a tipo B (Miranda)
	DDH-2569	2858,400	Vena de qz-mo-ccp transicional a tipo B (Miranda)
	AD-432	244,700	Alteración biotita-clorita moderada, vena tipo B mo-ccp en brecha ígnea (Opache)
	AD-396-1	1536,400	Alteración biotita-clorita moderada, vena tipo B mo-ccp en brecha ígnea (Opache)
	AD-396-2	1635,800	Misma muestra anterior
	AD-430	20,900	Alteración clorita-sericita moderada, vena de mo transicional a tipo B en pórfido tonalítico (Opache)
	Promedio	1168,963	
Chuquicamata (Barra et al. 2013)	CHDD-7215	153,300	qz-mo transicional a veta tipo B en pórfido Este
	CHDD-7225	225,000	qz-mo transicional a veta tipo B en pórfido Este
	CHDD-7202-1	262,400	qz-mo transicional a veta tipo B en pórfido Este
	CHDD-7202-2	92,600	qz-mo transicional a veta tipo B en pórfido Este
		Promedio	183,325

Yacimiento	Muestra	Re [ppm]	Ocurrencia
Teniente (Maksaev et al. 2004)	DDH-2176	73,000	brecha con anhidrita de grano grueso, biotita, calcopirita y molibdenita alojada en stock de sewell con alteración potásica
	tt-Mo-1	182,260	brecha con anhidrita de grano grueso, biotita, calcopirita y molibdenita alojada en stock de sewell con alteración potásica
	TT-179	168,700	veta de molibdenita alojada en stock de sewell con alteración cuarzo sericita pervasiva
	tt-Mo-6	1153,660	vea de qz-mo en pórfido dacítico Teniente con alteración potásica
	TT-174	72,540	veta de molibdenita alojada en gabro biotitizado
	TT-164	220,060	veta de mo-ccp con halo de alteración sericítica en pórfido dacítico Teniente
	tt-Mo-5	249,520	veta de mo con menor ccp y halo de alteración sericítica en pórfido dacítico Teniente
	tt-Mo-7	319,930	veta de qz-mo-ccp en pórfido cuarzo diorítico-tonalítico norte con alteración cuarzo sericita pervasiva y abundante diseminación de calcopirita
	tt-Mo-8	254,810	veta de cuarzo con molibdenita y calcopirita en pórfido dacítico-tonalítico norte con alteración cuarzo sericita pervasiva
	Promedio	299,387	
Escondida (Romero et al. 2011)	E-1	1449,500	veta de sulfuros
	E-2	331,000	Monominerálica
	Promedio	890,250	
Escondida Norte (Romero et al. 2011)	EN-1	432,500	mineralización de Mo
	EN-2	595,200	mineralización de Mo
	EN-3	1804,400	mineralización de Mo
	Promedio	944,033	
Andina (Mathur et al. 2001)	andi-1	113,280	No específica
	andi-2	312,140	No específica
	Promedio	212,710	
Pelambres (Mathur et al. 2001)	do 4 pel-3	536,420	No específica
	lp mo 02	449,560	No específica
	Pel-1	819,770	No específica
	Promedio	601,917	
Collahuasi (Mathur et al. 2001)	c158 293 ma	367,600	No específica
	coya-7	447,930	No específica
	Promedio	407,765	
Los Sulfatos (Ortuzar ~2005)	PS-5-1	1092,1	No específica
	PS-5-2	1139,2	No específica
	PS-6	33,5	No específica
	PS-10	375,2	No específica
	PS-14	216,5	No específica
	Promedio	571,28	
Los Bronces (Deckart et al. 2014)	SM-1	181,1	Matriz de molibdenita
	MO-105 (965m)	288,1	Vetilla de molibdenita
	MO-105 (609m)	306,3	Vetilla de molibdenita
	Promedio	258,5	

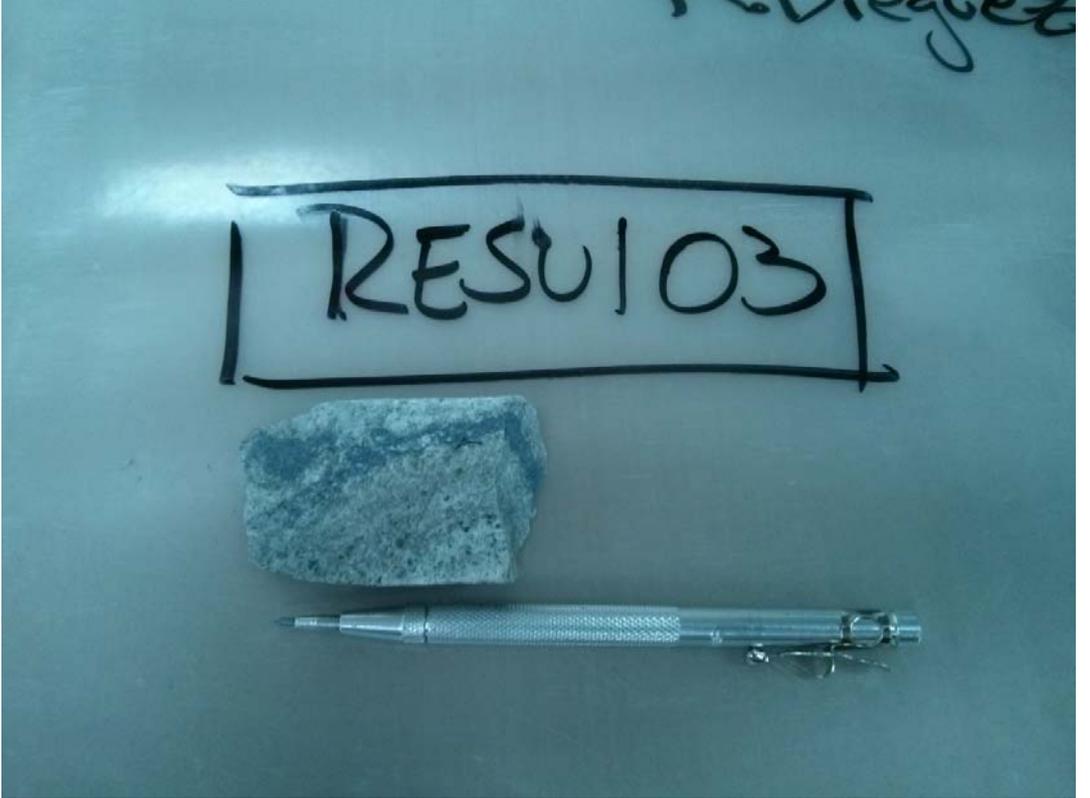
Yacimiento	Muestra	Re [ppm]	Ocurrencia
San Enrique Monolito (Castillo 2012)	Brecha-QzSer	0,090	14 muestras de alimentación por asociación roca-mineral
	Cuarzomonzonita-Sericita	0,200	3 muestras de alimentación por asociación roca-mineral
	Cuarzomonzonita-Clorita	0,382	2 muestras de alimentación por asociación roca-mineral
	Cuarzomonzonita-Biotita	0,053	9 muestras de alimentación por asociación roca-mineral
	Promedio	0,112	Calculado con las muestras no el promedio por unidad
San Enrique Monolito (Castillo 2012)	CC-1	133,4	Brecha-Cuarzo Sericita
	CC-2	113,8	Cuarzomonzonita-Cuarzo Sericita
	CC-4	198	Cuarzomonzonita-Biotita
	Promedio	148,4	

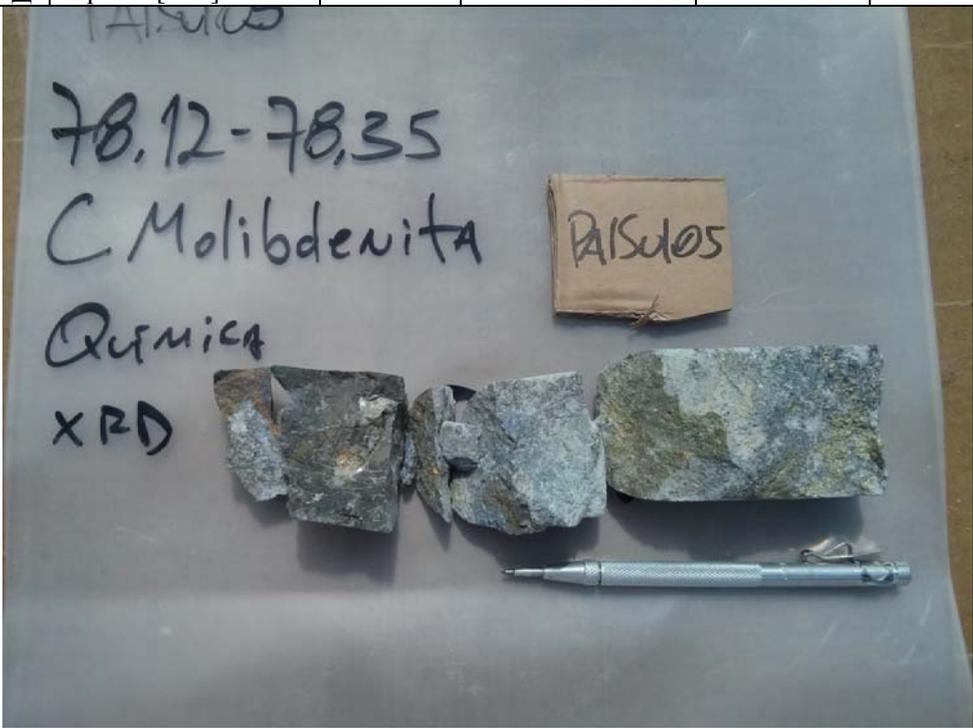
ANEXO II. DESCRIPCIÓN DE MUESTRAS

Muestras Macroscópicas

Código		RESUL01		
Roca	Litología	Cuarzomonzonita equigranular		
	Alteración	Asociaciones clorita-albita-pirita y cuarzo-sericita		
	Mineralización	El porcentaje de mineralización de la roca es del orden del 1%. Donde el 45% corresponde a calcopirita en vetas y diseminada (60% y 40% respectivamente); el 10% corresponde a pirita diseminada y el 45% a molibdenita (diseminada 60%, cúmulos 15% y en veta 25%).		
Vetillas	Tipo	Qz±Cpy	Mo	
	Relleno	Asociación Mineral	Principalmente Qz	Cuarzo
		Mineralización	Calcopirita	Molibdenita
		Espesor [mm]	2-5 mm	<1 mm
	Halo	Asociación Mineral	Sin halo	Sin halo
		Mineralización		
		Espesor [mm]		
Foto				

Código		RESUL02			
Roca	Litología	Granodiorita equigranular fina			
	Alteración	Asociación de Chl-Alb-Py.			
	Mineralización	La mineralización concentra un total del 2,5 % del volumen de la roca. Donde el 10% corresponde a Calcopirita diseminada y el 20% en vetas. 30% corresponde a molibdenita en vetas y 10% diseminada. Un 20 % a pirita diseminada y el 10% restante a Hematita diseminada.			
Vetillas	Tipo	Qz-Chl	Anh-Chl-Cpy-Mo-Py	Mo solo	
	Relleno	Asociación Mineral	Qz-Chl	Anh-Chl-Cpy-Mo-Py	Mo
		Mineralización	no tiene	100% Cpy	Mo
		Espesor [mm]	2-3 mm.	8 mm.	1 mm
	Halo	Asociación Mineral	Feldespato Potásico	Albita	no tiene
		Mineralización	-	-	-
		Espesor [mm]	1-20 mm.	-	-
Foto					

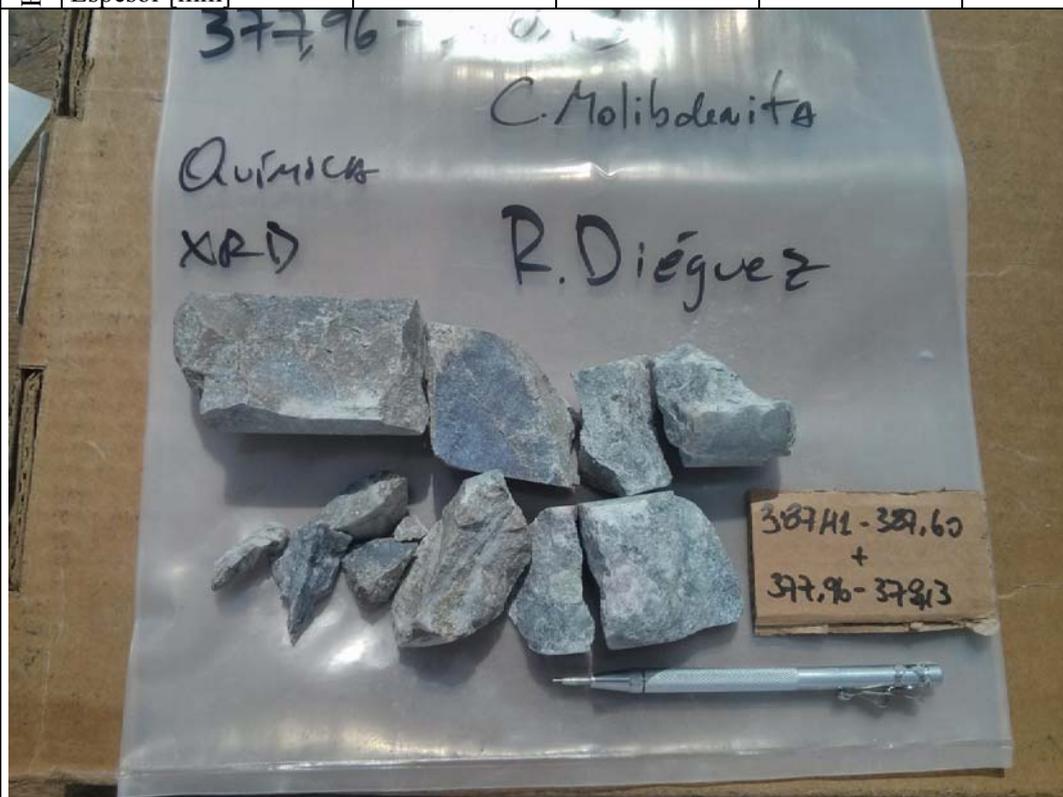
Código		RESUL03	
Roca	Litología	Cuarzomonzonita equigranular gramo medio	
	Alteración	Asociación Chl-Alb afectando principalmente a máficos y plagioclasas respectivamente.	
	Mineralización	La mineralización comprende un 10% de la muestra. Donde el 90% corresponde a Mo fina en veta y el 10% a Cpy diseminado con un tamaño entre 0,5-4 mm.	
Vetillas	Tipo	Mo solo	
	Relleno	Asociación Mineral	Mo
		Mineralización	100% Molibdenita
		Espesor [mm]	6 mm
	Halo	Asociación Mineral	Mo
		Mineralización	100% Molibdenita diseminada el contacto veta-roca
		Espesor [mm]	irregular 1-3 mm
Foto			

Código		RESUL04				
Roca	Litología	La muestra presenta dos litologías: granodiorita porfídica (1) y brecha de biotita (2)				
	Alteración	(1) presenta la asociación Chl-Alb±Py. (2) esta principalmente biotitizada en los clastos de manera pervasiva los clastos presentas vetas de Anh-Cpy de hasta 5 mm.				
	Mineralización	La mineralización corresponde a un 4% de la roca compuesta por un 50% de Cpy en vetas con cristales entre 1-8 mm. 25% de Mo fina en vetas y un 25% de Py en vetas con un tamaño de 1-3 mm.				
Vetillas	Tipo	Anh-Cpy	Anh-Cpy-Py-Mo	Mo solo	Ser	
	Relleno	Asociación Mineral	Anh-Cpy	Anh-Cpy-Py-Mo	Molibdenita	Ser
		Mineralización	100% Cpy	60% Py, 30% Cpy y 10% Mo	100% Mo	-
		Espesor [mm]	5 mm	2 cm	1.5 mm	3 mm
	Halo	Asociación Mineral	no tiene	no tiene	no tiene	no tiene
		Mineralización	-	-	-	-
		Espesor [mm]	-	-	-	-
Foto						

Código		RESUL05		
Roca	Litología	La muestra presenta dos litologías: granodiorita porfídica (1) y brecha de biotita con matriz de turmalina (2)		
	Alteración	(1) presenta la asociación Chl-Alb±Py. (2) está principalmente biotitizada en los clastos de manera pervasiva los clastos presentan vetas de Anh-Cpy de hasta 5 mm.		
	Mineralización	La mineralización corresponde a un 4% de la roca compuesta por un 60% de Cpy en vetas con cristales entre 1-8 mm. 25% de Mo fina en vetas y un 15% de Py en vetas con un tamaño de 1-3 mm.		
Vetillas	Tipo		Tur-Cpy	Qz solo
	Relleno	Asociación Mineral	Tur-Cpy	Qz solo
		Mineralización	100% Cpy	-
		Espesor [mm]	8-10 mm	3-8 mm
	Halo	Asociación Mineral	-	-
		Mineralización	-	-
		Espesor [mm]	-	-
Foto	<p> PAISU07 51,19-51,26 + 51,67-51,80 + 52,20-52,36 + 56,46-56,55 C. Molibdenita QUÍMICA XRD </p>			

Código		RESUL06				
Roca	Litología	Cuarzomonzonita fina				
	Alteración	Asociación Qz-Ser-Ank				
	Mineralización	Involucra el 7% de la muestra. El 70 % corresponde a Py principalmente en vetas de pirita sola y en vetas de Qz-Py-Anh. Un 20 % es Mo muy fina en veta de Mo solo y veta de sericita. El 10% restante corresponde a Cpy asociada a la Py				
Vetillas	Tipo	Mo	Qz-Py-Anh	Ser	Py	
	Relleno	Asociación Mineral	Mo	Qz-Py-Anh	Ser	Py
		Mineralización	100% Mo fino	85% Py y 15% Cpy	100% Mo fino. Son trazas	100% Py
		Espesor [mm]	0.5 mm	5-10 mm	2 mm	1-3 mm
	Halo	Asociación Mineral	-	-	-	-
		Mineralización	-	-	-	-
		Espesor [mm]	-	-	-	-

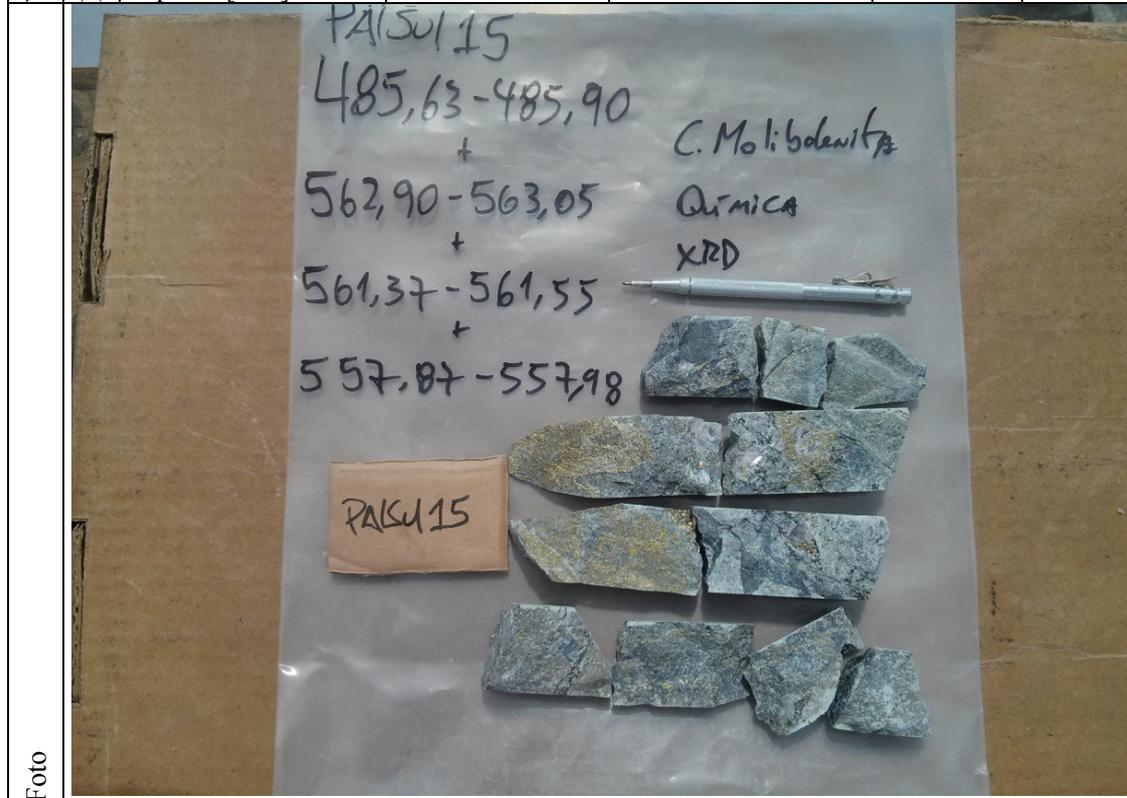
Foto

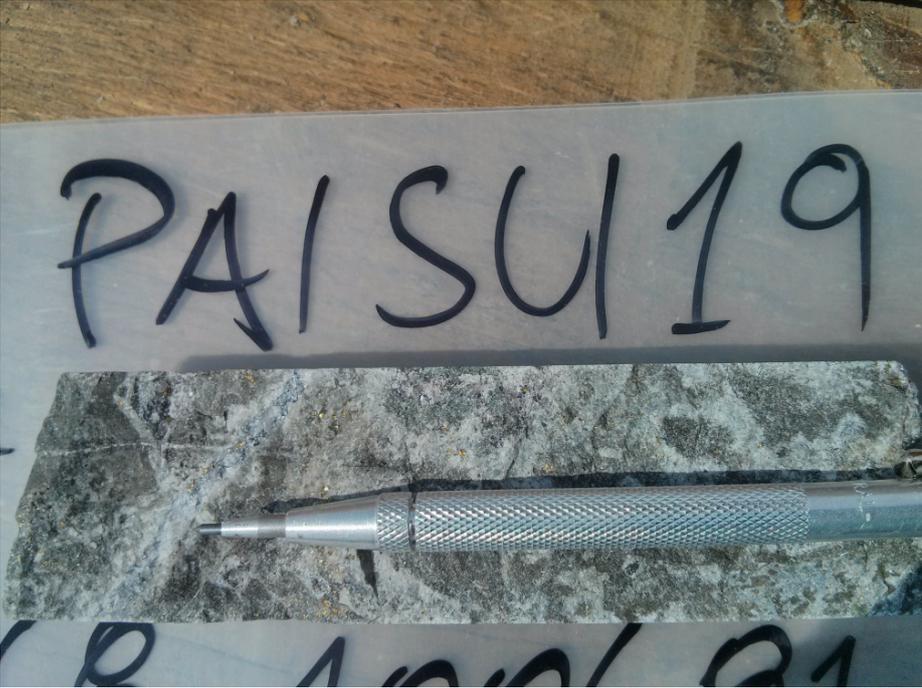


Código		RESUL07				
Roca	Litología	Granodiorita porfídica				
	Alteración	Asociación Chl-Alb-Ser.				
	Mineralización	La mineralización comprende un 3% de la roca. Un 40% corresponde a Cpy en vetas, otro 40% a Py en veta y el 20% restante a Mo (80% en veta y 20% diseminado).				
Vetillas	Tipo	Qz-Mo	Cpy-Py-Mo-Anh	Tur	Qz solo	
	Relleno	Asociación Mineral	Qz-Mo	Cpy-Py-Mo-Anh	Tur	Qz
		Mineralización	100% Mo	45% Cpy, 45% Py y 10% Mo	-	no tiene
		Espesor [mm]	1-3 mm	7 mm	max 1 mm	0,5 mm
	Halo	Asociación Mineral	-	Ser-Chl	-	-
		Mineralización	-	-	-	-
		Espesor [mm]	-	2 cm	-	-
	Foto					

Código		RESUL08		
Roca	Litología	Brecha con clastos mineralizados de pórfido granodiorítico biotitizados con presencia de FeldK y andesita. Matriz compuesta principalmente por Turmalina.		
	Alteración	Asociaciones Qz-Ser y Bt-FeldK. Ambas con intensidad baja.		
	Mineralización	Del total de la roca la mineralización alcanza un 2%. Donde el 50% corresponde a Py-Cpy en vetas y diseminada (80% y 20% respectivamente), y el 50% restante a Mo en vetas.		
Vetillas	Tipo		Mo solo	Cpy-Qz-Ser
	Relleno	Asociación Mineral	Mo	Cpy-Qz-Ser
		Mineralización	100% Mo	100% Cpy
		Espesor [mm]	1 mm	1 mm
	Halo	Asociación Mineral	-	-
		Mineralización	-	-
		Espesor [mm]	-	-
Foto				

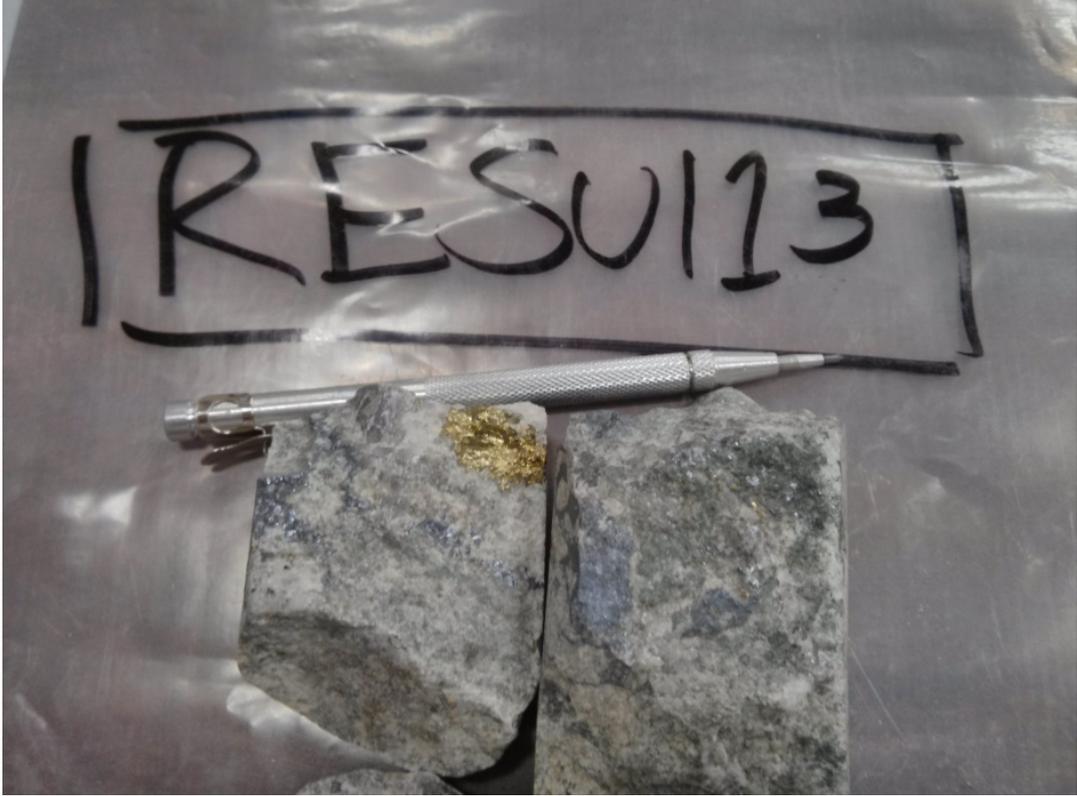
Código		RESUL09				
Roca	Litología	Brecha de turmalina con clastos de pórfido cuarzomonzonítico.				
	Alteración	Los clastos están principalmente afectados por albitización selectiva y penetrativa, con poca turmalina diseminada.				
	Mineralización	Con un total de 5% de la roca la mineralización se compone por un 50% de Cpy en vetas , un 25% de Py en vetas y un 25% de Mo diseminada en veta de Anh-Cpy±Mo±Py y en la matriz de Tur. Se encuentra Hm en traza diseminada.				
Vetillas	Tipo	Qz-Cpy±Py	Anh-Cpy±Mo±Py	Tur	Py±Qz	
	Relleno	Asociación Mineral	Qz-Cpy±Py	Anh-Cpy±Mo±Py	Tur	Py±Qz
		Mineralización	90% Cpy y 10% Py	50% Cpy, 35% Mo y 15% Py	no tiene	100% Py
		Espesor [mm]	0.5-1.5 mm	5-10 mm	1-2 mm	3 mm
	Halo	Asociación Mineral	-	-	-	-
		Mineralización	-	-	-	-
		Espesor [mm]	-	-	-	-



Código		RESUL10		
Roca	Litología	Brecha con clastos de andesita fuertemente biotitizados.		
	Alteración	Biotítica fuerte con FeldK asociado. Asociación Bt-Chl-Alb. Presenta vetas de Qz-Sulfuros		
	Mineralización	Ocupando un 23% del volumen de la muestra la mineralización se compone de un 60% de Cpy (80 diseminado 20% en veta de Qz) un 40% corresponde a Mo en Veta y existen trazas de Bo.		
Vetillas	Tipo	Qz	Qz	
	Relleno	Asociación Mineral	Qz	Qz
		Mineralización	80% Mo y 20% Cpy	no tiene
		Espesor [mm]	4 mm	1-13 mm
	Halo	Asociación Mineral	-	-
		Mineralización	-	-
		Espesor [mm]	-	-
Foto				

Código		RESUL11			
Roca	Litología	Granodiorita porfídica fina, con sectores donde se brechiza la muestra dentro de una matriz de turmalina.			
	Alteración	Albita selectiva penetrativa y asociación Qz-Ser.			
	Mineralización	Muestra con un total del 2% con mineralización distribuida en un 30% de Cpy en veta y 20% diseminada. Un 40 % de Mo en veta y un 10% diseminada.			
Vetillas	Tipo	Qz-Mo±Cpy	Tur	Tur-Qz-Anh-Cpy±Mo	
	Relleno	Asociación Mineral	Qz-Mo±Cpy	Tur	Tur-Qz-Anh-Cpy±Mo
		Mineralización	80% Mo; 20% Cpy	-	70% Cpy; 30% Mo
		Espesor [mm]	1-2 mm	finas 0,5 mm	6-10 mm
	Halo	Asociación Mineral	FeldK	-	-
		Mineralización	-	-	-
		Espesor [mm]	2-4 mm.	-	-
Foto					

Código		RESUL12			
Roca	Litología	Brecha con una 40% de clastos biotitizados y un 60% de matriz compuesta por Tur-Anh-Alb-Ser.			
	Alteración	Biotitización de los clastos. Precencia de vetas de Anh y Qz. Asociación Chl-Alb-Py en la matriz.			
	Mineralización	Comprende un 3% de la muestra. Un 70% corresponde a Mo en vetas y rellenando fracturas y espacios rodeando a los clastos de tamaño muy fino. Un 20 % de Cpy en vetas y 5% diseminado. Un 5% de Py asociada a la Cpy.			
Vetillas	Tipo	Qz-Mo	Cpy	Anh	
	Relleno	Asociación Mineral	Qz-Mo	Cpy	Anh
		Mineralización	100% Mo	100% Cpy	-
		Espesor [mm]	1-8 mm	0.5-2 mm	1-10 mm.
	Halo	Asociación Mineral	-	Qz-Chl-Ser	-
		Mineralización	-	-	-
		Espesor [mm]	-	10-20 mm	-
Foto					

Código		RESUL13			
Roca	Litología	Cuarzomonzodiorita porfídica			
	Alteración	Asociación Chl-Ser-Alb selectiva y Ser gris verde alrededor de sectores con más Qz.			
	Mineralización	3% de la roca, con un 70% de Mo (60% en vetas y 40% rellenando espacios) un 25% de Cpy (15% diseminado, 85% en vetas) 5% de Hm diseminada.			
Vetillas	Tipo		Qz-Mo	Cpy-Qz	Anh-Mo-Cpy
	Relleno	Asociación Mineral	Qz-Mo	Cpy-Qz	Anh-Mo-Cpy
		Mineralización	100% Mo	100% Cpy	80% Mo 20% Cpy
		Espesor [mm]	1-3 mm	7 mm	5-20 mm
	Halo	Asociación Mineral	-	-	-
		Mineralización	-	-	-
		Espesor [mm]	-	-	-
Foto					

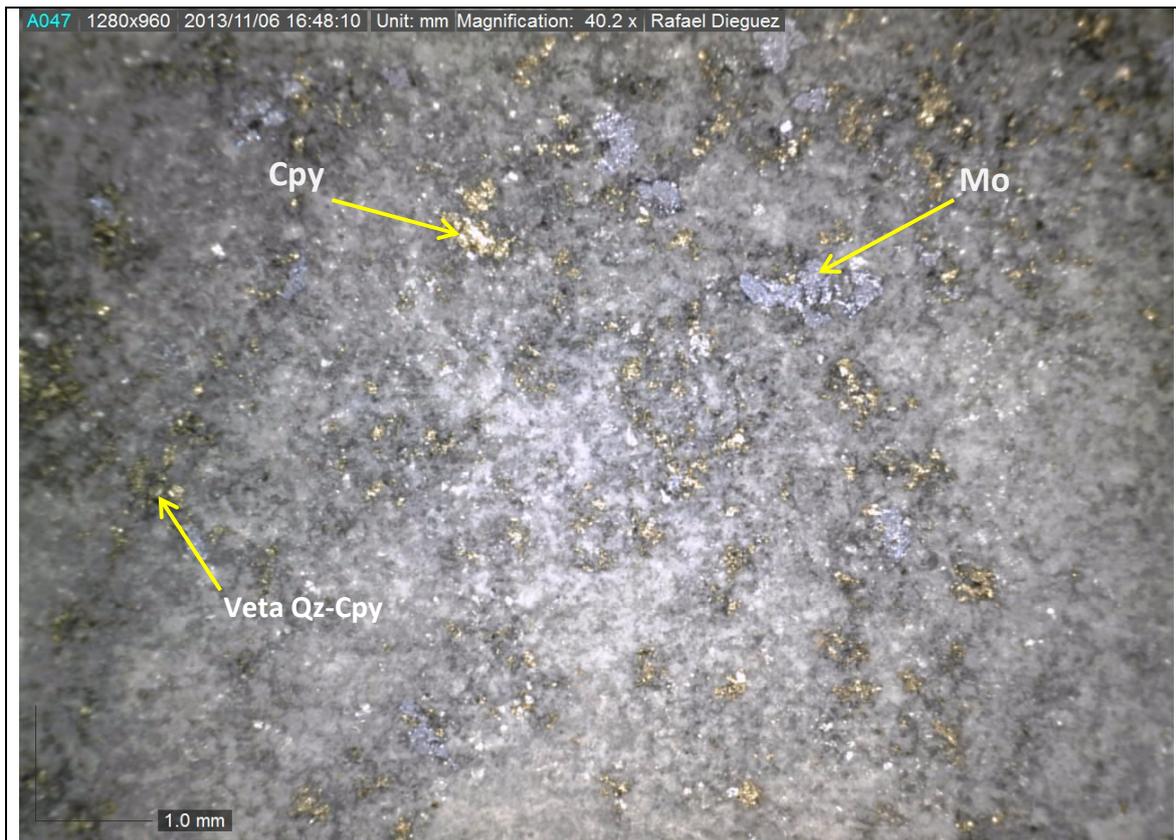
Cortes Transparente-Pulidos

Fecha	Muestra
Octubre, 2013	RESUL01

Procedencia	Ubicación-Tramo	Clasificación Petrográfica
Los Sulfatos	PALSUL02 - 463,25-463,58	Cuarzomonzonita equigranular

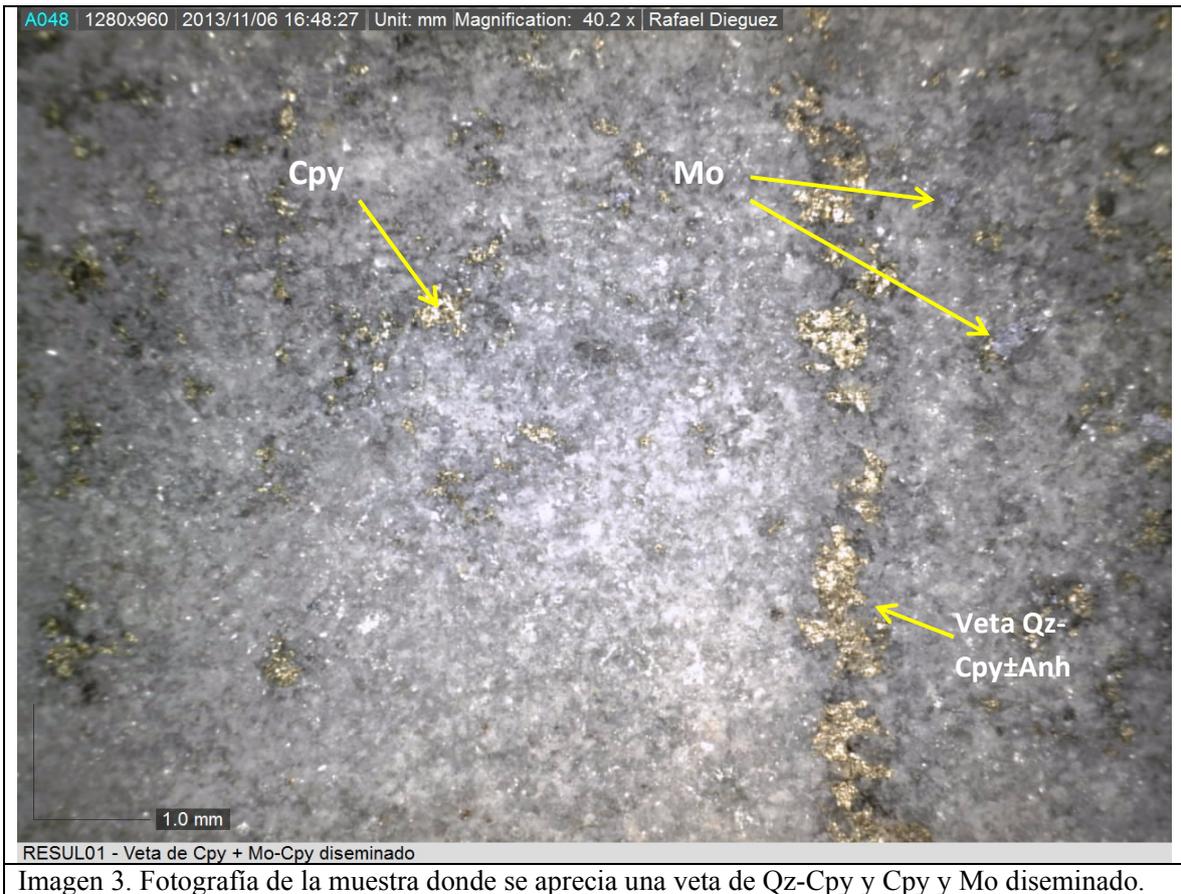
Observaciones Macroscópicas

En la muestra se observa una textura porfídica relictiva, la alteración es fuerte alterando los feldespatos y plagioclasas a sericita y con presencia de anhidrita. Los minerales máficos fueron consumidos y solo se observa turmalina. La mineralización se presenta en vetas de Qz-Cpy donde algunas presentan molibdenita en la muestra se observa calcopirita y molibdenita diseminada en todo su volumen.



RESUL01 - Veta de Cpy + Mo-Cpy diseminado

Imagen 2. Fotografía donde se aprecia el estilo de mineralización presente en la muestra, consistente en vetas de Qz-Cpy y molibdenita de grano grueso y calcopirita diseminada.



Observaciones Microscópicas

En la muestra se observa un intercrecimiento de cuarzo, plagioclasas y feldespato potásico, estos dos últimos alterados a sericita donde en algunos casos es posible ver sus propiedades ópticas entre las sericitas. Se observa que la anhidrita forma parte en vetas (Qz-Cpy y Qz) y también diseminado.

No se observa la presencia de minerales máficos producto de la alteración quedando solo rutilo como relicto.

La mineralización ocurre tanto en vetillas como diseminada en el caso de la calcopirita, y la molibdenita se encuentra diseminada.

Roca (Protolito)

Mineral	%Volumen	Ocurrencia
Cuarzo	50	Cristales intercrecidos con textura poligonal y concertal. Con tamaños entre 0,05-0,1 mm y 0,1-0,2 mm respectivamente.
Feldespato potásico	30	Cristales en contacto con cuarzo y plagioclasas formando parte del intercrecimiento de minerales. Muy alterado.
Plagioclasa	20	Cristales en contacto con cuarzo y feldespatos potásicos formando parte del intercrecimiento de minerales. Muy alterado.

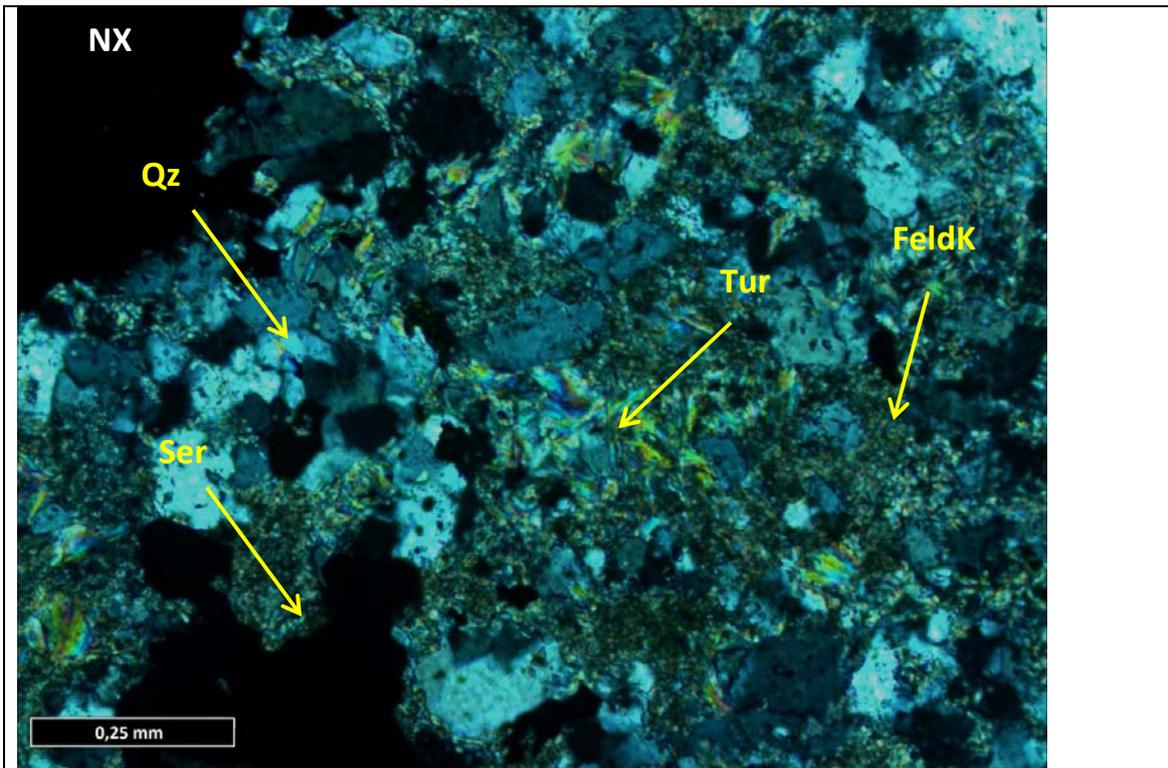


Imagen 4. Fotomicrografía de la muestra RESUL01. Se aprecia cuarzo, anhidrita y sericita que altera fuertemente a feldespatos potásicos y plagioclasas.

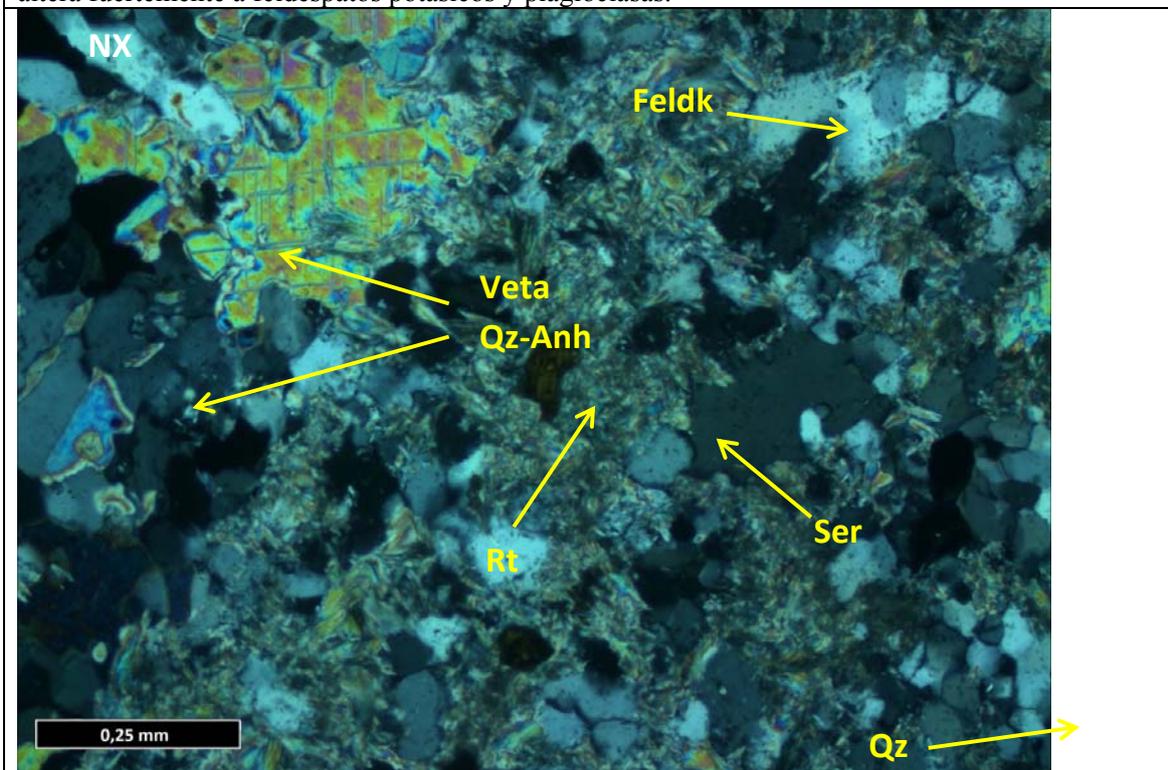


Imagen 5. Fotomicrografía de la muestra a nicóles cruzados. Se observa veta Qz-Anh y cuarzo, sericita y rutilo

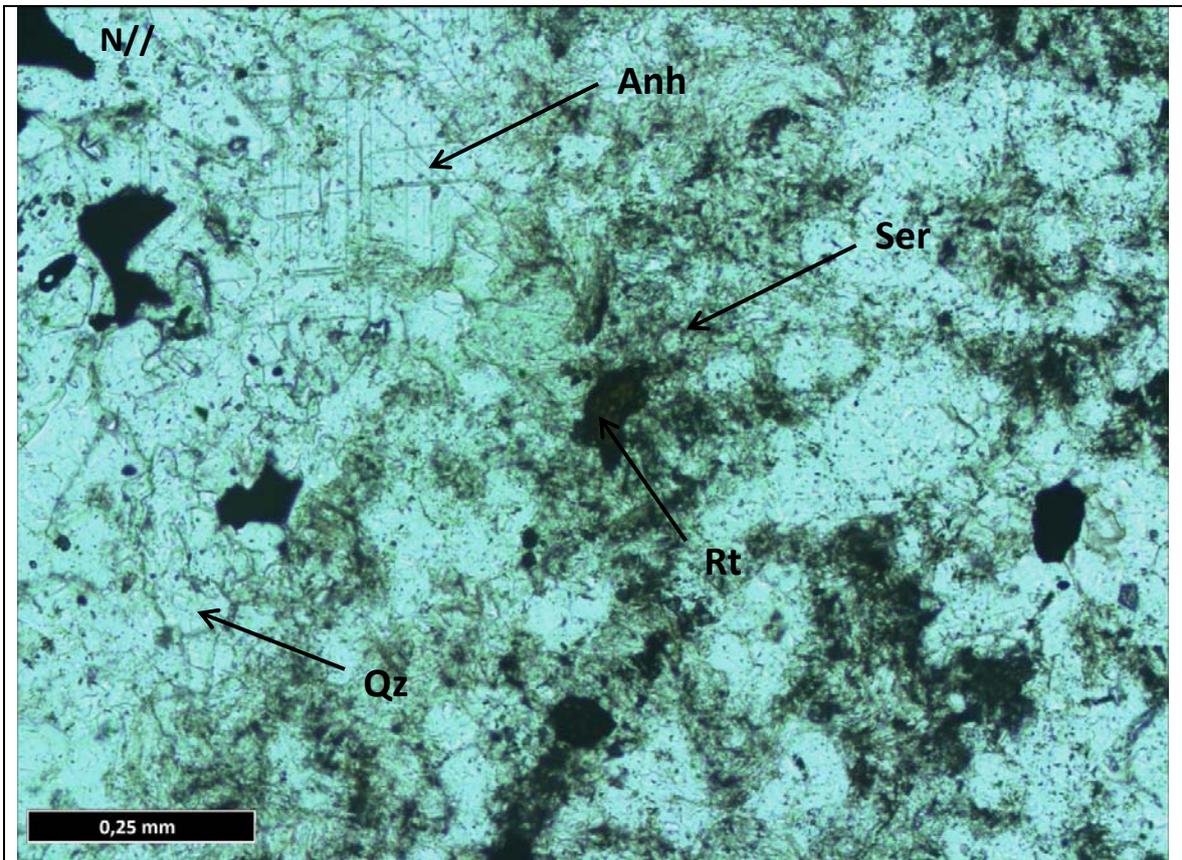


Imagen 6. Fotomicrografía de la muestra a nícoles paralelos. Se observan feldspatos sericitizados y rutilo.

Minerales de Alteración o Secundarios		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
Sericita	35	Alterando a cristales de plagioclasa y feldespato potásico y presente también entre los contactos de minerales.
Turmalina	10	Cristales pequeños y alargados diseminados por la muestra. No se observan en vetas.
Anhidrita	5	Se presenta en vetas (Qz-Anh) y en las cercanías de estas con un tamaño de 0,1-0,4 mm. También se encuentra masivo envolviendo cristales con un tamaño promedio de 0,5 mm y un máximo de 1 mm.
Cuarzo	3	En vetas Qz-Anh y Qz-Cpy±Anh. Los cristales se presentan con un tamaño promedio de 0,2 mm.
Rutilo	2	Diseminado y en los contactos entre cristales. De tamaño muy fino a cristales de hasta 0,2 mm.

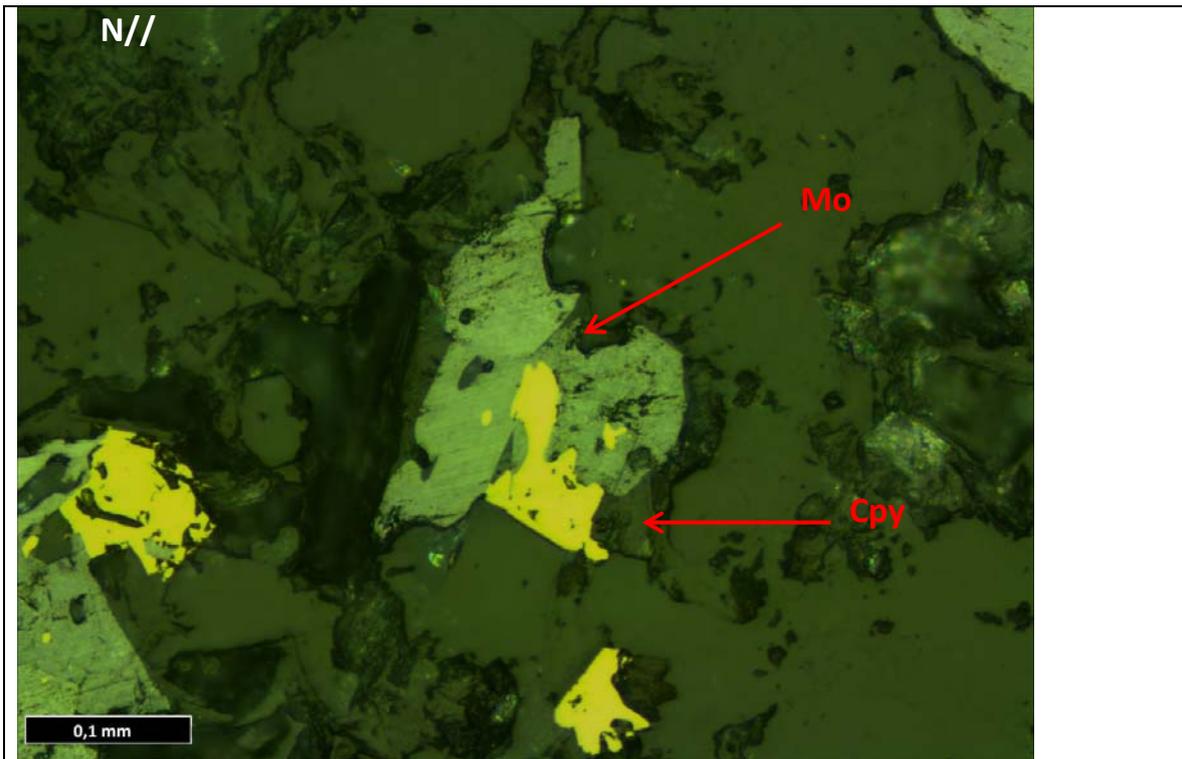


Imagen 7. Cristales de molibdenita y calcopirita intercrecidos.

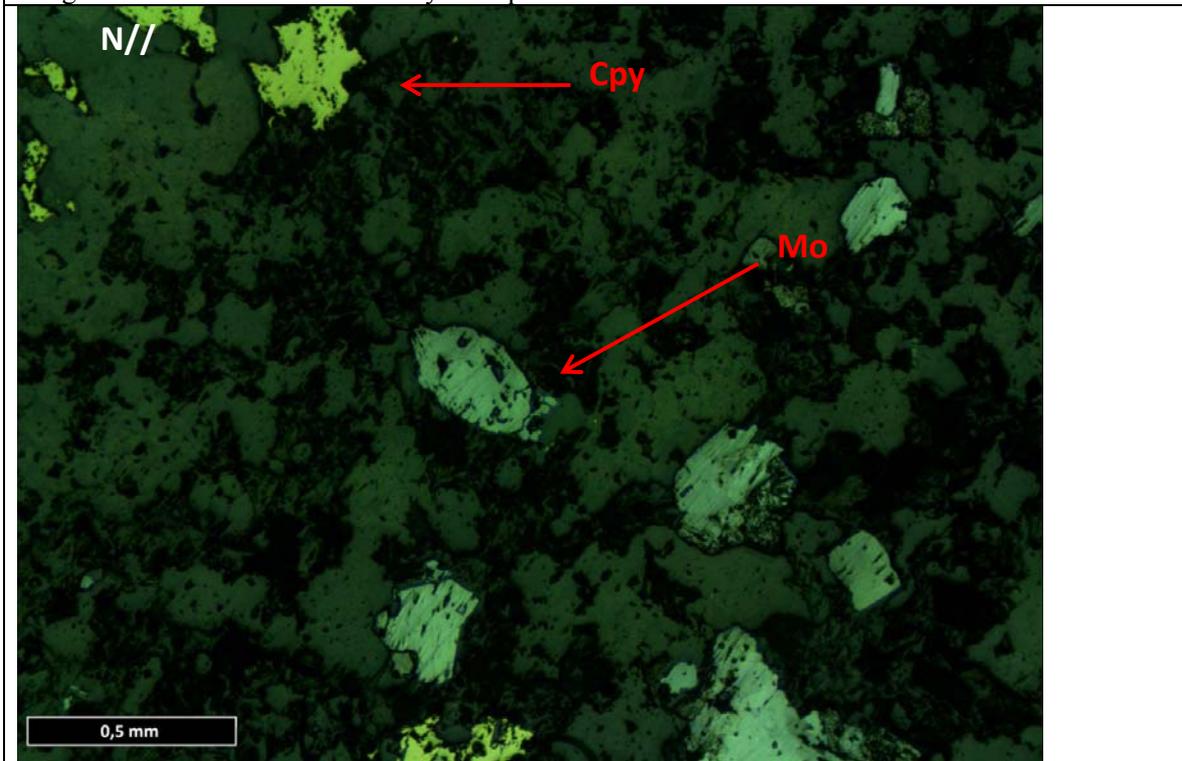


Imagen 8. Cristales de calcopirita en veta de Qz-Anh y también diseminados. Cristales de molibdenita diseminados.

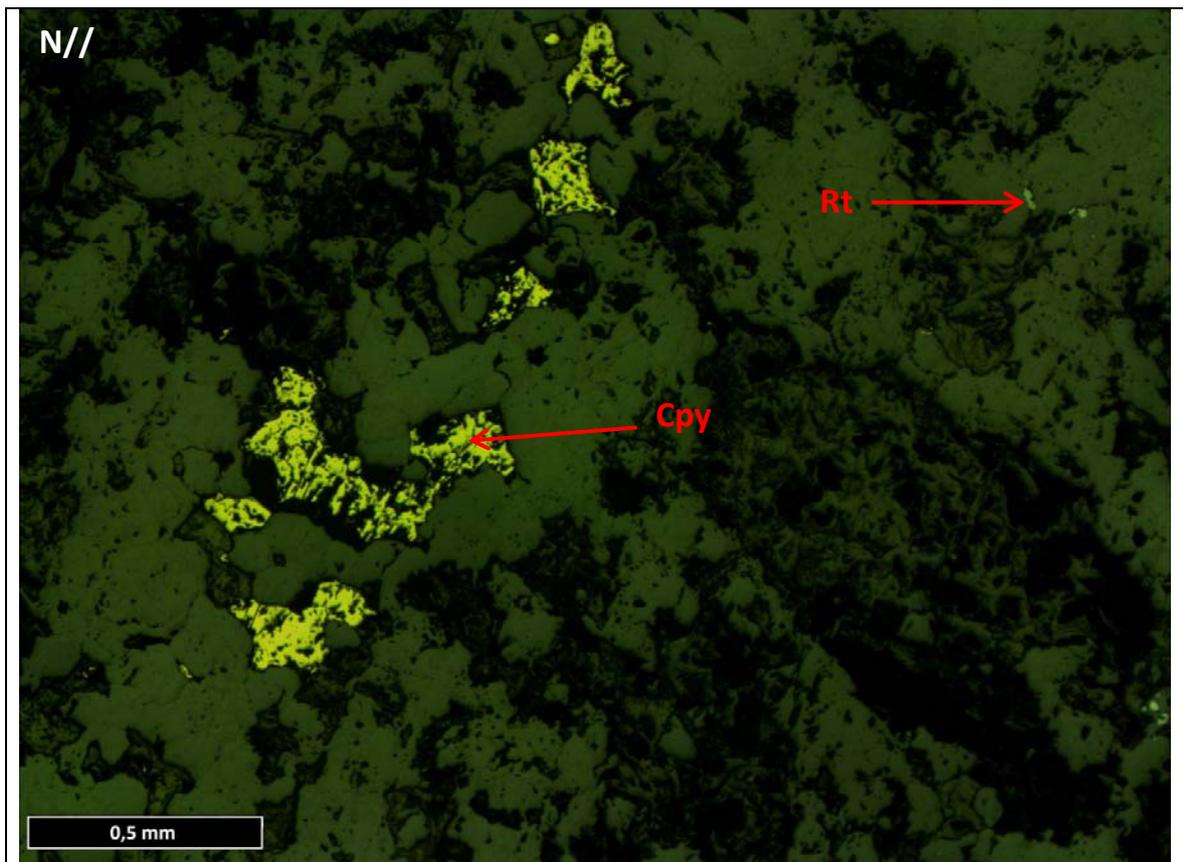


Imagen 9. Cristales de calcopirita en vetas. Rutilo diseminado.

Minerales Opacos		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
Calcopirita	5	Cristales anhedrales diseminados con un tamaño entre 0,1-0,5 mm
Rutilo	Igual que alteración	Diseminado y en los contactos entre cristales. De tamaño muy fino a cristales de hasta 0,2 mm.
Molibdenita	1	Agregados de cristales diseminados con un tamaño entre 0,05-0,1 mm. Se presentan cristales bien formados y otros que no, los que están rellenoando espacios entre cristales.

Vetillas		
Tipo/Asoc. mineral	Espesor	Ocurrencia
Qz-Anh	0,5-1 mm	Veta recta continua cortando la muestra
Qz-Cpy±Anh	0,5-1 mm	Veta recta continua cortando la muestra

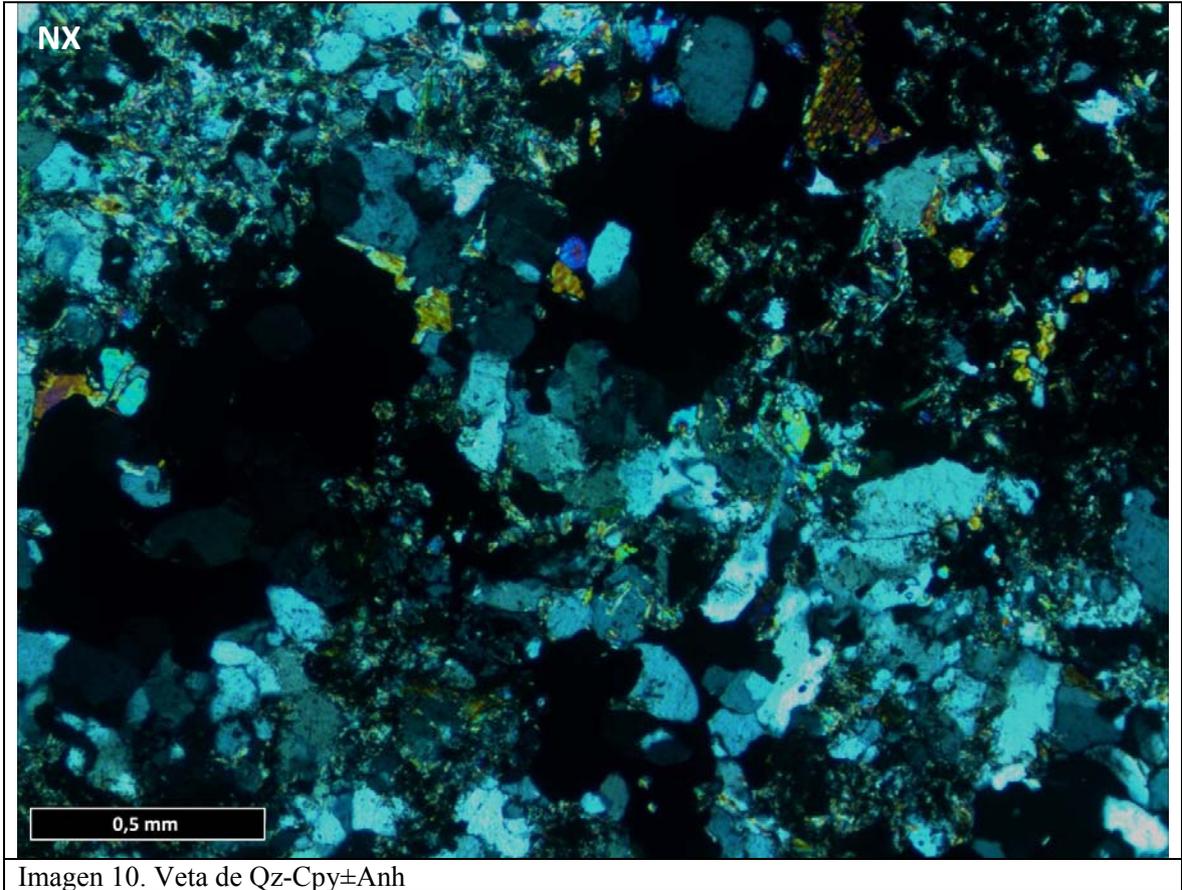


Imagen 10. Veta de Qz-Cpy±Anh

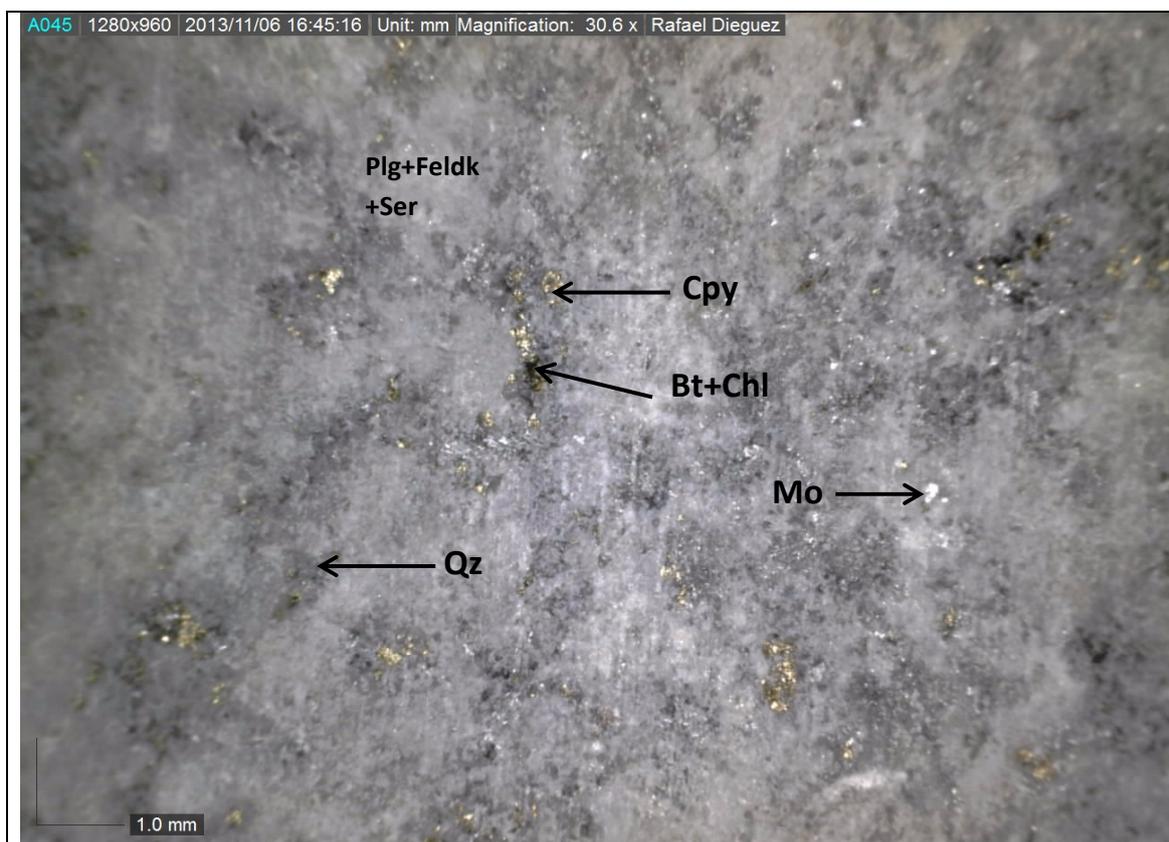
Fecha	Muestra
Octubre, 2013	RESUL02

Procedencia	Ubicación-Tramo	Clasificación Petrográfica
Los Sulfatos	PALSUL04 – 370,87-371,14	Granodiorita equigranular fina

Observaciones Macroscópicas

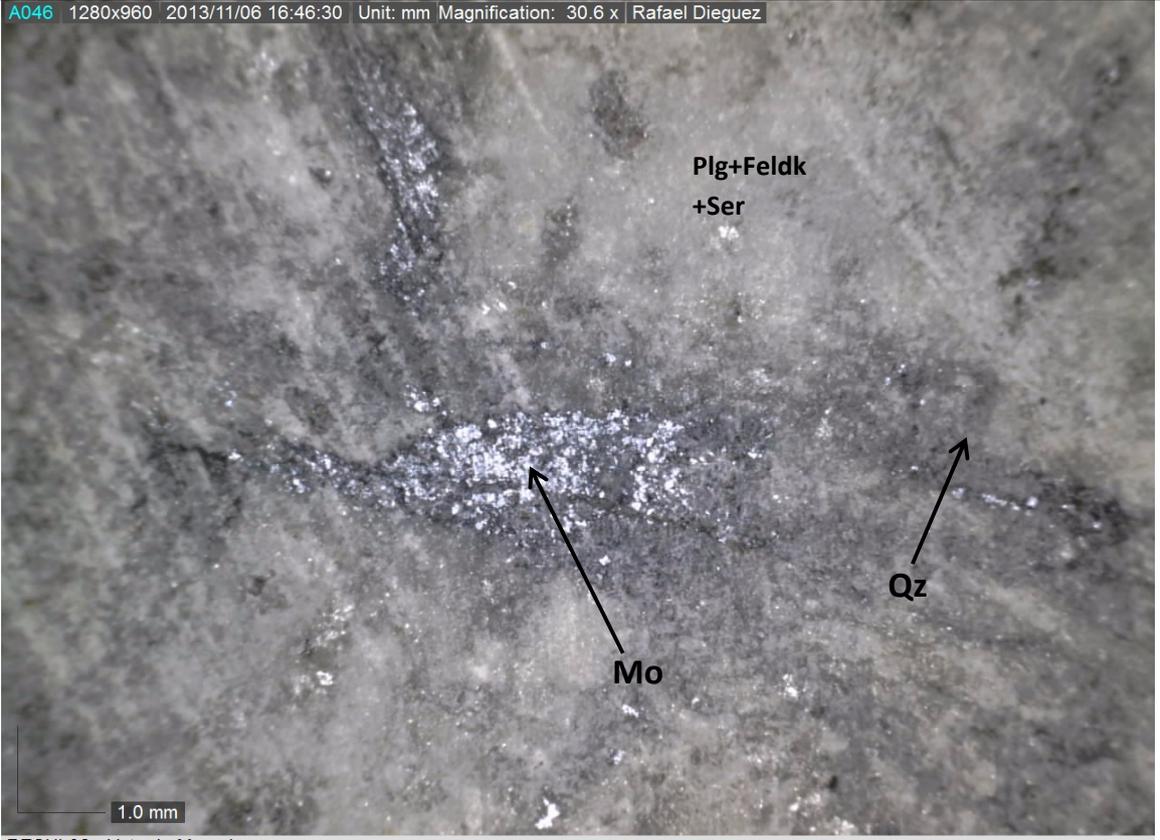
Muestra de una roca intrusiva de textura equigranular fina, alterada y con presencia de vetillas y mineralización diseminada y en vetas. Principalmente compuesta por cuarzo, feldespato y plagioclasas, ambas alteradas a sericita. En la muestra se observa anhidrita en vetas y diseminada. Los máficos han sido consumidos por la alteración y se puede observar clorita como reemplazo de estos y también biotita.

Las vetillas presentes en la muestra son de Qz-Cpy y de Mo solo.



RESUL02 - Qz-Ser-Tur-Bt + Cpy-Mo diseminado

Imagen 1. Masa de cuarzo y feldespato y plagioclasa alterados a sericita, con calcopirita y molibdenita diseminada. Se observan escasos granos de biotita.



RESUL02 - Veta de Mo solo

Imagen 2. Veta de molibdenita sola rodeada de sericita y cuarzo.

Observaciones Microscópicas

En la muestra se observa un intercrecimiento de cuarzo, plagioclasa y feldespato potásico alterados a sericita de manera moderada, se pueden ver sus propiedades ópticas fácilmente por lo que son diferenciables en su cantidad en la muestra. Se observan cristales de biotita y clorita, también rutilo relicto y anhidrita diseminados. No hay rastros de minerales máficos.

La mineralización se compone de vetillas de molibdenita y calcopirita diseminada.

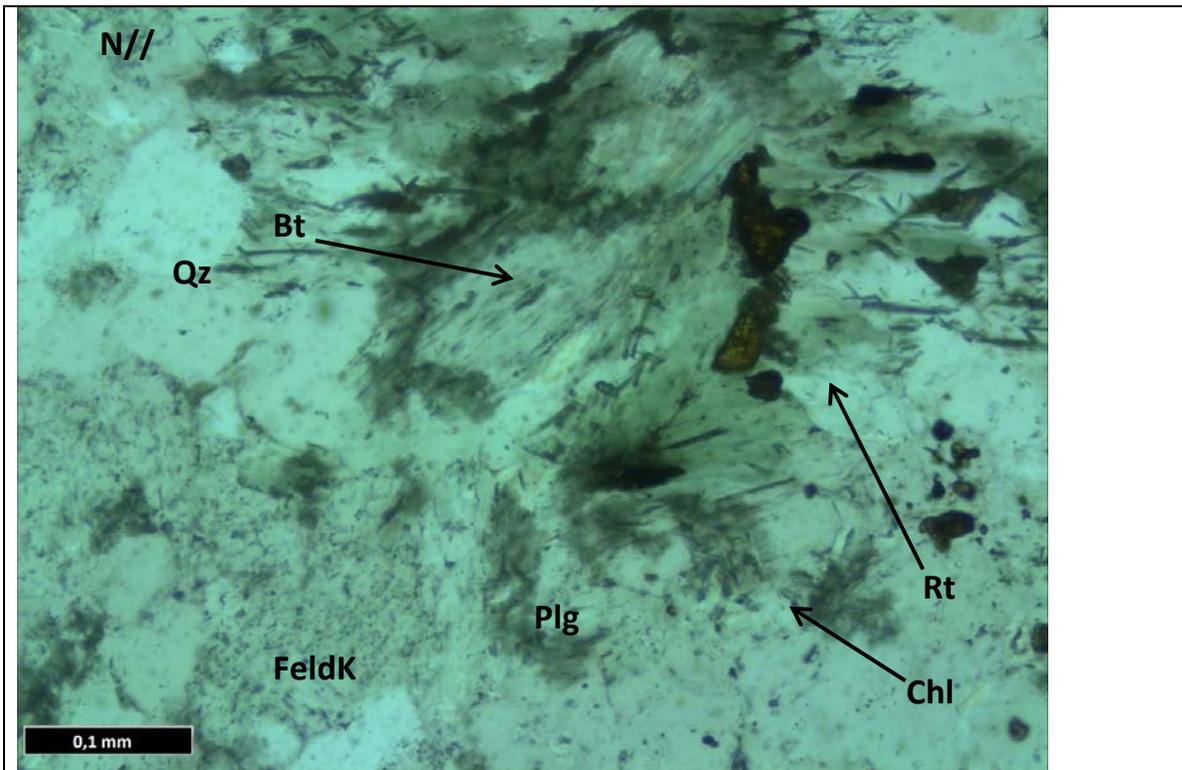


Imagen 3. Mineralogía general presente en el corte.

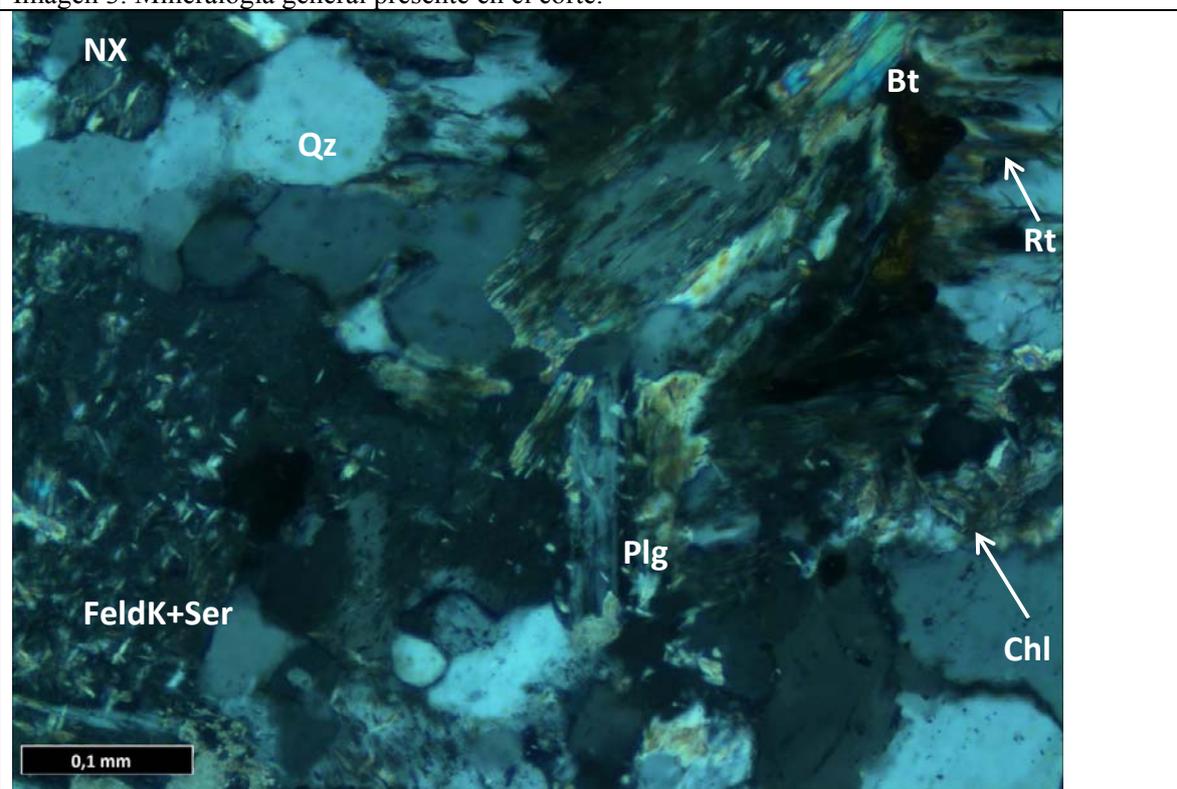


Imagen 4. Se observa la presencia de micas blancas en los cristales de feldespato y clorita alterando a biotita.



Imagen 5. Veta de Qz con cristales de mayor tamaño.

Roca (Protolito)		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
Cuarzo	40	Cristales anhedrales de tamaño pequeño en promedio 0,07 mm con un máximo de 0,2 mm. Presentes con textura concertal.
Feldespatos potásico	45	Cristales grandes (1 a 2,3 mm) se reconocen por su forma y por sectores que no están alterados a sericita.
Plagioclasa	15	Se reconocen por su forma y por sectores que no están alterados a sericita. Su tamaño varía entre 0,5-1 mm.
Minerales de Alteración o Secundarios		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
Sericita	30	Alterando a plagioclasas y feldespatos potásicos.
Clorita	4	Diseminado en la roca.
Anhidrita	5	Presenta en vetas e intersticios de cristales de cuarzo que rodean a Plg y Feldk
Rutilo	1	Diseminado entre la roca y como inclusiones en Plg y Feldk, además entre sericita. Su tamaño es variable entre 0,1 y 0,3 mm.
Cuarzo	5	Principalmente en vetas.

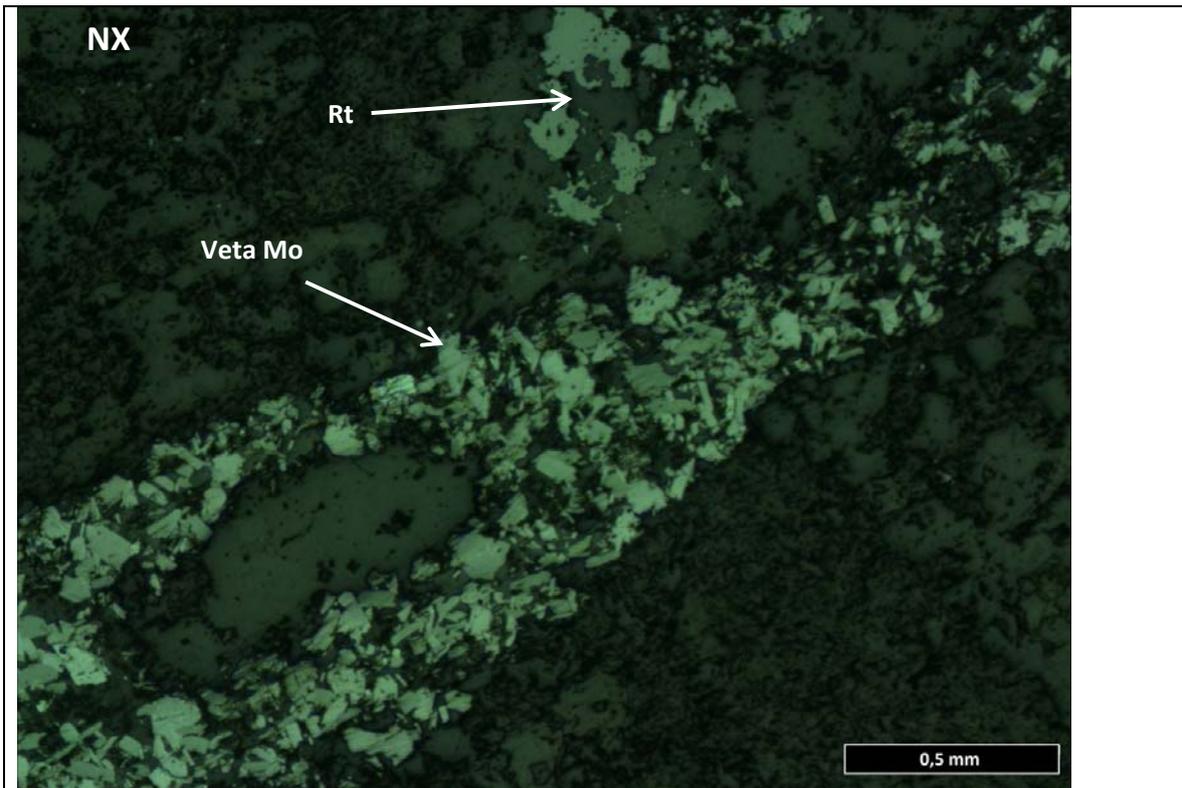


Imagen 6. Veta de Mo, cristales pequeños.

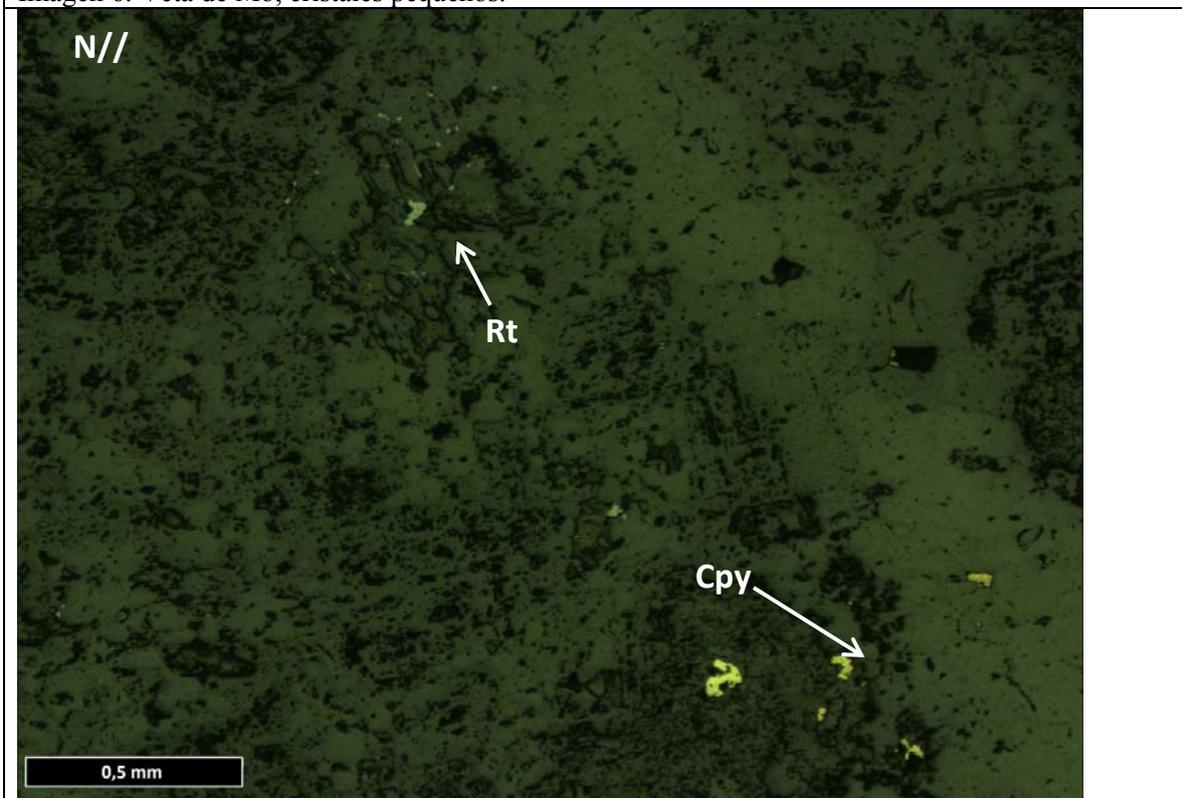


Imagen 7. Rutilo disseminado y Cpy disseminado, también incrustado en veta de Qz.

Minerales Opacos		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
Calcopirita	5	Diseminado.
Rutilo	1	Es el mismo que a luz transmitida.
Molibdenita	2	Presenta en veta con presencia de rutilo y sericita.

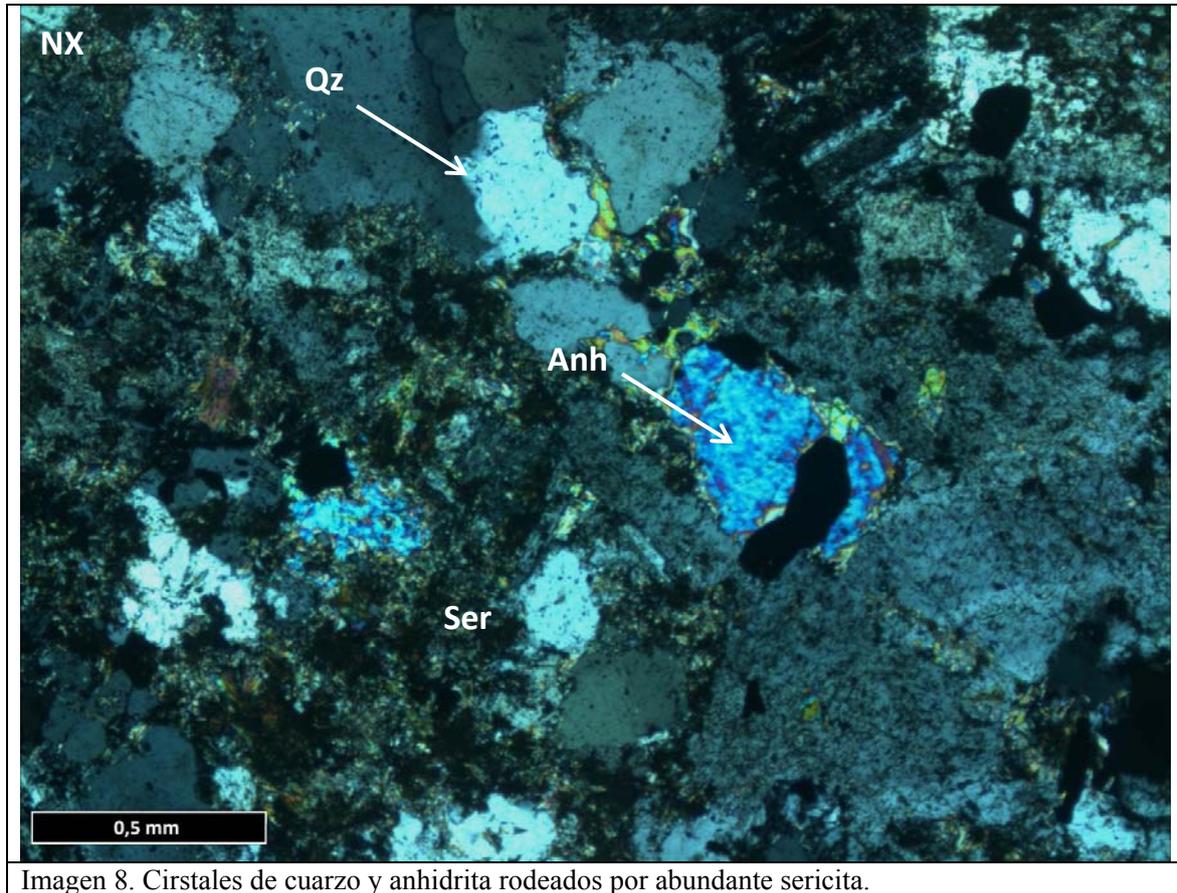


Imagen 8. Cristales de cuarzo y anhidrita rodeados por abundante sericita.

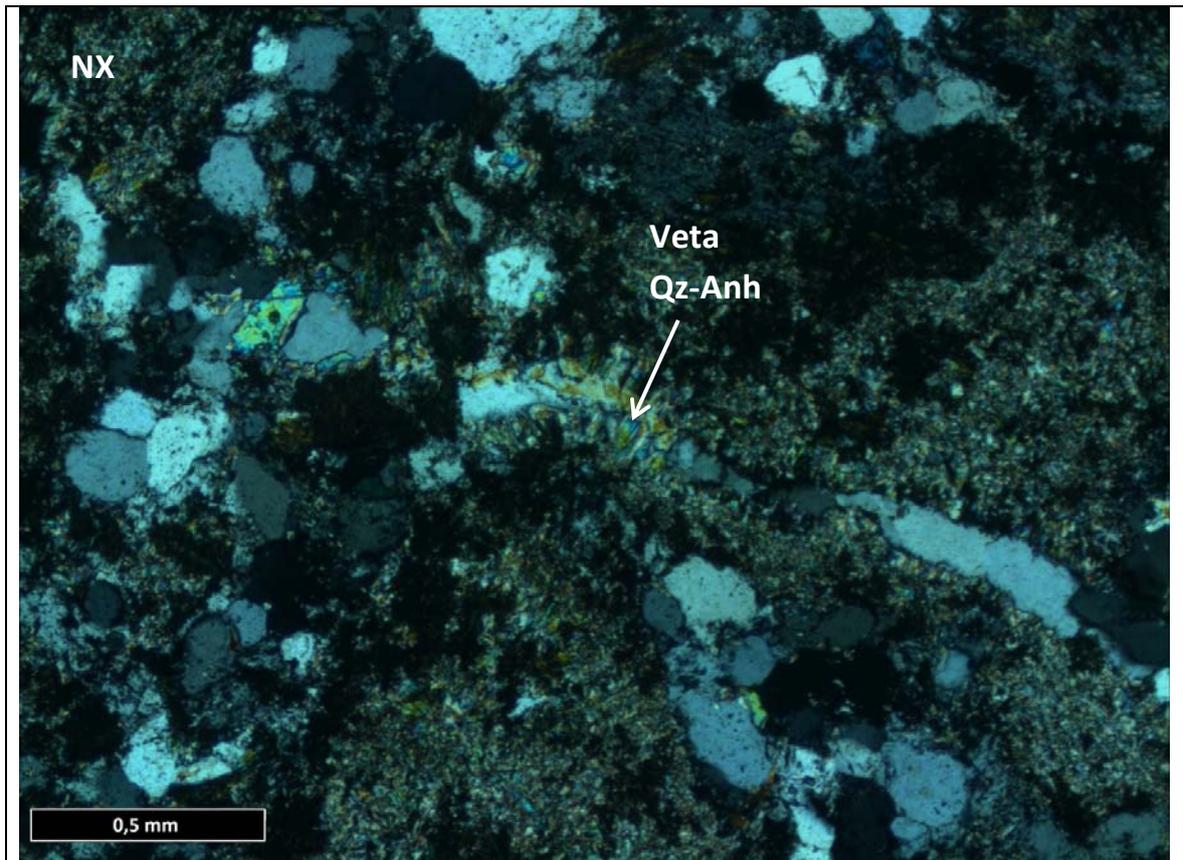


Imagen 9. Pequeña veta de Qz-Anh rodeada por sericita y otras vetillas de Qz.

Vetillas		
Tipo/Asoc. mineral	Espesor	Ocurrencia
Qz-Anh	0,5-1,2 mm	Discontinuas y continuas cortadas por vetas irregulares de molibdenita.
Mo solo	0,1-0,6 mm	Veta muy irregular de Mo fino.
Qz	0,25 mm	Generalmente rectas y delgadas.

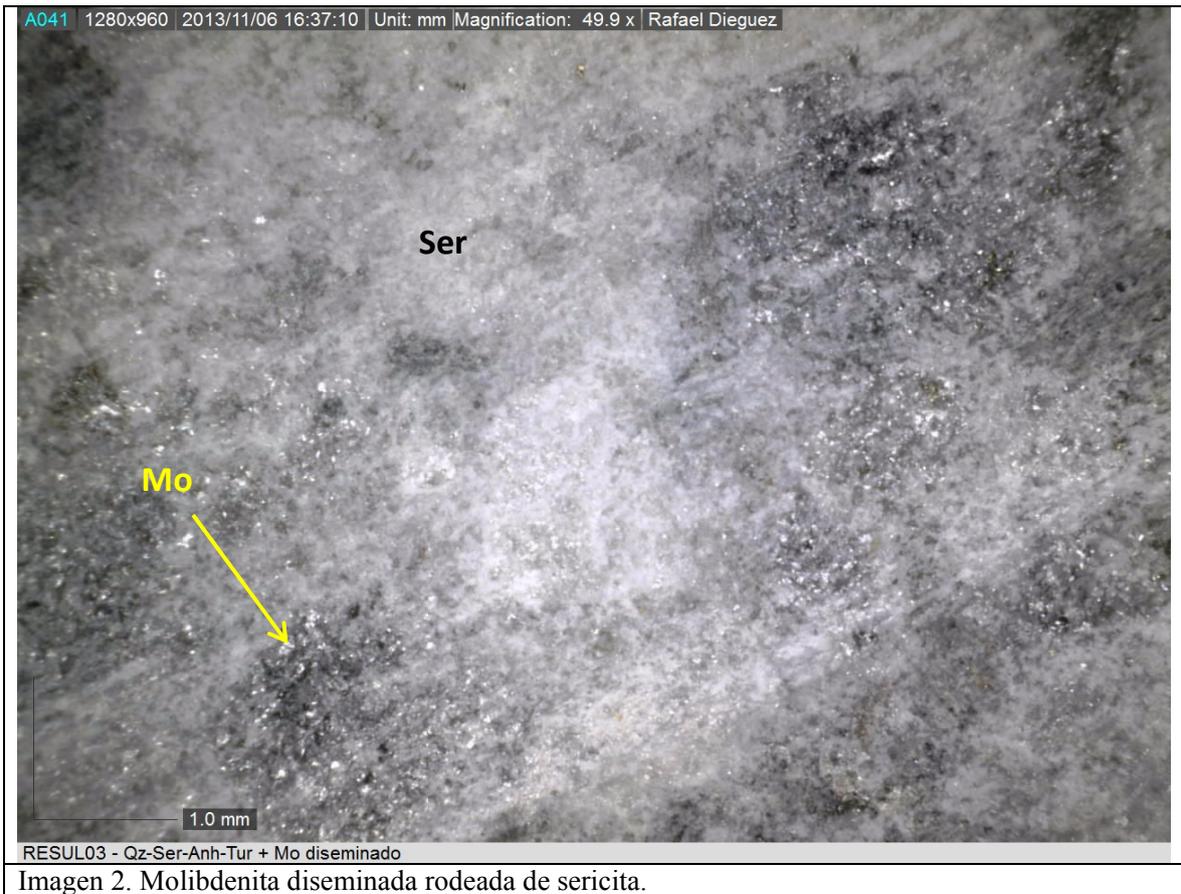
Fecha	Muestra
Octubre, 2013	RESUL03

Procedencia	Ubicación-Tramo	Clasificación Petrográfica
Los Sulfatos	PALSUL04 – 432,98-433,08	Cuarzomonzonita equigranular grano medio

Observaciones Macroscópicas

Muestra con textura de pórfido, con minerales máfico cloritizados y una veta de molibdenita de 2,5 mm. Las plagioclasas se encuentran albitizadas. La mineralización se concentra en la veta de molibdenita pero también hay pequeños cristales diseminados.





Observaciones Microscópicas

La muestra se encuentra fuertemente sericitizada, prácticamente todo el corte muestra una masa de sericita con cristales de cuarzo pequeños sobrevivientes a la alteración. Se observan también cristales de anhidrita- La mineralización se observa principalmente en la veta observada macroscópicamente.

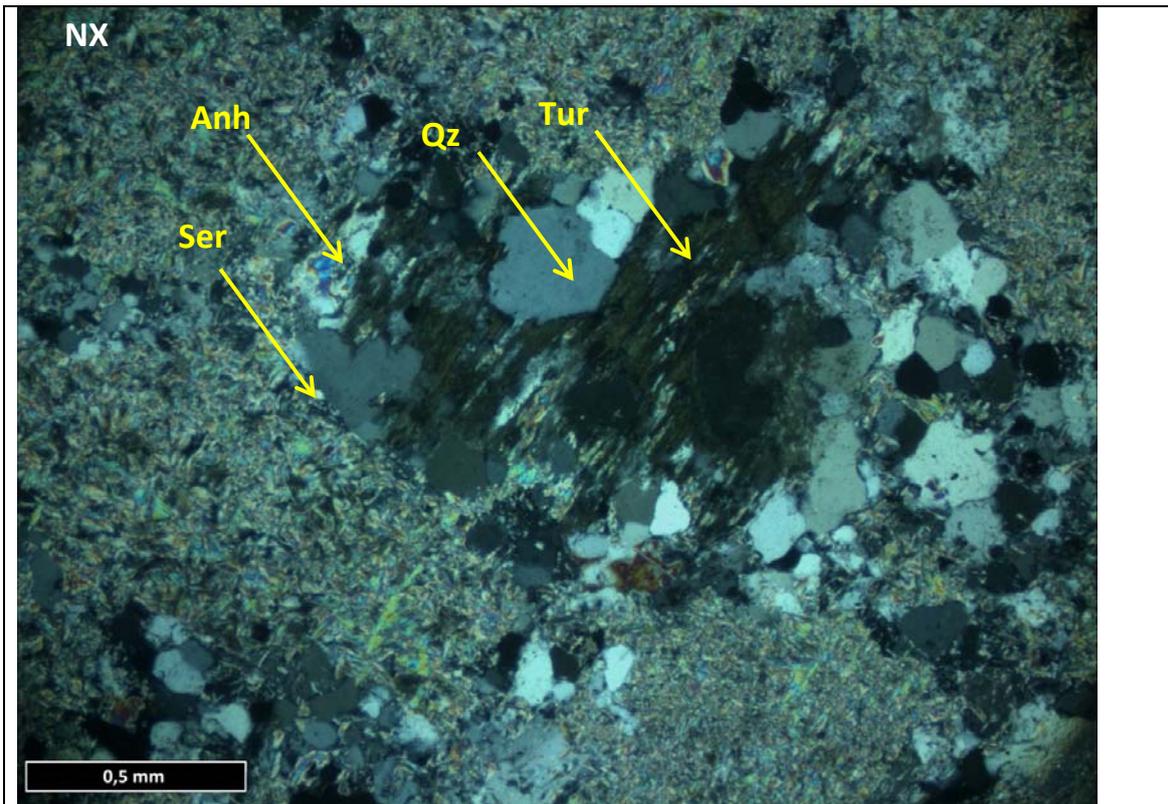


Imagen 3. Cristales de Qz rodeados por sericita. Turmalina en el centro.

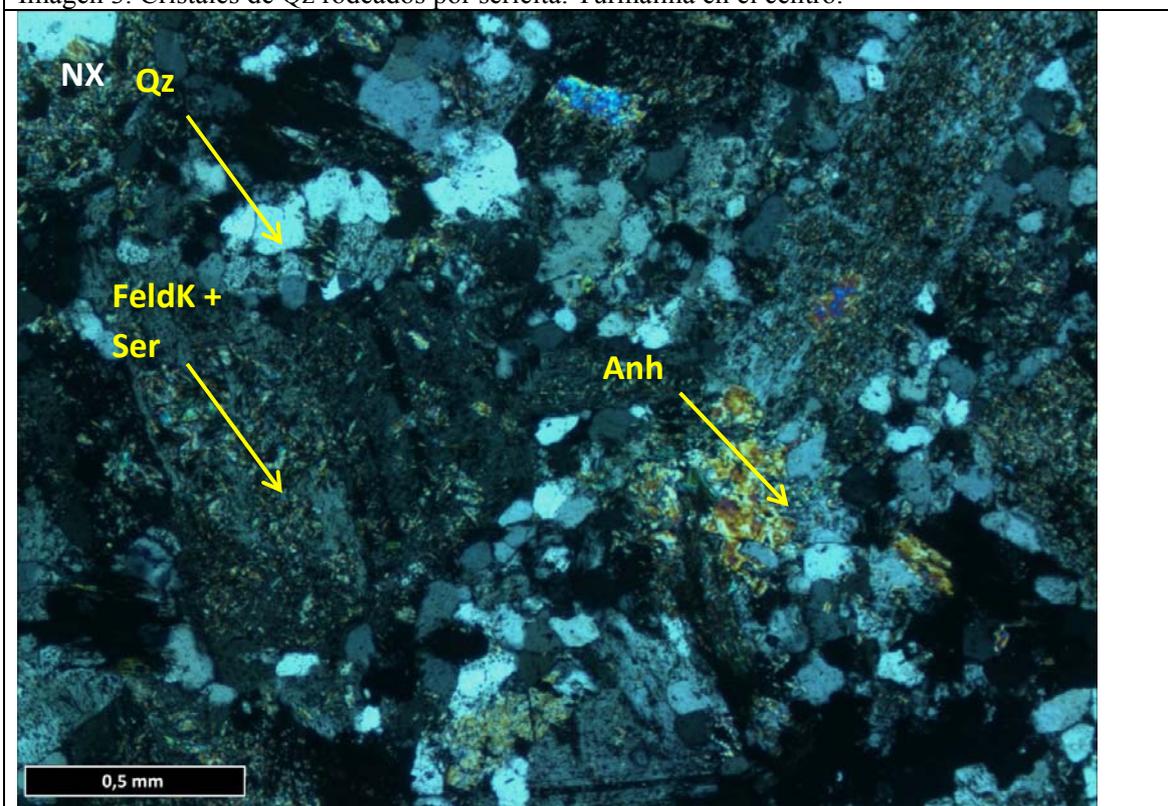


Imagen 4. Anhidrita, pequeños cristales de Qz y feldespatos alterados a sericita.

Roca (Protolito)		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
Cuarzo	25	Con un tamaño de 0,1 mm los cristales se presentan rodeando Plg y Feldk muy sericitizado.
Feldespato potásico	35	Subhedrales de tamaño entre 0,2-0,5 mm.
Plagioclasa	40	Se reconocen por la forma relicta de los cristales que son de un tamaño mayor a los que se encuentran menos sericitizados. Su rango de tamaño es 0,5-1 mm.

Minerales Accesorios		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
Ortopiroxeno	traza	Con un tamaño de 0,5 mm es el único cristal en la muestra, rodeado de cuarzo.
Turmalina	traza	Pocos cristales pero de tamaño considerable (0,7-1 mm).

Minerales de Alteración o Secundarios		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
Sericita	50	Alterando selectiva y penetrativamente a los cristales de Plagioclasa y feldespato potásico.
Clorita	5	Se presenta enmascarada por rutilo, alterando a minerales máficos con un tamaño entre 0,1-0,5 mm.
Mica Blanca Mosc	3	Se observan cristales en la masa de sericita con un largo promedio de 0,3 mm y un máximo de 1 mm.
Anhidrita	2	Presente como cristales irregulares en vetas y rellenando espacios.
Rutilo	1	Diseminado y como inclusión de micas, Plg y Feldk con un promedio de 0,07 mm y un máximo de 0,2 mm.

Minerales Opacos		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
Molibdenita	5	Presente en cristales irregulares reutilizando veta de cuarzo (envuelve cristales). SU tamaño es variable (0,05-0,15 mm)
Calcopirita	<1	Granos aislados muy pequeños, en promedio 0,05 mm.
Rutilo	ídem	Ídem



Imagen 5. Calcopirita diseminada.

Vetillas		
Tipo/Asoc. mineral	Espesor	Ocurrencia
Mo	0,5 mm	Veta recta con cristales aglomerados.

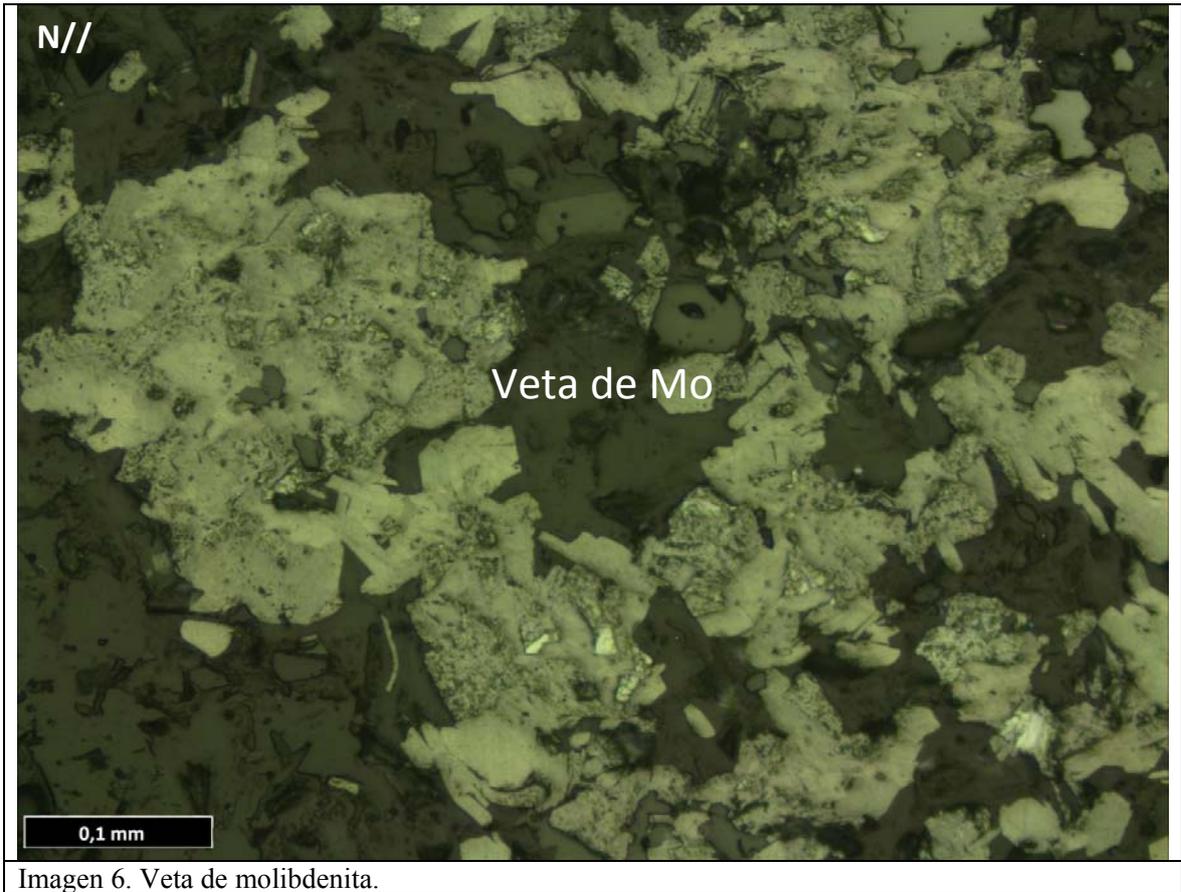


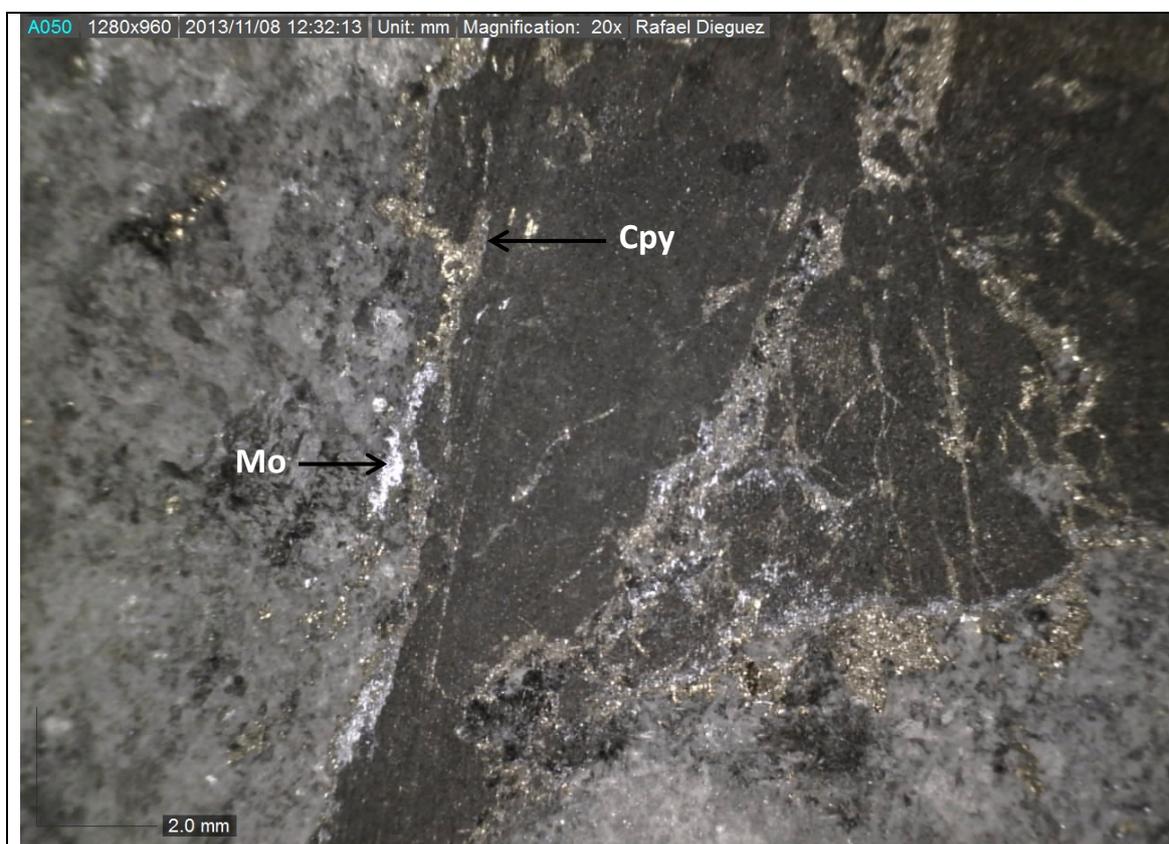
Imagen 6. Veta de molibdenita.

Fecha	Muestra
Octubre, 2013	RESUL04

Procedencia	Ubicación-Tramo	Clasificación Petrográfica
Los Sulfatos	PALSUL05 – 78,12-78,35	Brecha de Turmalina

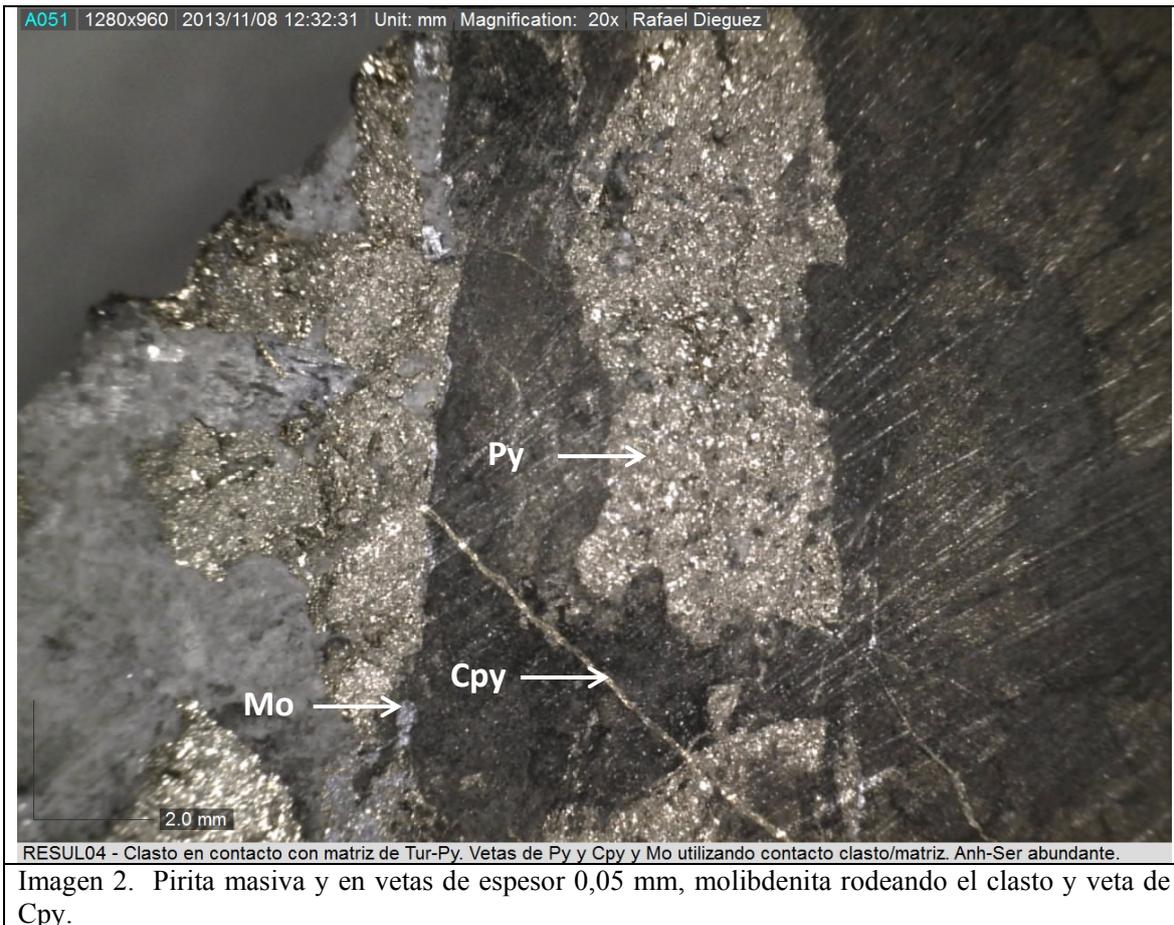
Observaciones Macroscópicas

La muestra presenta dos clastos de pórfido cuarzomonzonítico inmersos en una matriz de turmalina y calcopirita. En los contactos clasto/matriz se encuentra pirita y anhidrita y molibdenita aprovechando esta debilidad en un solo contacto. Existen múltiples vetillas de pirita sola y de calcopirita sola en menor medida. Se pueden distinguir distintos eventos de mineralización debido al estado de los cristales del mismo tipo (Cpy y Py).



RESUL04 - Clastos en contacto con matriz de Tur-Py. Vetas de Py y Cpy y Mo utilizando contacto clasto/matriz. Anh-Ser abundante.

Imagen 1. Molibdenita en vetillas y rodeando clastos. Clastos con abundante turmalina.



Observaciones Microscópicas

A luz reflejada, se observa que existe reemplazo parcial de Py por Cpy. La Cpy ocurre principalmente en vetas monominerálicas cortando tanto a matriz como roca. La Py es parte de la matriz de la brecha intercrecida con minerales silicatados de manera diseminada y en los clastos se presenta diseminada y en cúmulos. La molibdenita aprovecha el contacto como plano de debilidad y se aloja como agregados de cristales tabulares o como tablas aisladas entre Py y Anh. La presencia de rutilo de tamaño pequeño y diseminado se presenta en el clasto.

NOTA: (Corte desgastado de manera irregular)

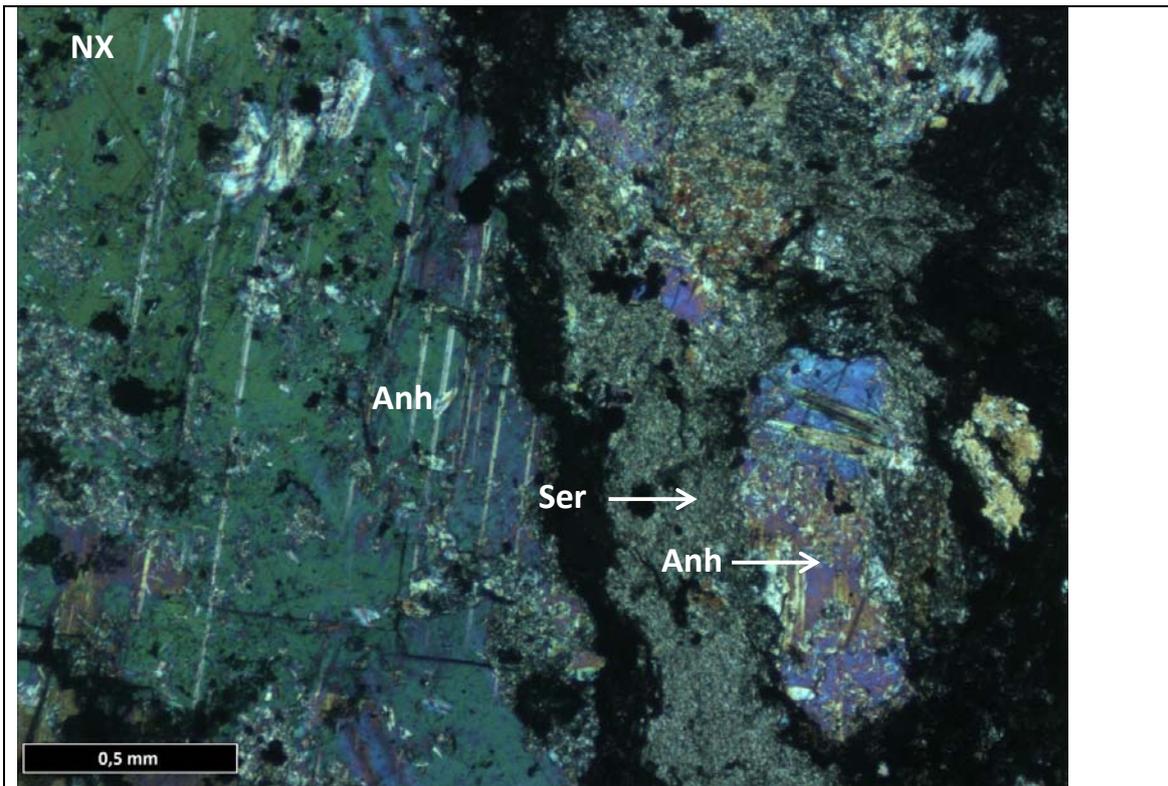


Imagen 3. Grandes cristales de anhidrita y sericita rodeándolos.

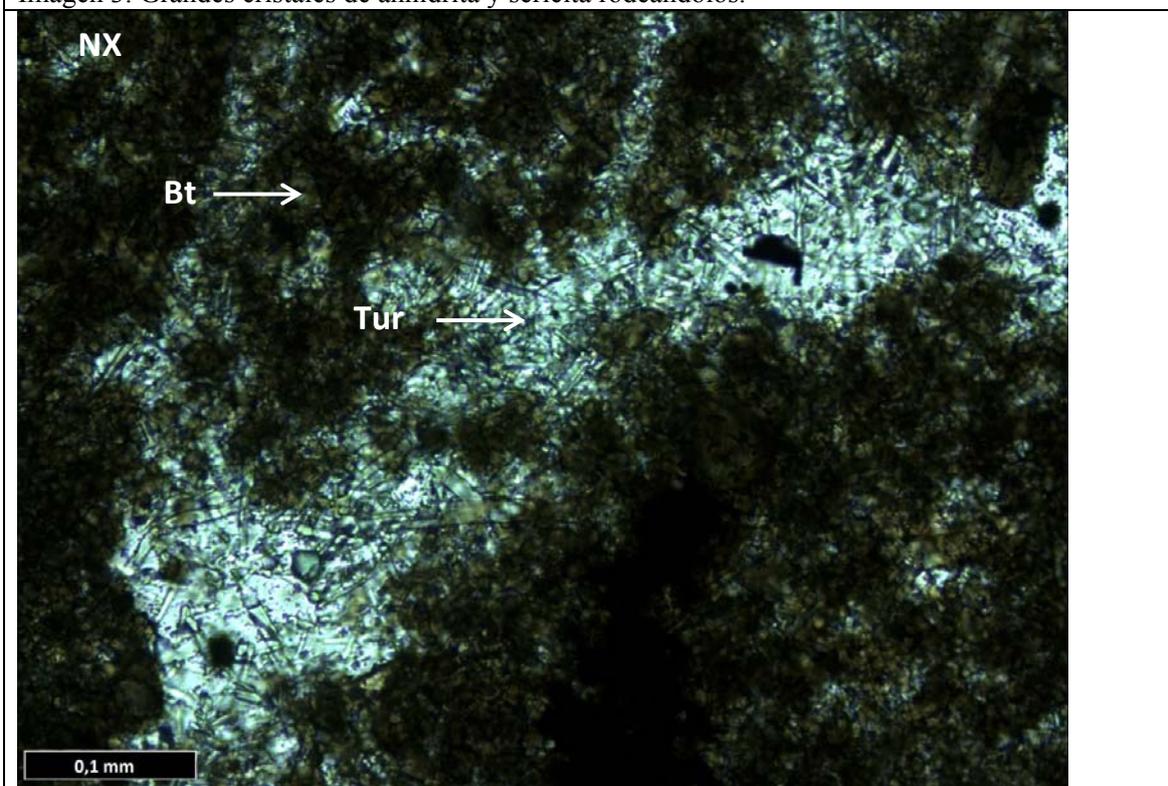


Imagen 4. Cristales de turmalina y biotita.

Minerales Accesorios		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
Rutilo	Traza	Diseminado en pórfido

Minerales de Alteración o Secundarios		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
Turmalina	35	Muchos cristales de tamaño 0,05 mm superpuestos abundantes en los clastos principalmente.
Biotita	10	Cristales mezclados con la turmalina.
Pirita	Ídem	En vetas (10%), diseminado (65%) y en cúmulos (25%).
Anhidrita	35	Grandes cristales rodeados por sericita.
Sericita	15	Abundante en la roca alterando a feldespatos (no queda rastro).
Cuarzo	2	Pequeños cristales diseminados.
Rutilo	traza	Pequeños cristales diseminados.

Minerales Opacos		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
Pirita	10	En vetas (10%), diseminado (65%) y en cúmulos (25%).
Calcopirita	2	En veta (25%) y como reemplazo parcial de Py, en general en los cristales de mayor tamaño que se encuentran en el contacto y en el pórfido (75%).
Molibdenita	1	Como veta que aprovecha debilidad del contacto.

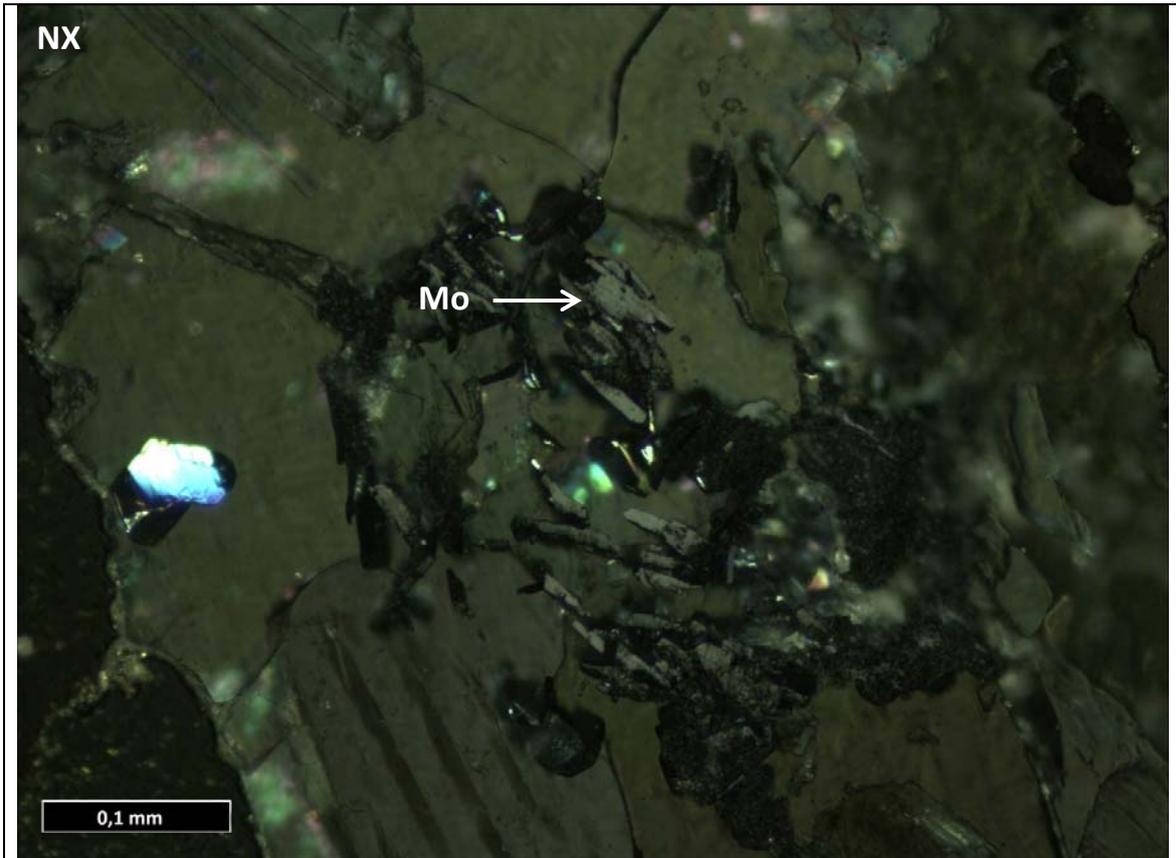


Imagen 5. Cristales de molibdenita.

Vetillas		
Tipo/Asoc. mineral	Espesor	Ocurrencia
Py sola	0,1-0,3 mm	Cortándose entre sí en la matriz.
Cpy-Anh	0,1-0,2 mm	Poco sinuosa cortando veta de Py.
Mo		Aprovecha debilidad del contacto.

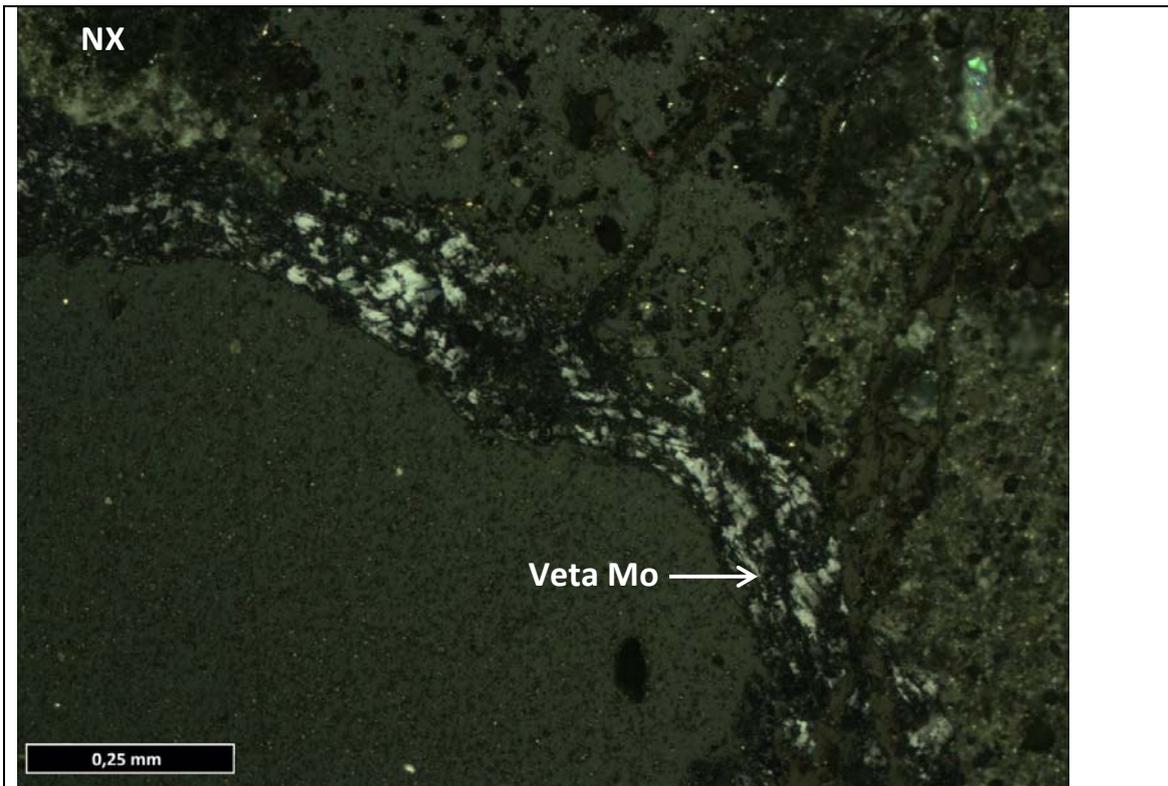


Imagen 6. Veta de Mo cruzando una pirita fracturada.

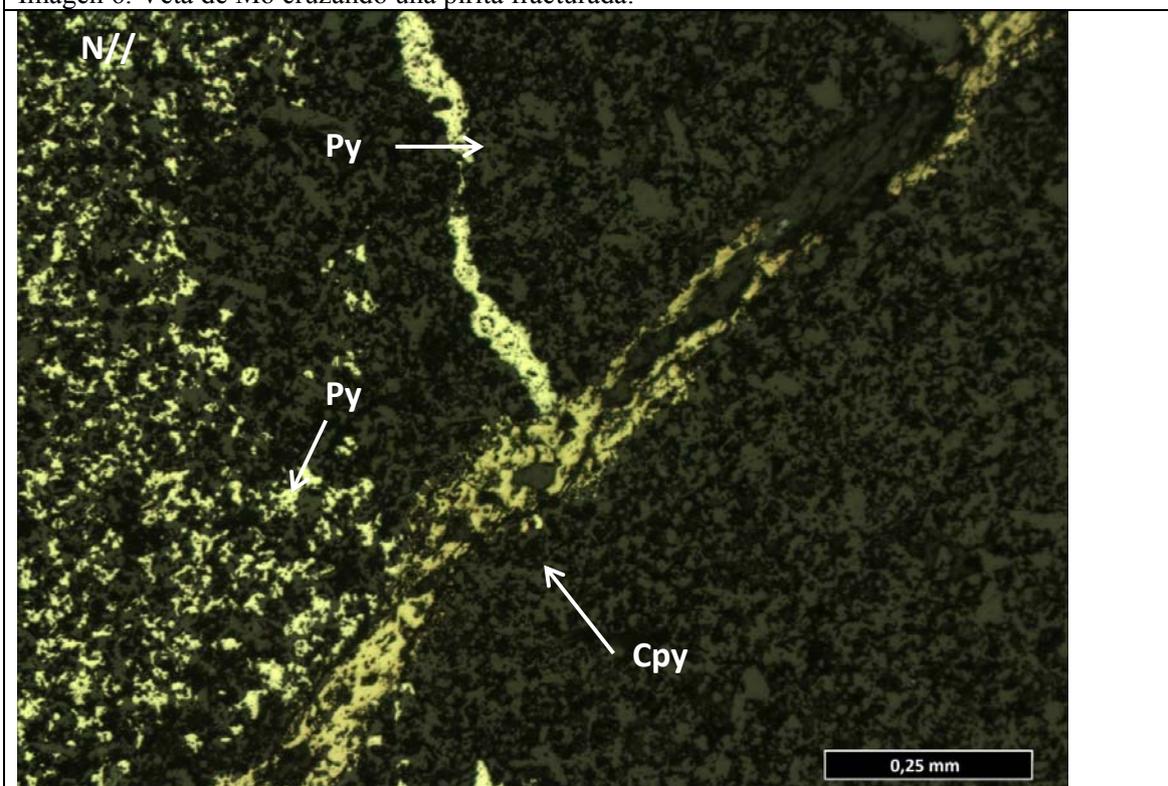


Imagen 7. Veta de Cpy, perpendicular una veta de Py y Py diseminada.

Fecha	Muestra
Octubre, 2013	RESUL05

Procedencia	Ubicación-Tramo	Clasificación Petrográfica
Los Sulfatos	PALSUL07 – 51,67-51,80	granodiorita porfídica y brecha de biotita con matriz de turmalina

Observaciones Macroscópicas

En la muestra se observan dos litologías, Brecha de biotita y turmalina y un pórfido granodiorítico. En la primera se pueden observar los clastos biotitizados además de a presencia de sericita y vetas de molibdenita, calcopirita y pirita. La granodiorita presenta abundante sericita y la mineralización esta principalmente diseminada.

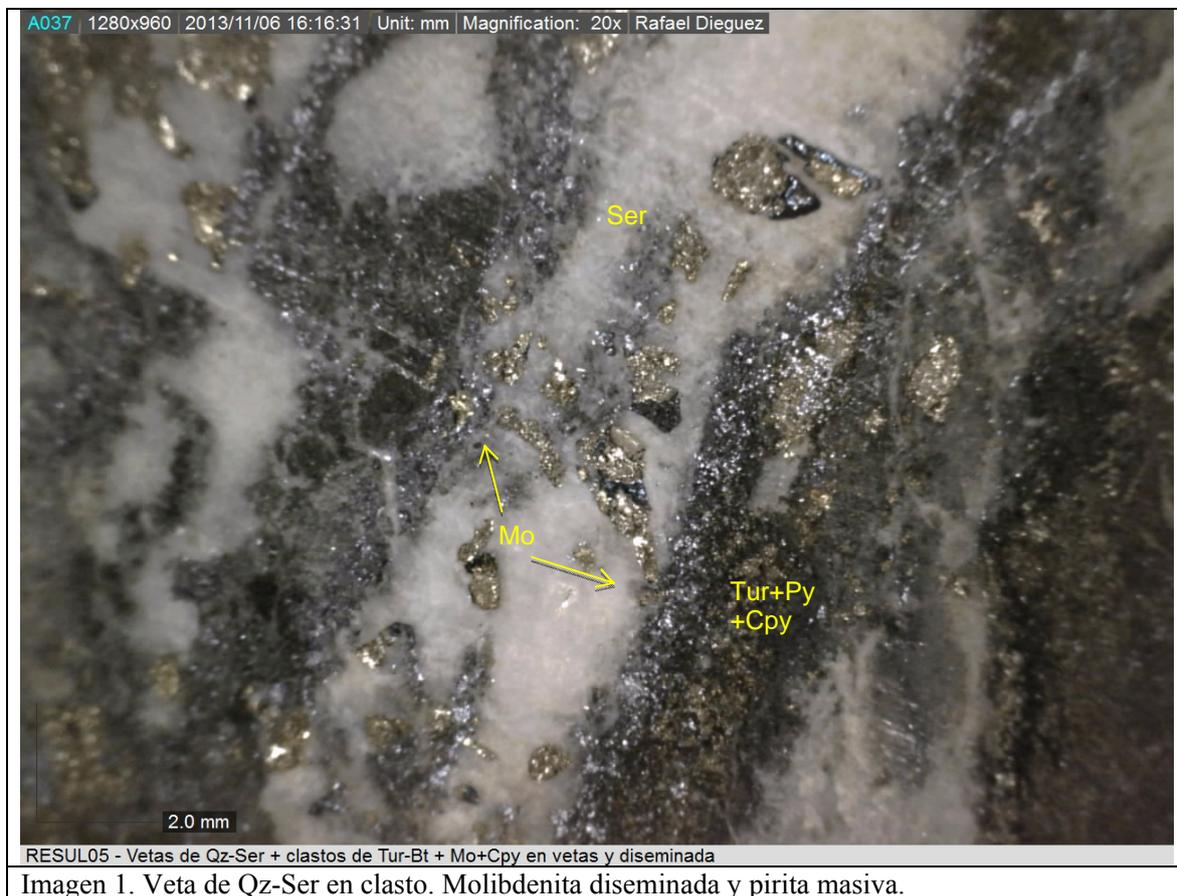
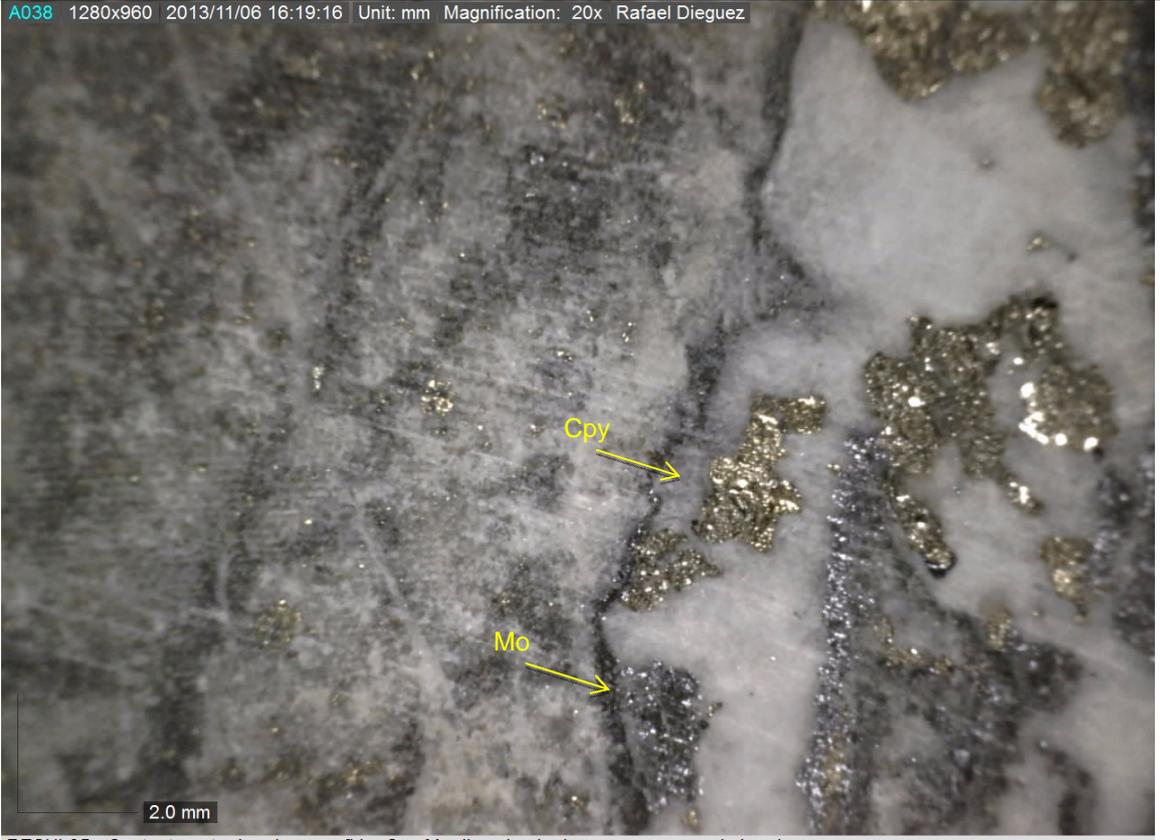


Imagen 1. Veta de Qz-Ser en clasto. Molibdenita diseminada y pirita masiva.



RESUL05 - Contacto entre brecha y porfido. Cpy-Mo diseminado de mayor grano en la brecha.

Imagen 2. Calcopirita y molibdenita diseminada.

Observaciones Microscópicas

La muestra está sericitizada, en el sector del clasto hay abundante turmalina de grano fino. En el sector del pórfido hay más cristales de cuarzo y la turmalina también se presenta acicular radial. Se observan otros sulfuros como covelina y bornita vinculados a calcopirita y pirita.

Roca (Protolito)		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
Cuarzo	40	Cristales intercrecidos de tamaño entre 0,05-0,3 mm.
Plg + FeldK	60	Muy alteradas a sericita, por lo que no se pueden diferenciar.

Minerales Accesorios		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
Bornita	Traza	Como inclusiones en Py y Cpy.
Covelina	Traza	Reemplazando a Cpy y en fracturas entre Cpy-Py.

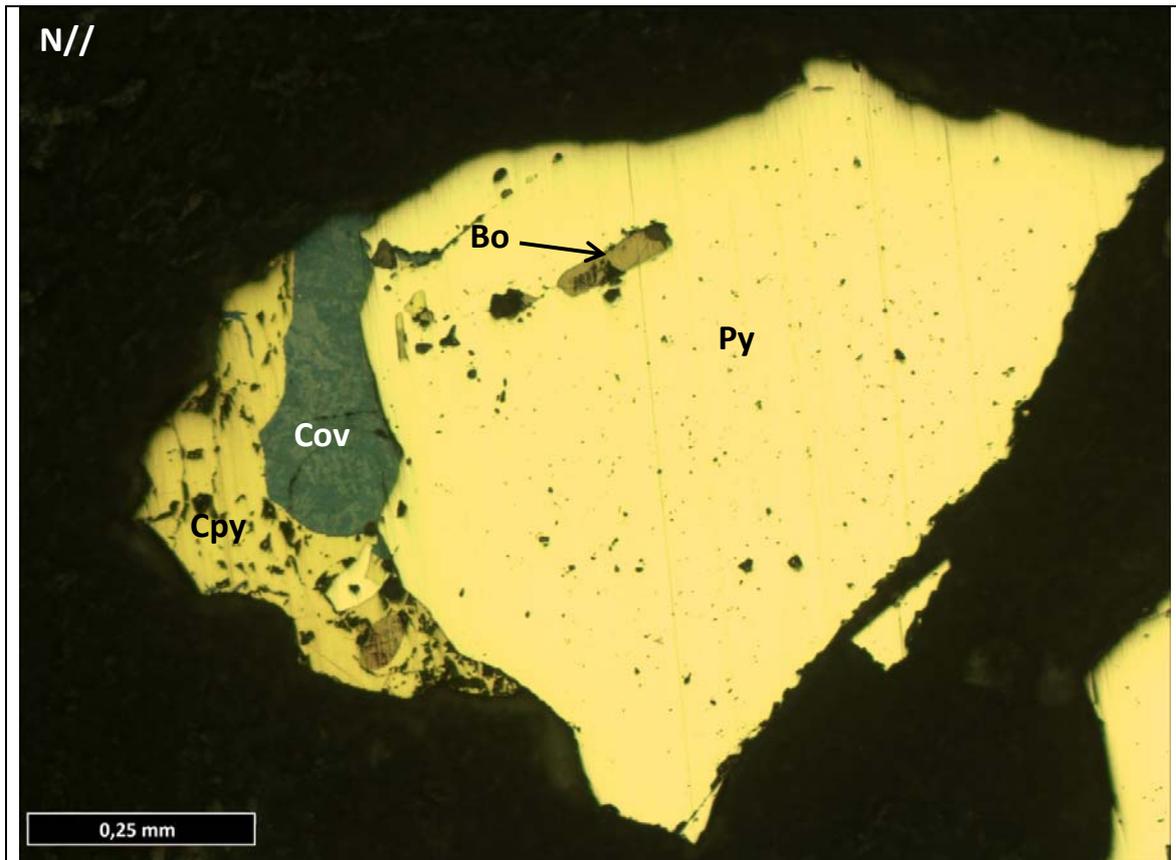


Imagen 3. Pirita, calcopirita, covelina y bornita.

Minerales de Alteración o Secundarios		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
Sericita	45	Alterando pervasivamente a Plg y FeldK.
Turmalina	15	Se presenta en dos formas: como matriz que soporta los clastos de pórfido granodiorítico (chorlo, muchos granos muy finos) y acicular radial en estos clastos (agregados diseminados).
Cuarzo	5	Principalmente cristales de 0,3-0,4 mm en vetas.
Rutilo	3	Cristales anhedrales a subhedrales diseminados de variados tamaños.

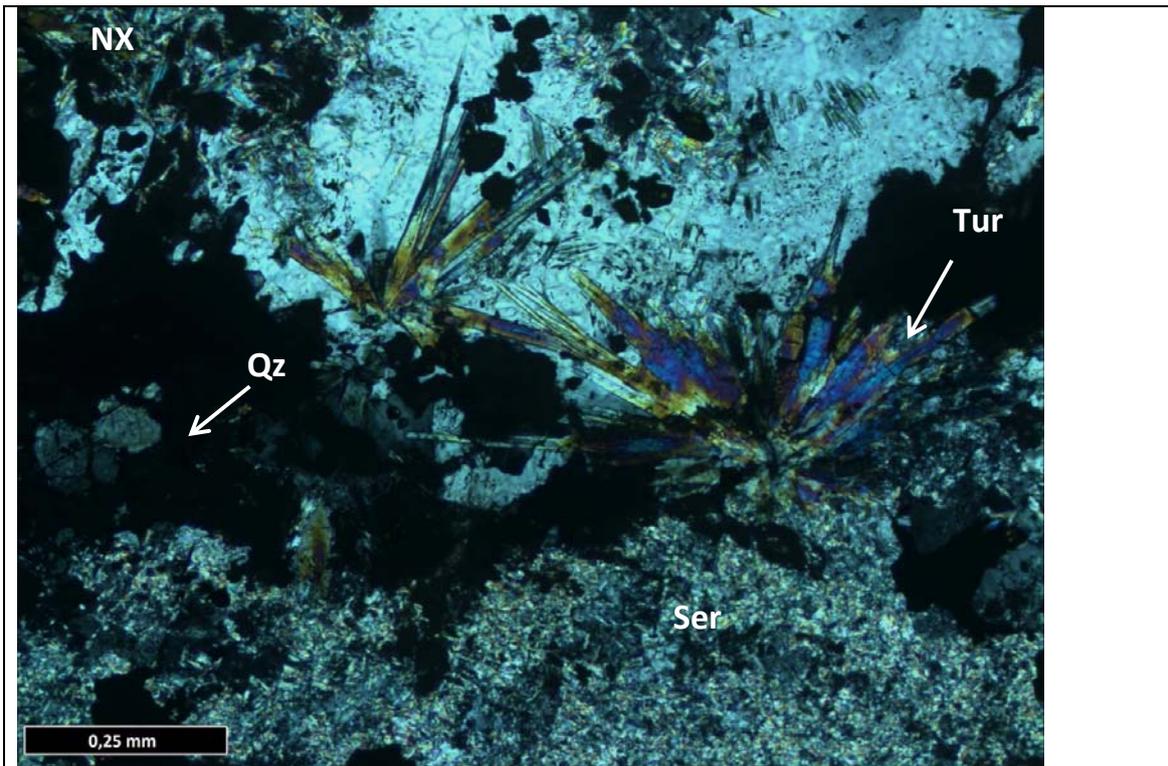


Imagen 4. Turmalina acicular radial, cuarzo y sericita.

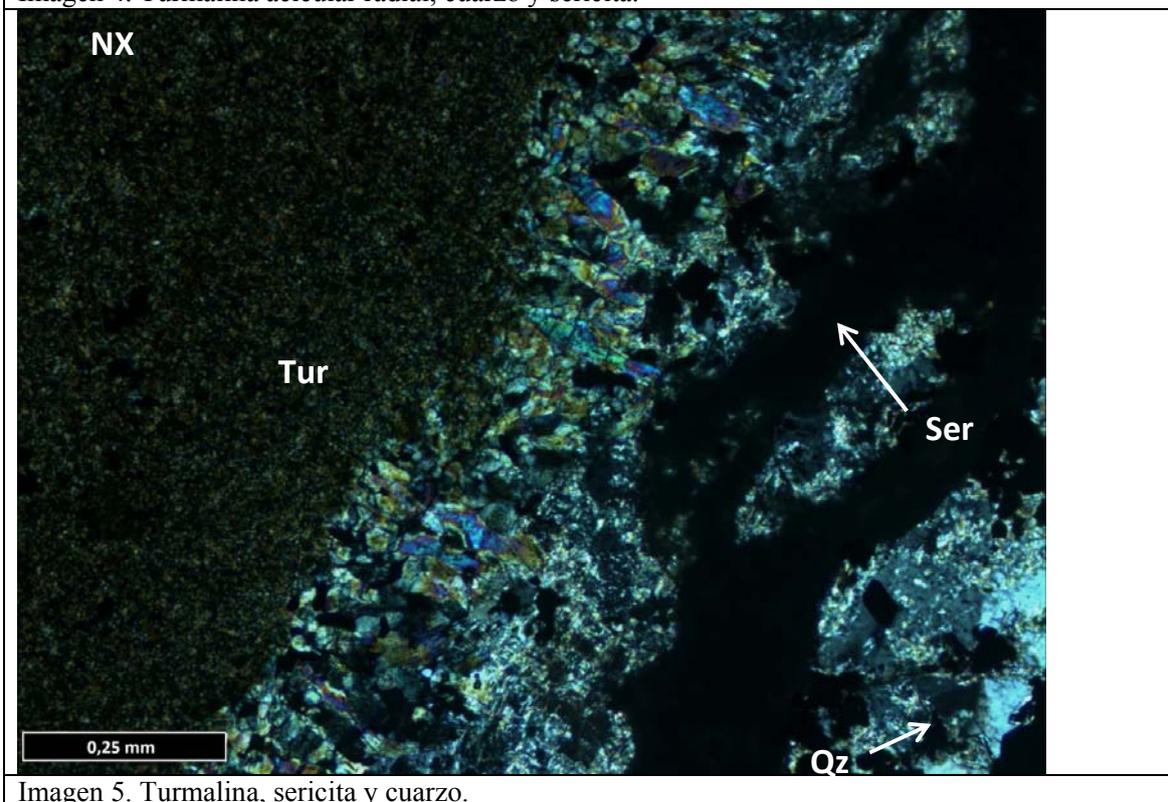


Imagen 5. Turmalina, sericita y cuarzo.

Minerales Opacos		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
Pirita	6	Diseminada y en cúmulos con un tamaño entre 0,5-1 mm. Alcanzando hasta 2 mm.
Calcopirita	1	Diseminada con tamaño entre 0,03-0,1 mm.
Molibdenita	3	En vetas de agregados tabulares pequeños. También diseminada.
Rutilo	idem	idem

Vetillas		
Tipo/Asoc. mineral	Espesor	Ocurrencia
Mo solo	0,1-0,3 mm	Cruzando la muestra y en contorno de clasto

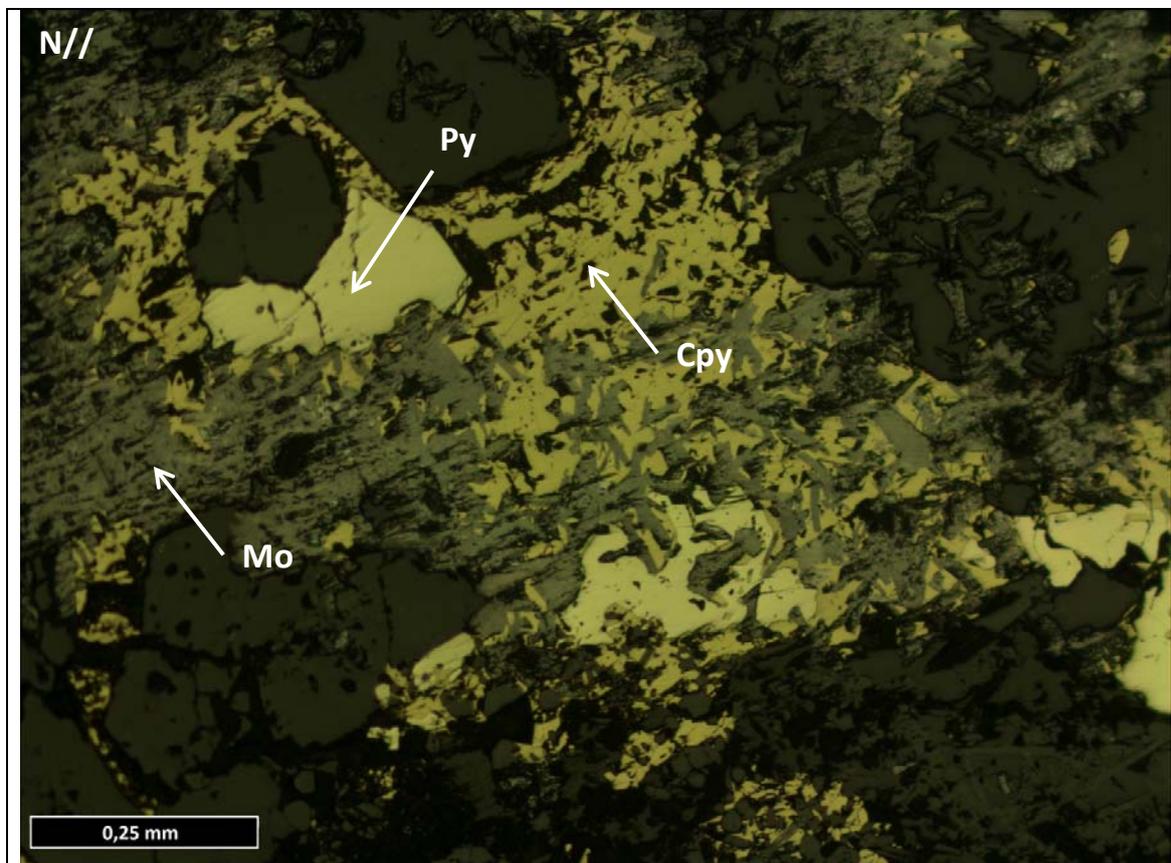


Imagen 6. Pirita y calcopirita rodeada de molibdenita.

Fecha	Muestra
Octubre, 2013	RESUL06

Procedencia	Ubicación-Tramo	Clasificación Petrográfica
Los Sulfatos	PALSUL07 – 377,96-378,13	Cuarzomonzonita fina

Observaciones Macroscópicas

EN la muestra se observa abundante sericita y anhidrita, lo minerales máficos se observen verdosos y la mineralogía esta diseminada. También hay vetas de Qz-Cpy. Se reconoce la textura porfídica con una granulometría fina.

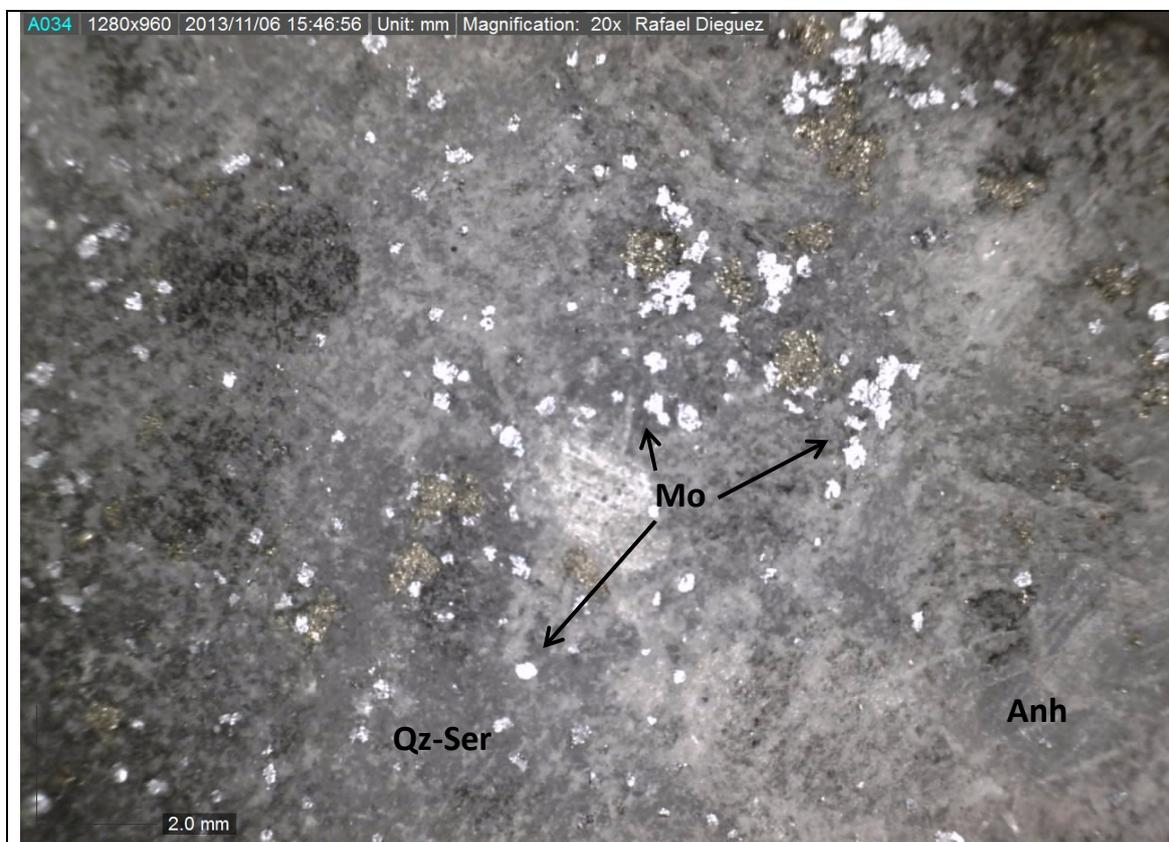


Imagen 1. Molibdenita y calcopirita diseminada sobre anhidrita y Qz+Ser.



Observaciones Microscópicas

En la muestra se ven los cristales de cuarzo rodeados por sericita y no es posible reconocer la forma de los cristales para distinguir fácilmente entre plagioclasa y feldespato. Hay presencia de cristales de moscovita de mayor tamaño. La mineralización se observa de igual manera que macroscópicamente.

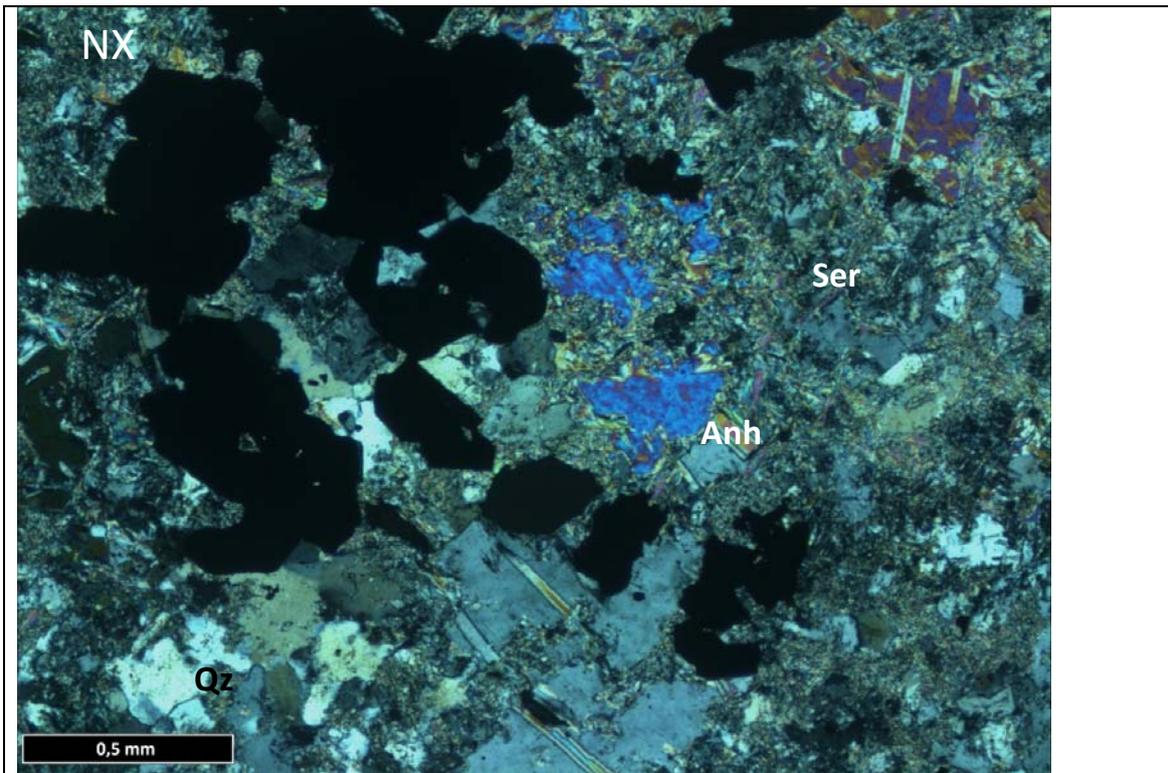


Imagen 3. Anhidrita y cuarzo rodeadas de sericita.

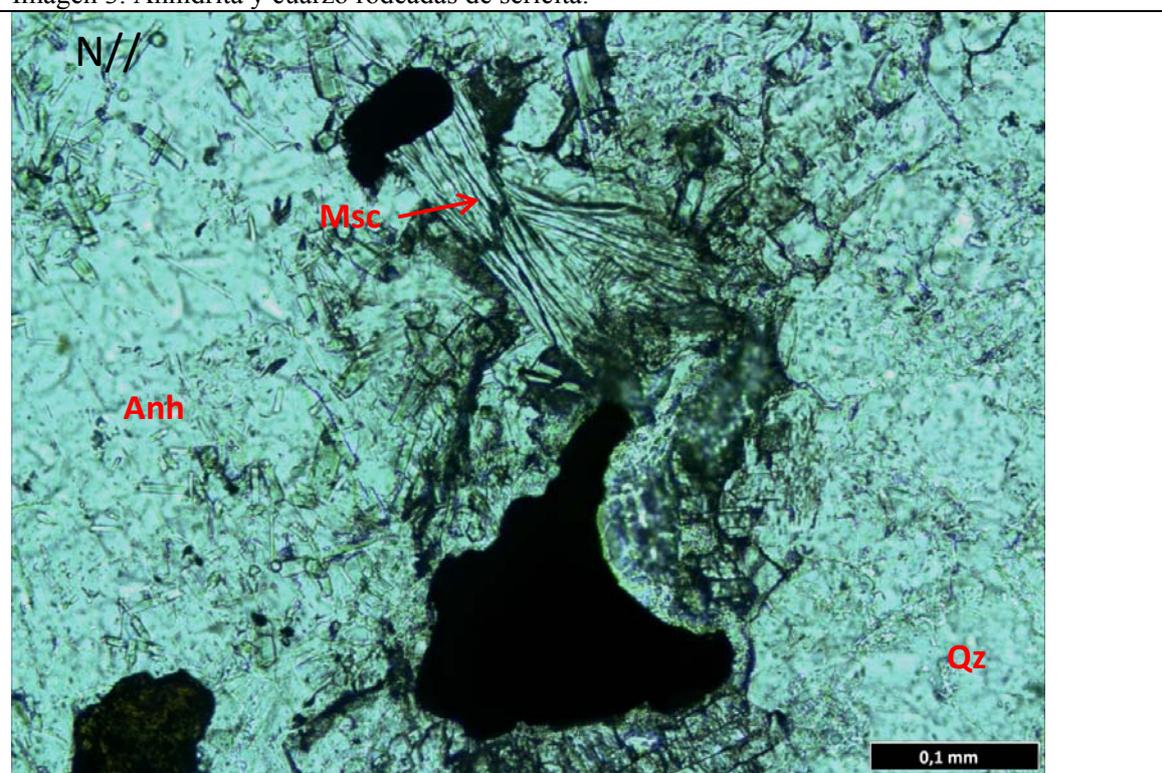


Imagen 4. Moscovita, anhidrita y cuarzo.

Roca (Protolito)		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
Cuarzo	30	Cristales anhedrales intercecidos con Plg y FeldK
Feldespato Potásico	40	Cristales muy alterados a sericita intercecidos con Plg y Qz
Plagioclasa	30	Cristales muy alterados a sericita intercecidos con FeldK y Qz

Minerales de Alteración o Secundarios		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
Sericita	60	Alterando a Plg y FeldK pervasivamente, es común no notar la textura previa de la roca.
Anhidrita	15	Se presenta diseminada y en vetas. Hay cristales de variados tamaños alcanzando tamaños de 3 mm., pero su rango esta entre los 0,1-0,5 mm.
Turmalina	8	Cristales elongados diseminados por la muestra.
Cuarzo	5	Cristales subhedrales presentes en vetas
Rutilo	3	Cristales de anhedrales de variados tamaños

Minerales Opacos		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
Pirita	2	Se presenta en vetas de Qz-FeldK-Anh±Py±Cpy como cristales anhedrales a subhedrales, también se encuentra diseminado en la muestra con tamaños entre 0,1-1 mm.
Calcopirita	0,5	Cristales anhedrales diseminados.
Molibdenita	4	Cristales tabulares diseminados con un tamaño promedio de 0,3 mm.
Rutilo	idem	Ídem

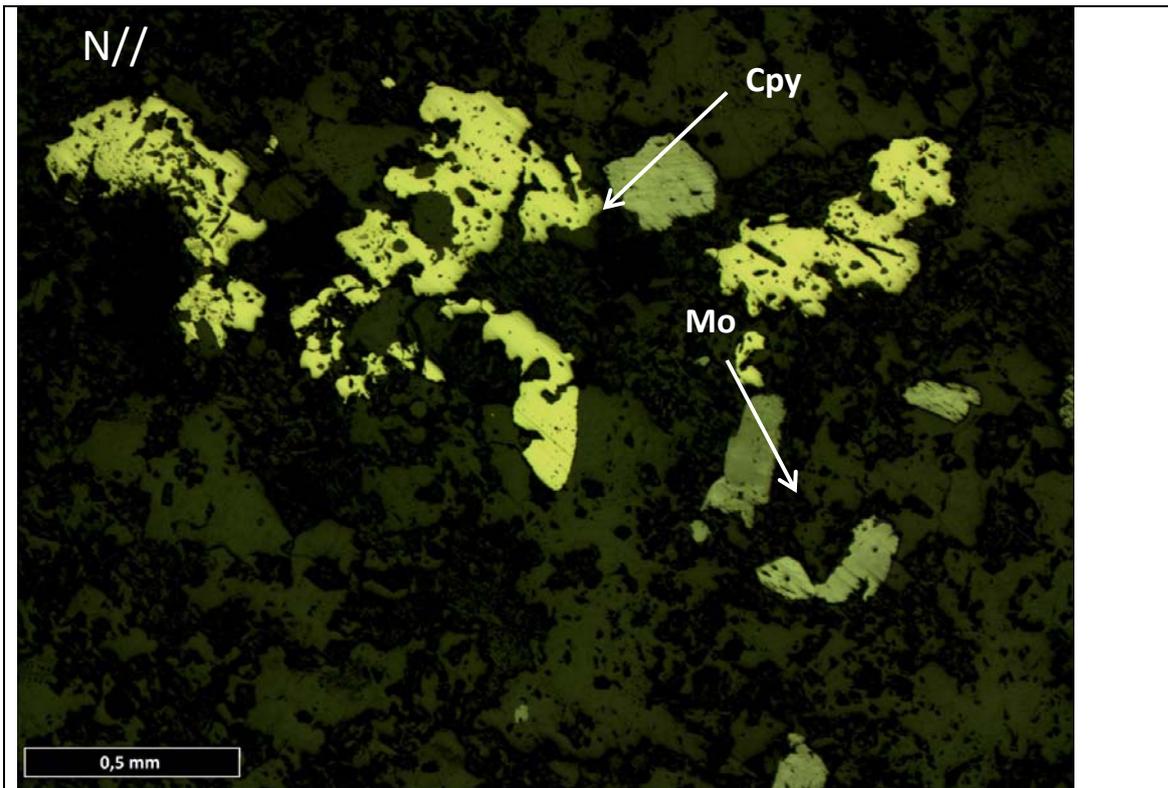


Imagen 5. Calcopirita y molibdenita diseminada.

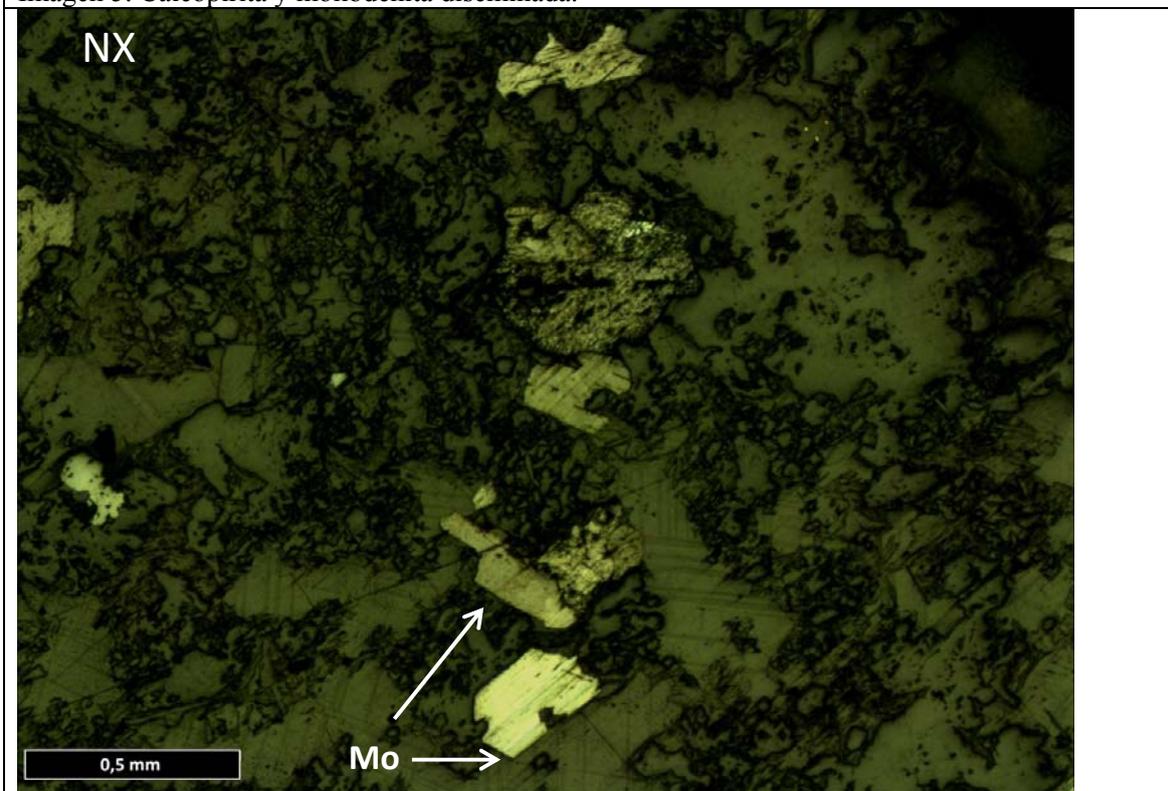


Imagen 6. Molibdenita diseminada, sigue cierta orientación.

Vetillas		
Tipo/Asoc. mineral	Espesor	Ocurrencia
Qz-FeldK- Anh±Py±Cpy	0,8 mm	Cruzando la roca rodeada de sericita.

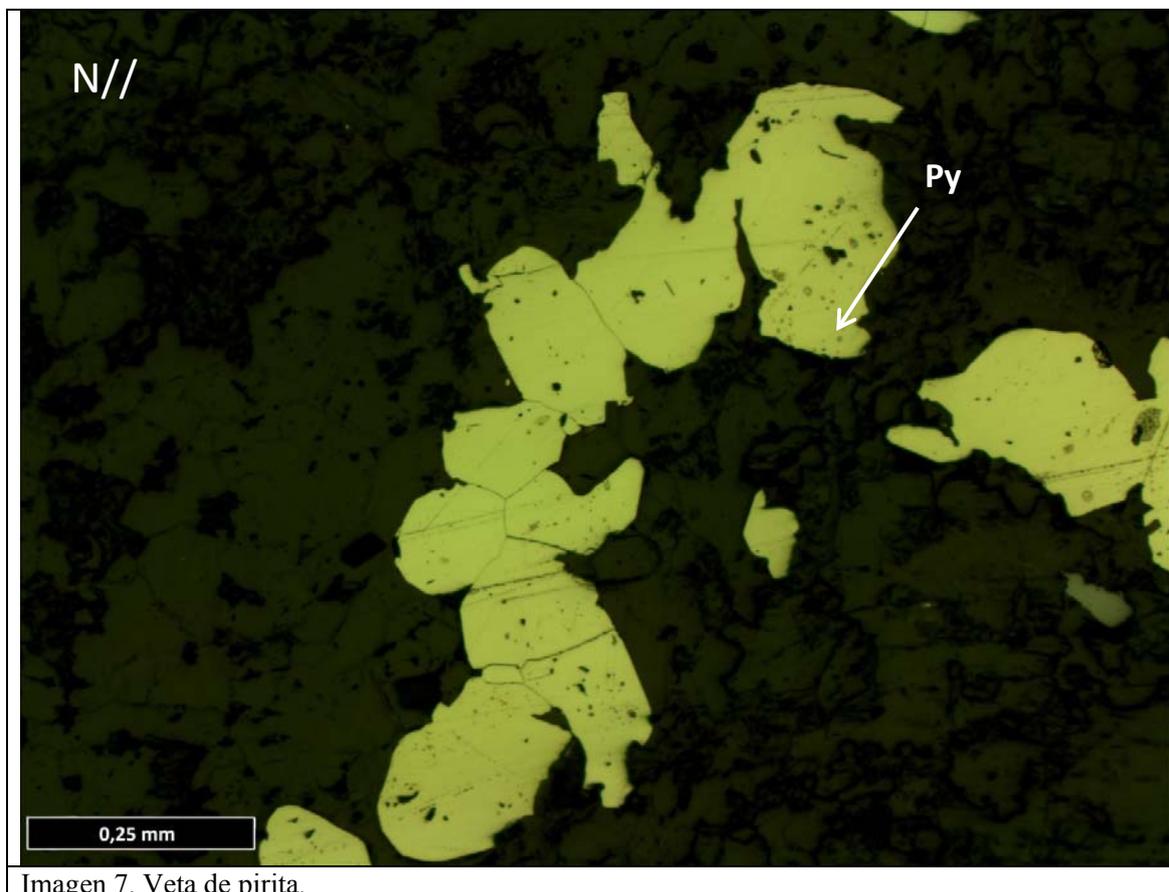


Imagen 7. Veta de pirita.

Fecha	Muestra
Octubre, 2013	RESUL07

Procedencia	Ubicación-Tramo	Clasificación Petrográfica
Los Sulfatos	PALSUL08 – 71,91-72,08	Granodiorita porfídica

Observaciones Macroscópicas

En la muestra se observa un pórfido alterado. Abundante sericita y anhidrita y los minerales máficos están cloritizados. Las plagioclasas presentan un color blanco y se observa una veta de anhidrita. La mineralización es molibdenita y calcopirita diseminada.

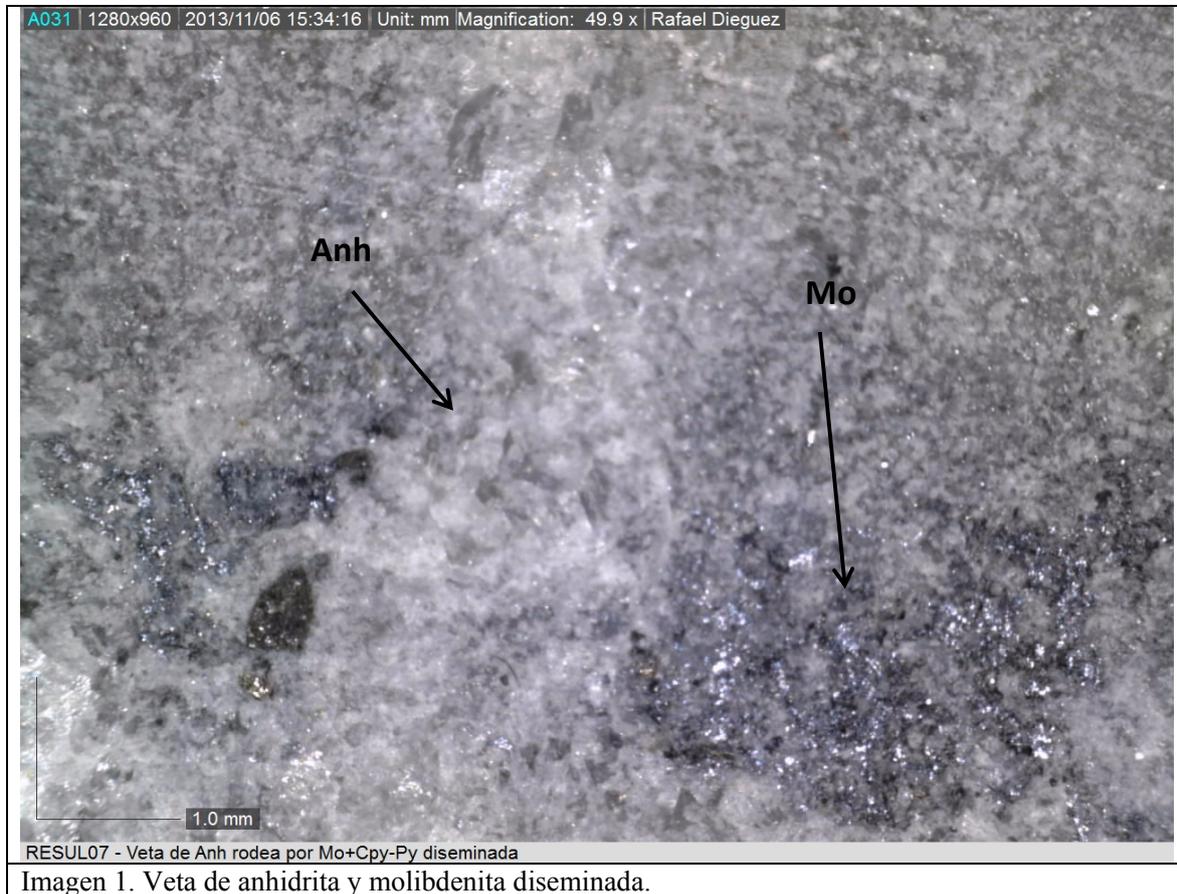


Imagen 1. Veta de anhidrita y molibdenita diseminada.

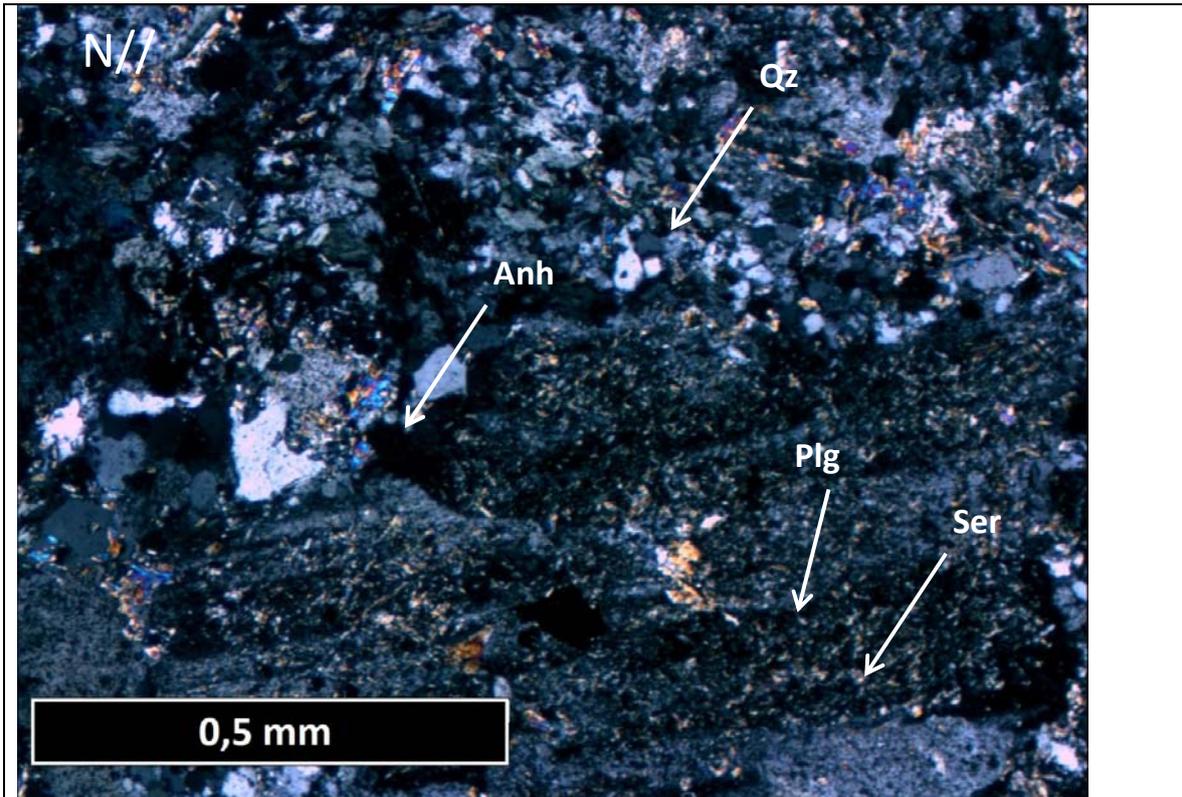


Imagen 3. Plagioclasa alterada a sericita y cuarzo con anhidrita intercrecida.



Imagen 2. Calcopirita, pirita y molibdenita diseminada. Rodeadas por sericita y cuarzo.

Observaciones Microscópicas

En la muestra se aprecian plagioclasas y feldespatos potásicos de un tamaño mayor al del cuarzo, los primeros fuertemente alterados a sericita. Anhidrita creció en los intersticios y clorita afecta casi totalmente a minerales máficos. En el corte no abunda la molibdenita pero si se observa macroscópicamente.

Minerales de Alteración o Secundarios

Mineral	%Volumen	Ocurrencia
Clorita	5	Diseminado alterando máficos. Su tamaño es de 0,15-0,5 mm.
Sericita	50	Alterando a feldespatos potásicos y plagioclasas. En vetas de Qz-Ser.
Anhidrita	5	Diseminado con un tamaño entre 0,05-0,1 mm.
Rutilo	1	Cristales diseminados de manera aislada o como inclusión en minerales de alteración (micas blancas y clorita). Su tamaño es variable desde 0,01-0,1 mm.

Minerales Opacos

Mineral	%Volumen	Ocurrencia
Calcopirita	1	Diseminado con algunos cristales en contacto con pirita y también se encuentra en veta de Qz-Ser±Cpy±Py. En promedio el tamaño es de 0,1 mm con un máximo de 0,8 mm en veta.
Pirita	1	Diseminado con algunos cristales en contacto con calcopirita. Además en veta de Qz-Ser±Cpy±Py. Su tamaño promedio es 0,1 mm con un máximo de 2 mm.
Rutilo	1	Cristales diseminados de manera aislada o como inclusión en minerales de alteración (micas blancas y clorita). Su tamaño es variable desde 0,01-0,1 mm.
Molibdenita	traza	Intercrecido con Cpy.

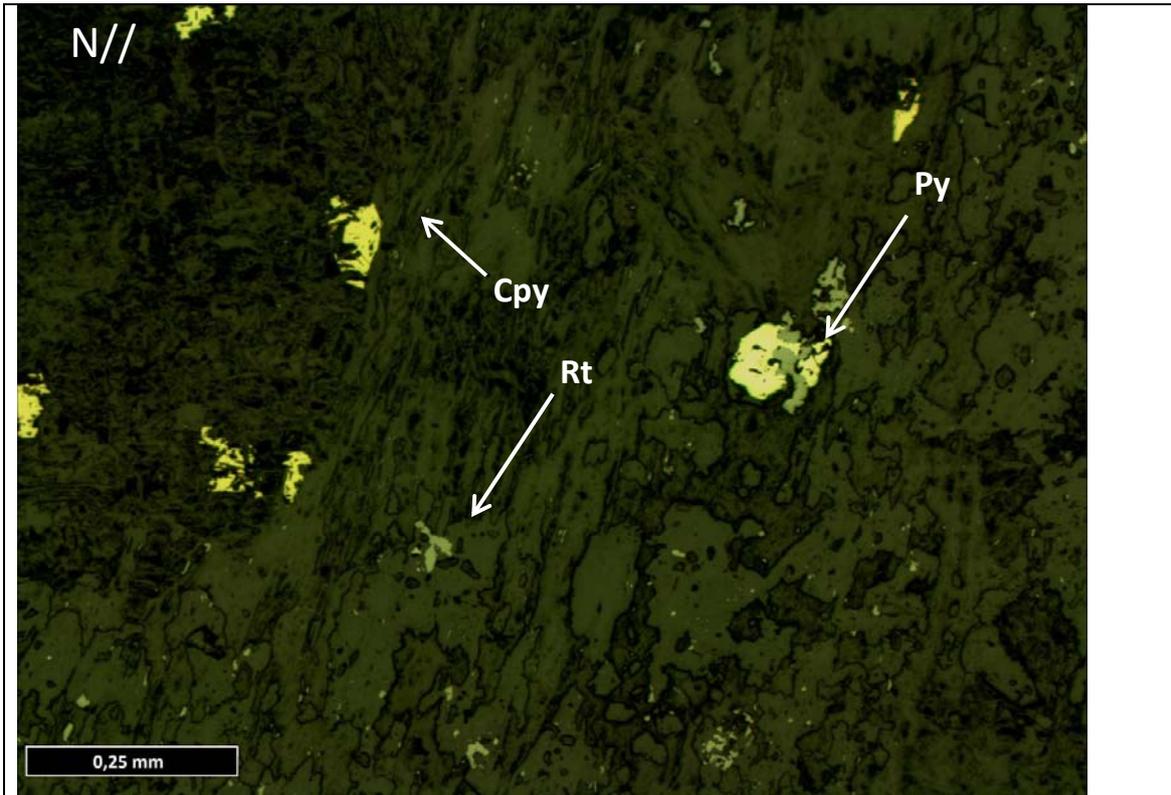


Imagen 4. Pirita, calcopirita y rutilo diseminado.

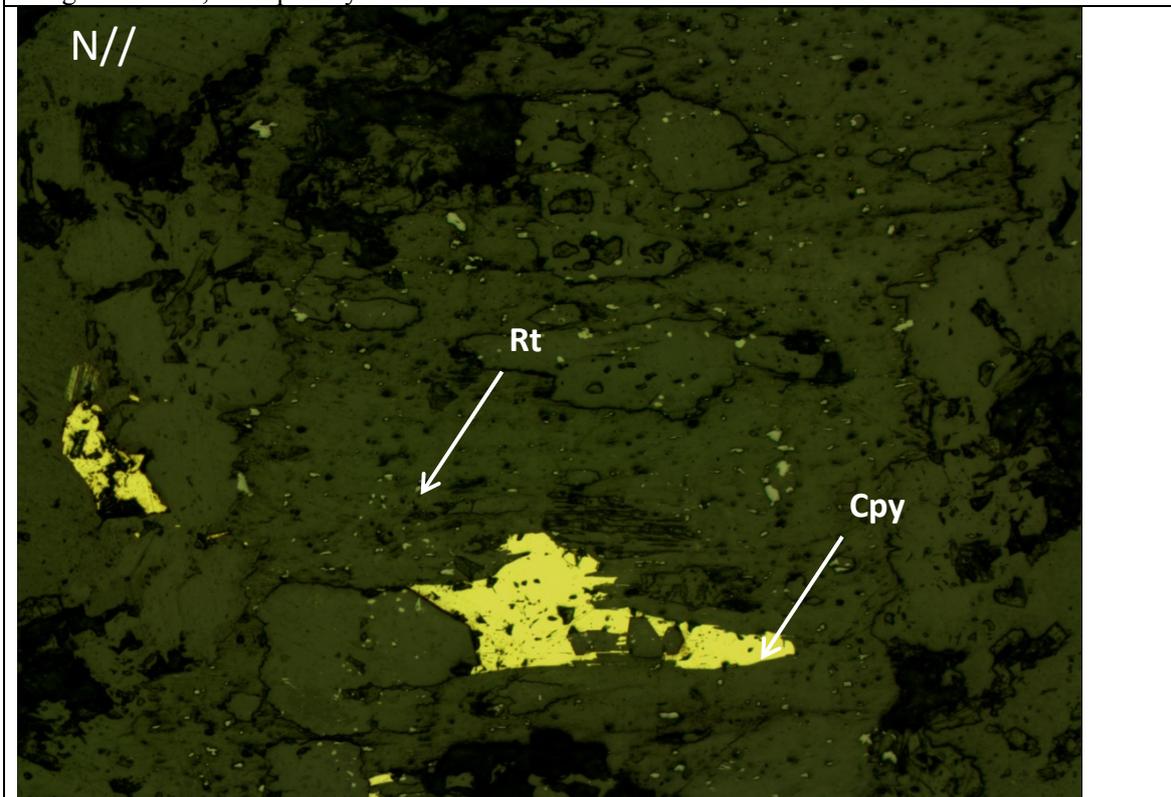


Imagen 5. Se observa calcopirita y rutilo diseminado.

Vetillas		
Tipo/Asoc. mineral	Espesor	Ocurrencia
Qz-Ser	1-4 mm	Cruzando la roca y continuas.
Qz-Ser±Cpy±Py	0,5-1 mm	Cruzando la roca y continuas. Levemente sinuosas.

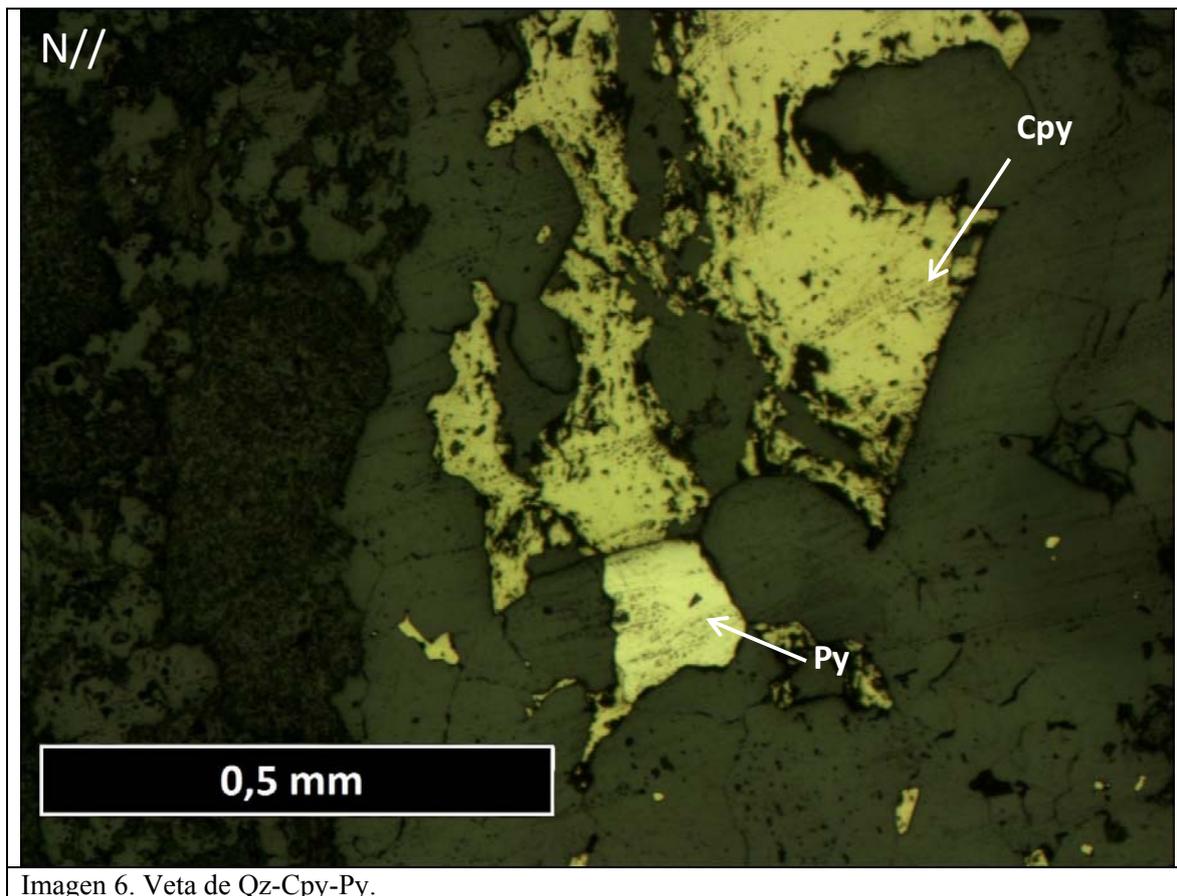


Imagen 6. Veta de Qz-Cpy-Py.

Fecha	Muestra
Octubre, 2013	RESUL08

Procedencia	Ubicación-Tramo	Clasificación Petrográfica
Los Sulfatos	PALSUL15 – 80,11-80,30	Brecha con clastos mineralizados de pórfido granodiorítico biotitizados.

Observaciones Macroscópicas

En la roca se observan clastos de pórfido y una matriz de turmalina, pirita y calcopirita con grandes cristales de anhidrita. Hay presencia de vetas delgadas de pirita. Los clastos están biotitizados y con abundante turmalina.



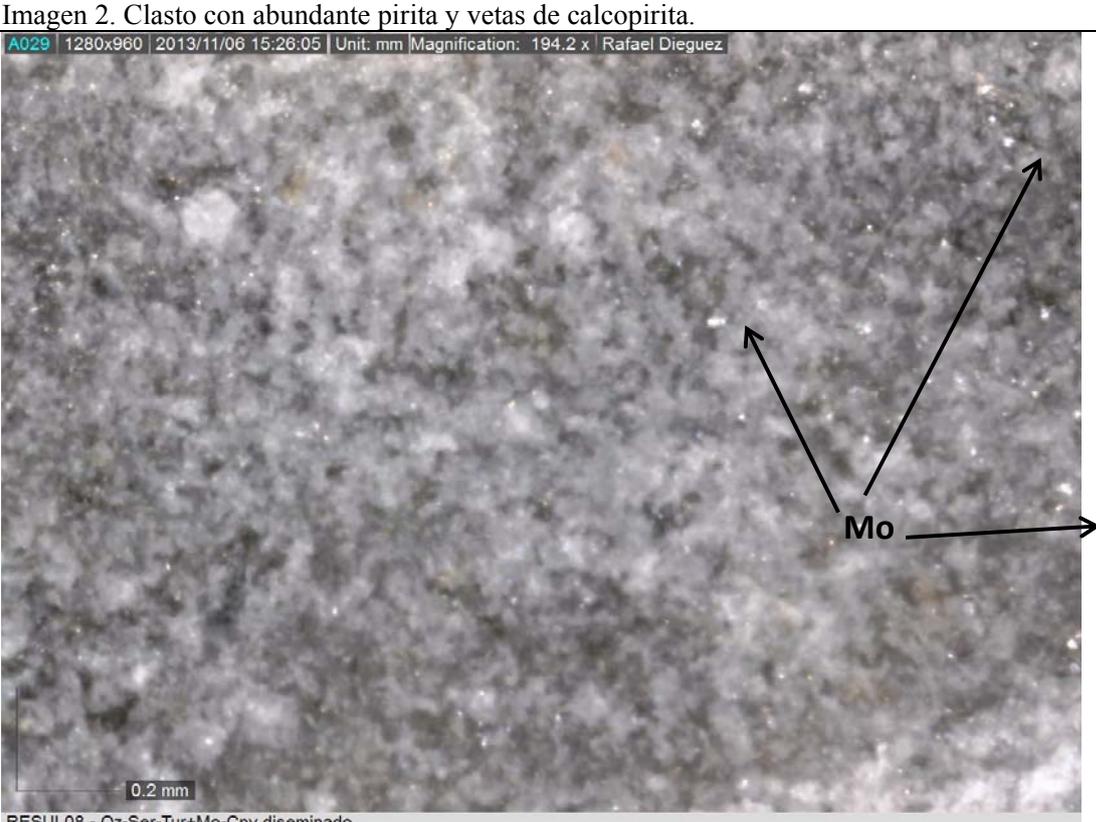


Imagen 3. Molibdenita diseminada.

Observaciones Microscópicas

Se aprecia en la matriz que también hay bornita (60 Py, 20 Cpy y 20 Bo es la proporción en matriz). Existe un Halo en el contacto entre la matriz y los clastos, el cual e compone principalmente de cuarzo y anhidrita. Los clastos presentan una diferencia en el grado de alteración de cada clasto donde uno presenta una sericitización mucho más intensa que la otra. La distribución del cuarzo lejos del contacto entre matriz-clasto se debe a vetas irregulares y algunas discontinuas de Qz-Ser-Anh que llevan el cuarzo hasta esos lugares y también de manera masiva.

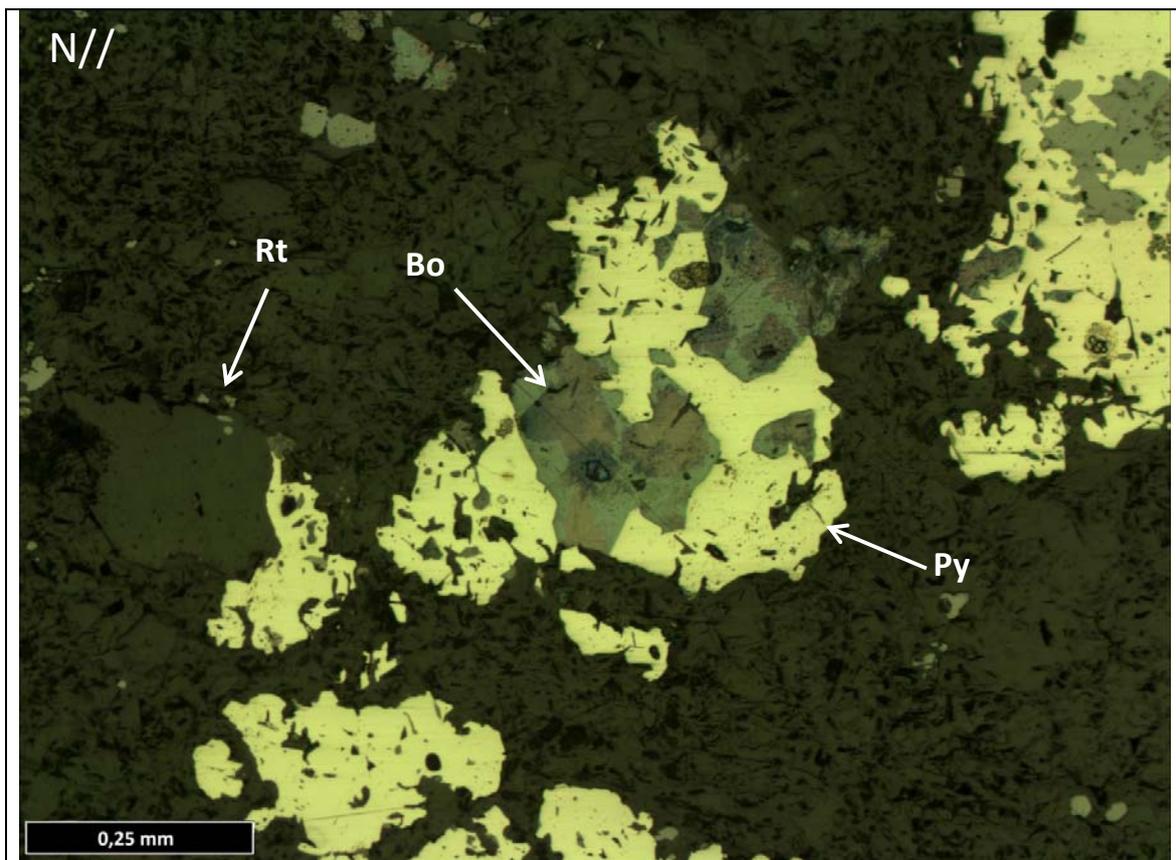


Imagen 4. Pirita con inclusiones de bornita (bordes oxidados verdosos) y rutilo diseminado.

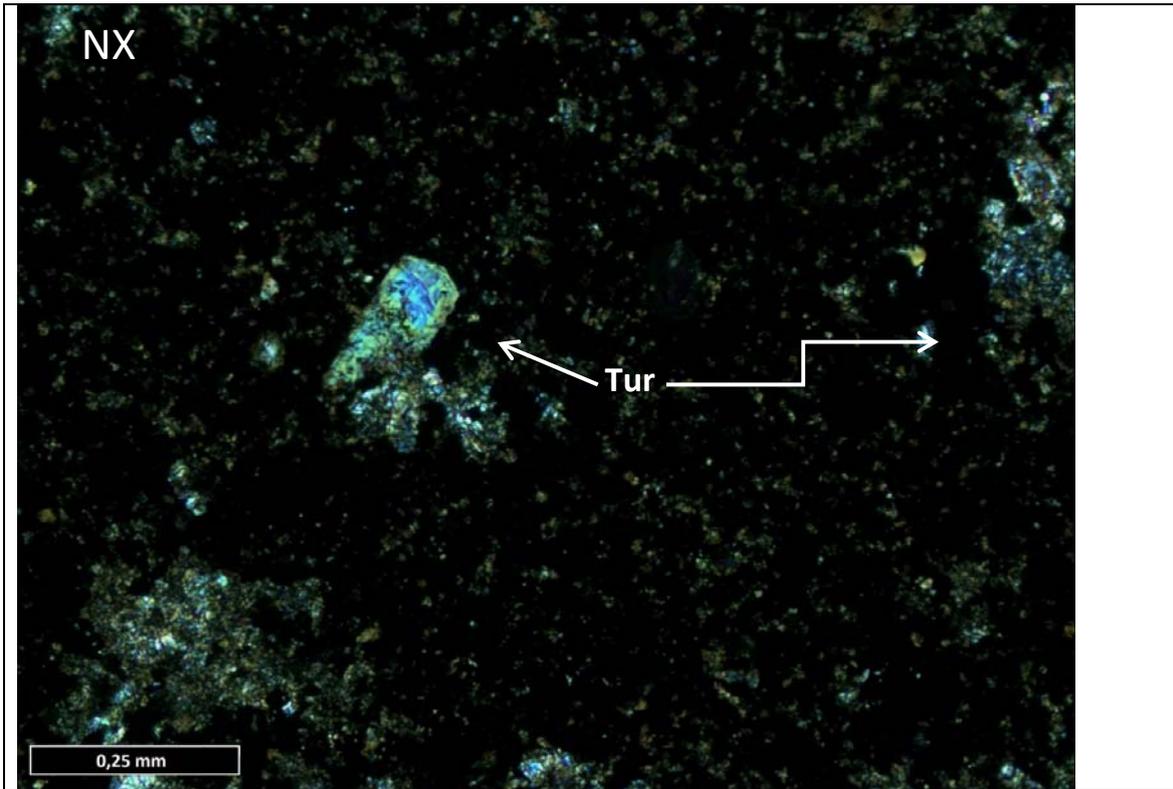


Imagen 5. Turmalina y opacos (Py-Cpy±Bo).

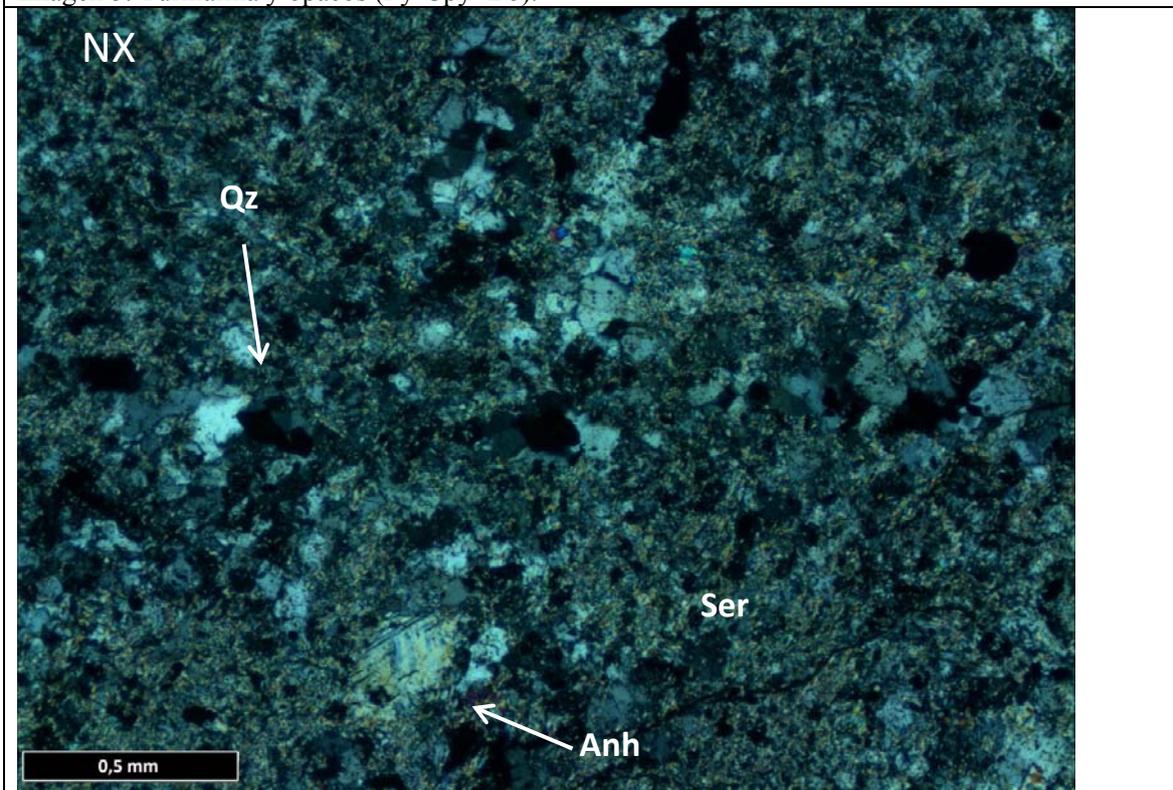


Imagen 6. Cristales de cuarzo y anhidrita rodeados por sericita.

Minerales de Alteración o Secundarios		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
Sericita	45	En toda la roca excepto la matriz de la brecha, alterando pervasivamente.
Anhidrita	5	En bordes de clastos y en veta irregulares de Qz-Anh que nacen desde los límites de los clastos. Diseminada, pero en menor cantidad.
Turmalina	15	Como parte de la matriz de brecha intercrecida con pirita calcopirita y bornita. Muy fina, cristales de aproximadamente 0,02 mm.
Mica Blanca	1	En conjunto con la sericita se pueden observar cristales de mayor tamaño
Cuarzo	14	Presente en pequeñas vetas y rodeando a la sericita, al parecer todo el cuarzo proviene de la interacción matriz clasto debido a su distribución y tamaño de grano que es de aproximadamente 0,15 mm.

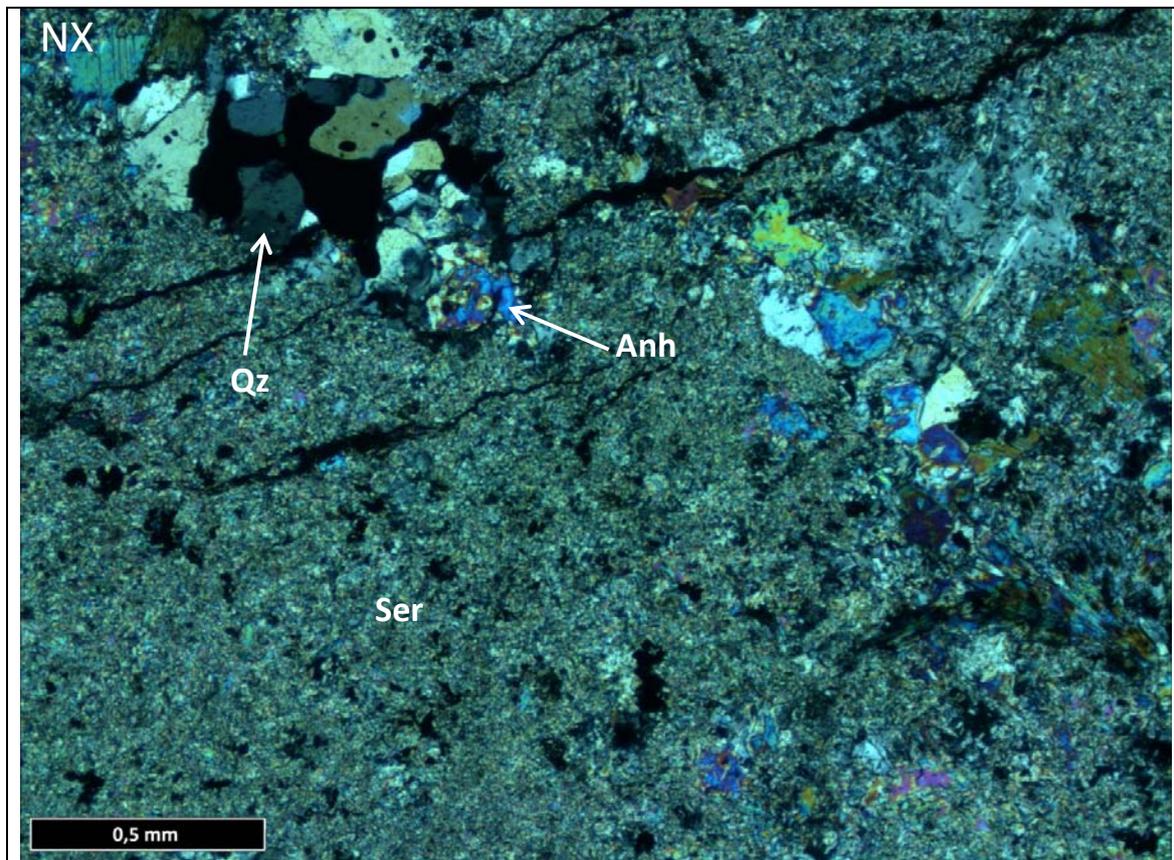


Imagen 7. Cristales de anhidrita y cumulo de cuarzo rodeados abundante sericita y moscovita.

Minerales Opacos		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
Pirita	15	Principalmente intercrecida con calcopirita, bornita y turmalina en la matriz de la brecha. También diseminada en los clastos con un tamaño promedio de 0,5 mm alzando un máximo de 2,5 mm.
Calcopirita	2	Diseminado en matriz de brecha (muy fino). Como inclusión en piritas e intercrecido con estas mismas. Su tamaño y forma es muy variable debido a su ocurrencia.
Bornita	2	Diseminado en matriz de brecha (muy fino). Como inclusión en piritas y calcopiritas. El tamaño de grano en promedio es de 0,2mm alcanzando tamaños de hasta 0,7 mm.
Rutilo	1	Diseminado y como inclusiones en micas.
Calcosina	0,5	Alterando a bornita en los bordes y algunos cristales diseminados. El tamaño de grano es muy fino.
Molibdenita	traza	Asociado a veta de pirita sola.

Vetillas		
Tipo/Asoc. mineral	Espesor	Ocurrencia
Pirita sola	0,7 mm	Tiene pequeños cristales de molibdenita y rutilo.
Qz	0,1-0,2 mm	Cruzando las masas de sericita.
Qz-Ser-Anh	0,2-0,4 mm	Cruzando las masas de sericita.

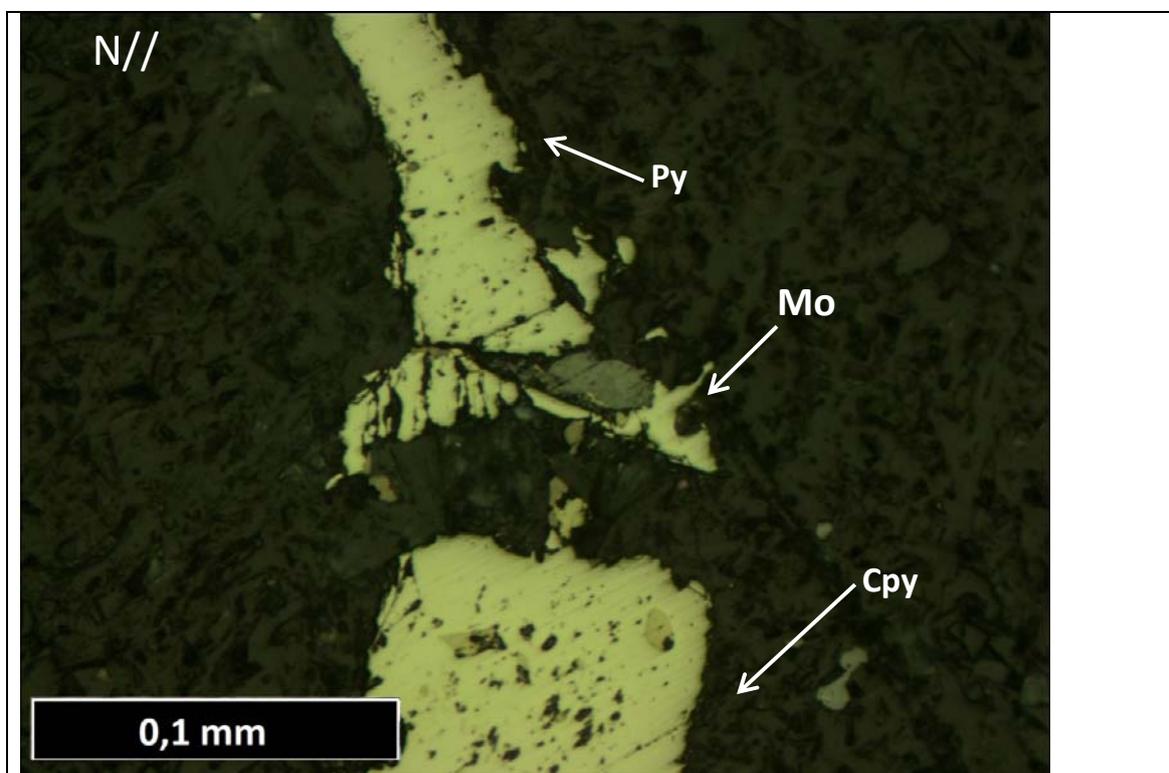


Imagen 8. Veta de PY con inclusiones de Cpy y molibdenita en fractura.

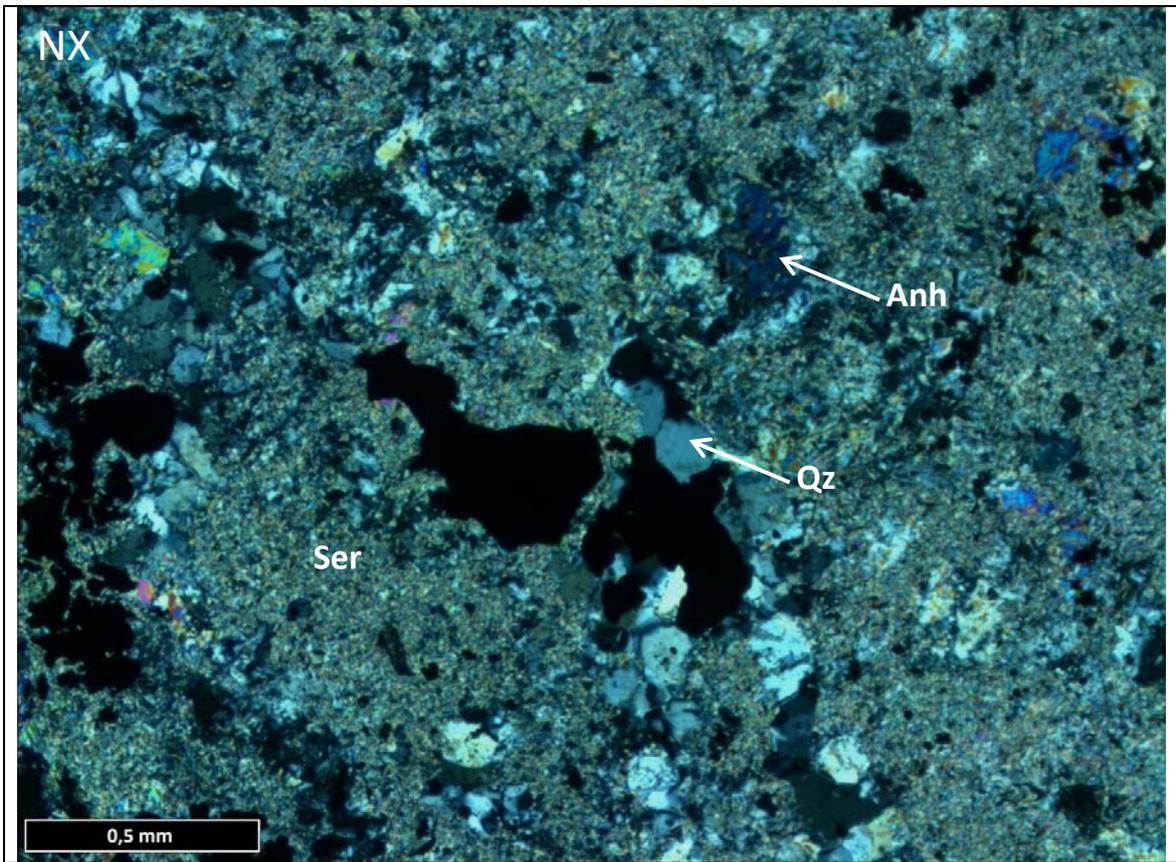


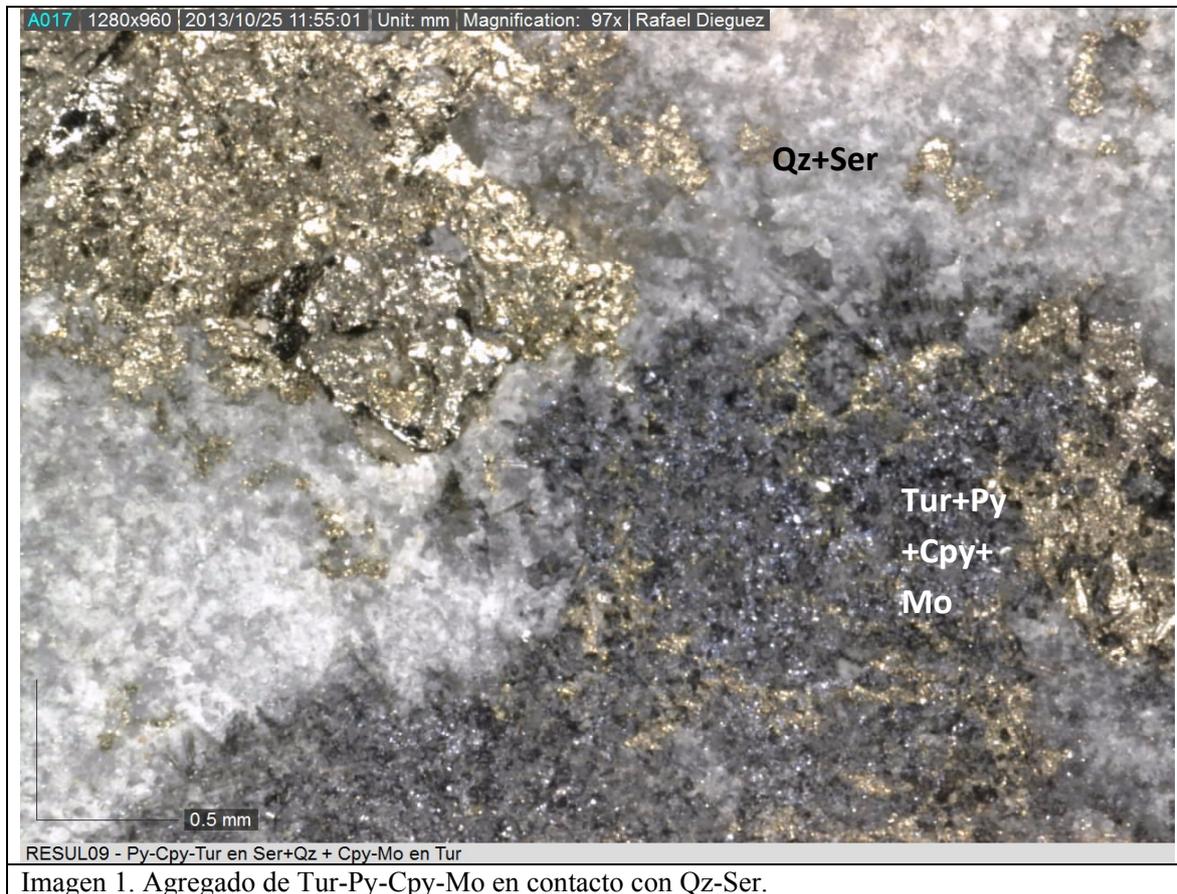
Imagen 9. Veta discontinua de Qz-Anh en masa de sericita.

Fecha	Muestra
Octubre, 2013	RESUL09

Procedencia	Ubicación-Tramo	Clasificación Petrográfica
Los Sulfatos	PALSUL15 – 562,90-563,05	Brecha de turmalina con clastos de pórfido cuarzomonzónico

Observaciones Macroscópicas

La muestra representa un clasto de la brecha en la que se aprecia ciertos sectores con matriz de turmalina. Se observa pirita y molibdenita diseminada y vetas irregulares de calcopirita. También se encuentran pequeñas vetas de molibdenita.



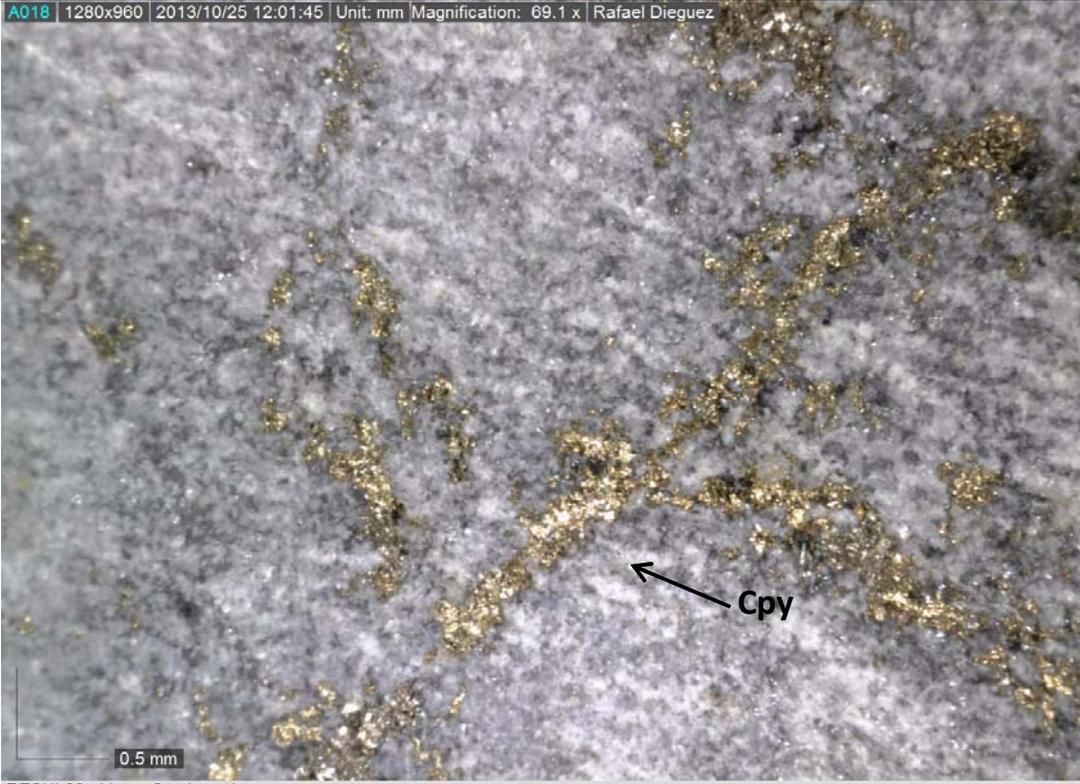


Imagen 2. Vetas irregulares de Cpy.

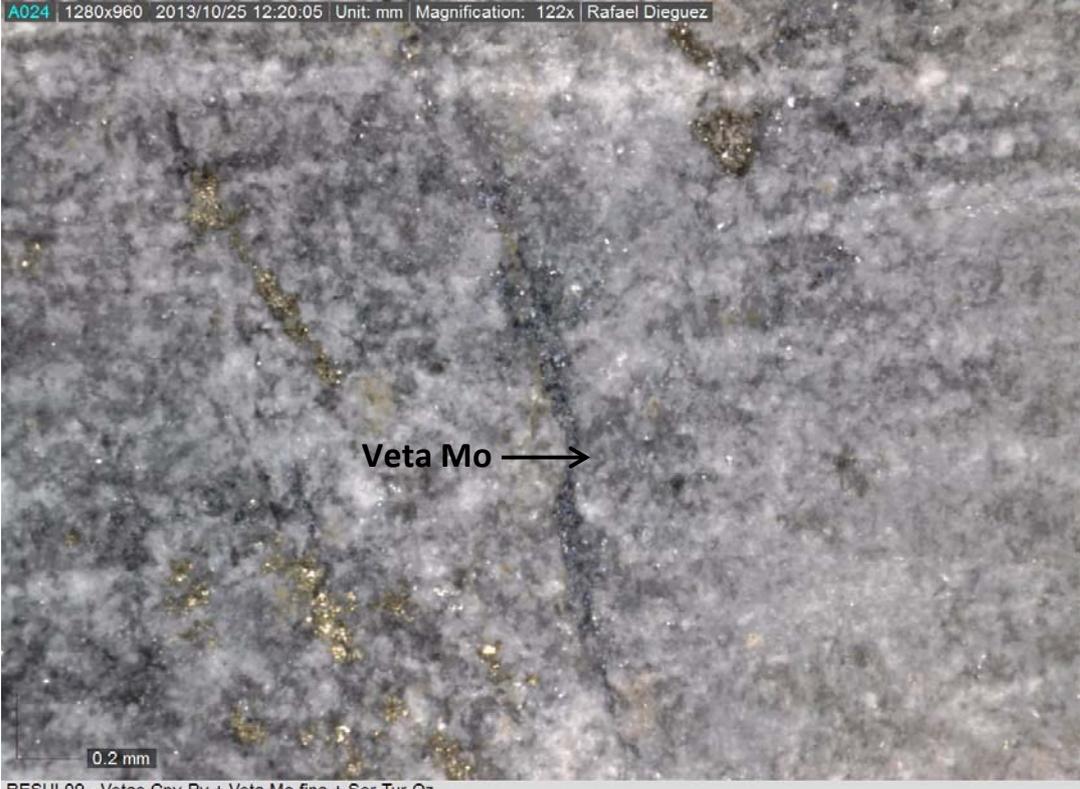


Imagen 3. Veta de molibdenita discontinua.

Observaciones Microscópicas

Muestra con abundante vetilleo de Qz-Anh que presenta en su mayoría Cpy-Py±Mo en particular una vetilla contiene mucho Mo±Cpy±Py. Las plagioclasas y feldespatos están totalmente alterados a sericita.

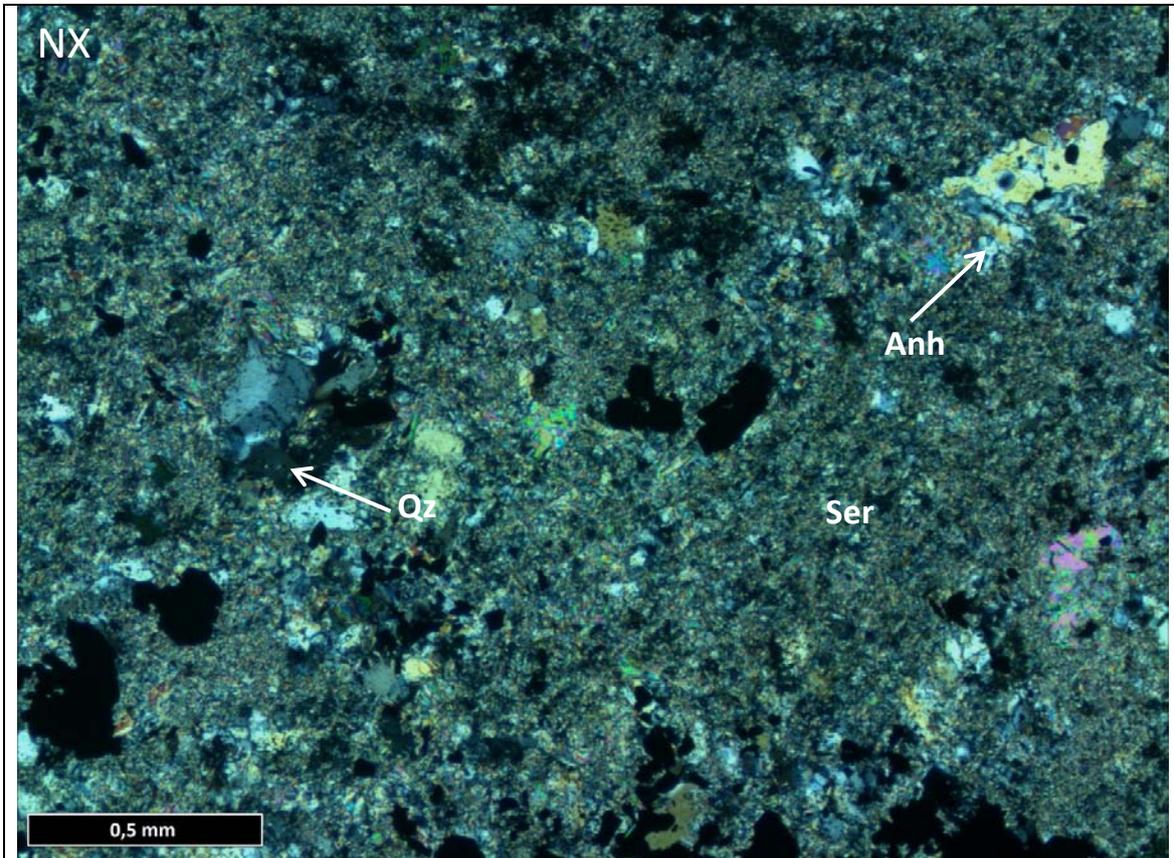


Imagen 4. Cristales de cuarzo y anhidrita en masa de sericita.

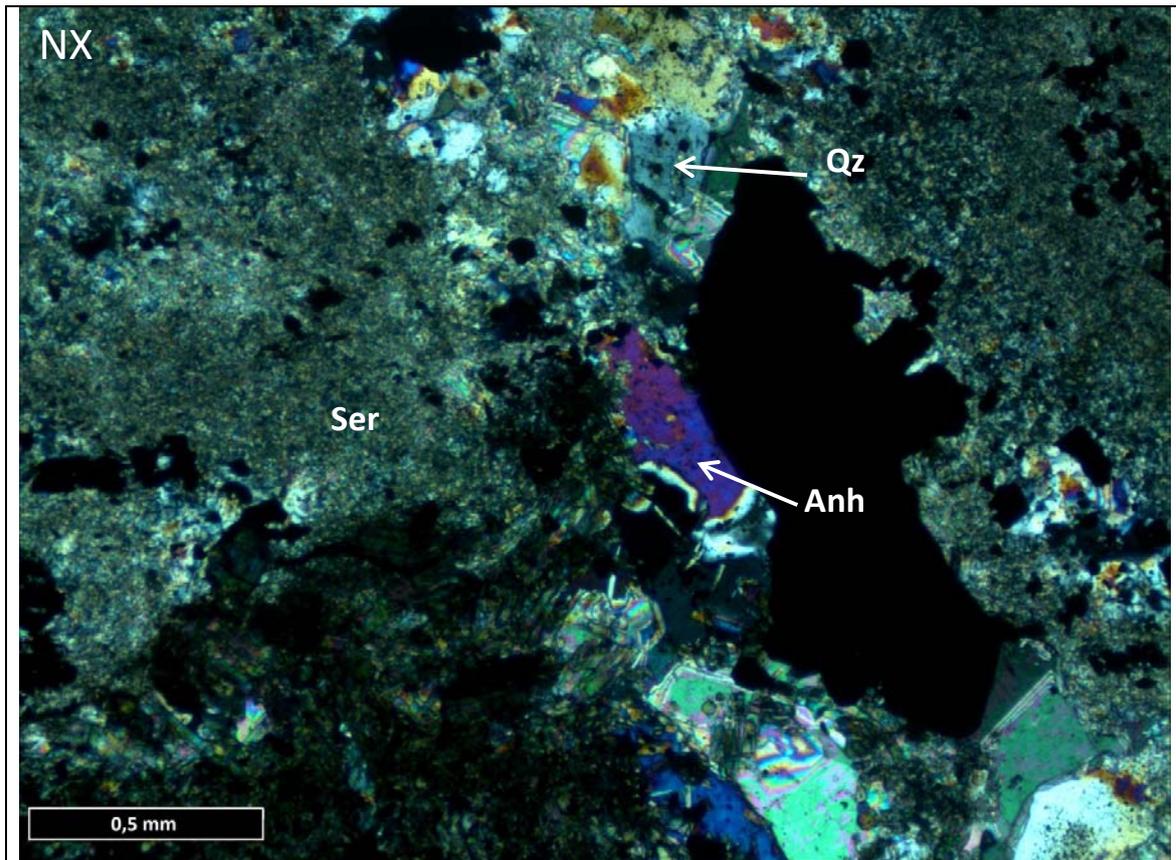


Imagen 5. Veta An-Qz cruzando masa de sericita.

Minerales Accesorios		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
Bornita	traza	Como inclusiones en piritas. Bordes oxidados.

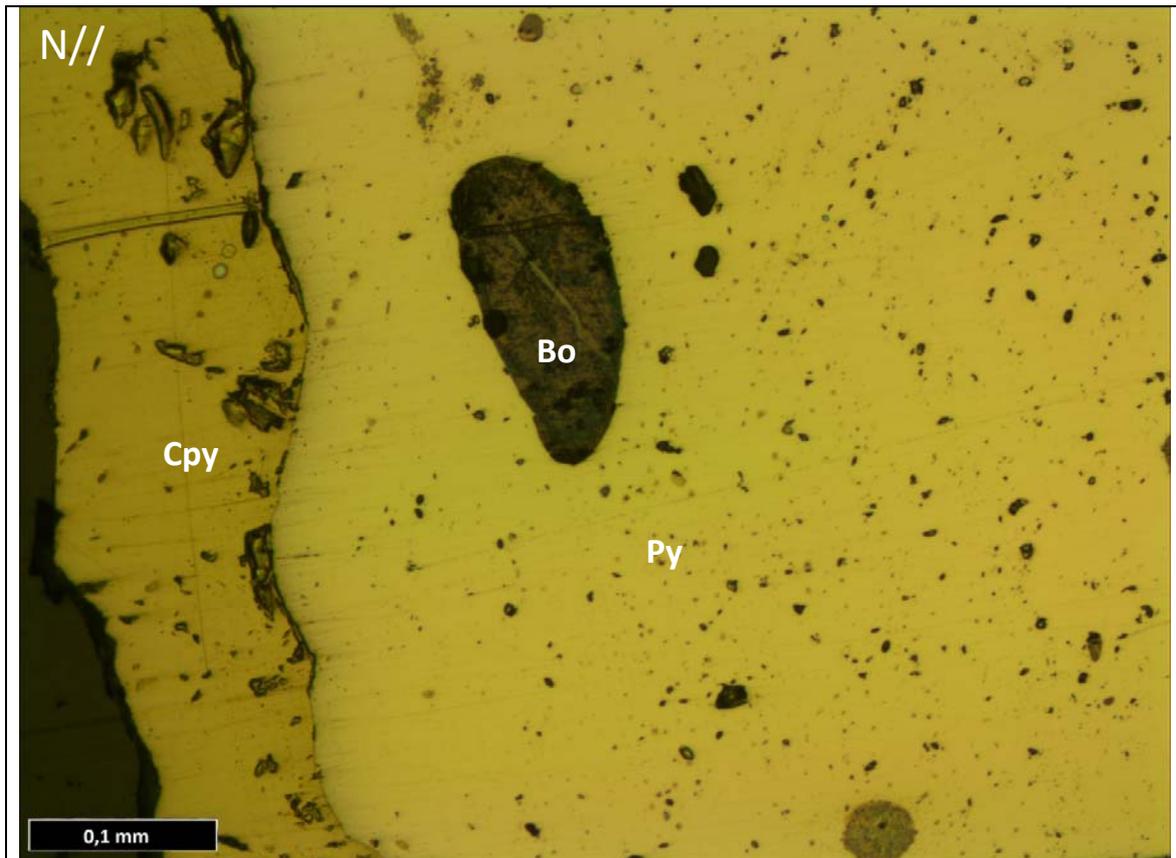


Imagen 6. Pirita con inclusiones de bornita y en borde calcopirita.

Minerales de Alteración o Secundarios		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
Sericita	65	Presente en toda la roca, masiva y en espacios de las vetas. No hay rastro del mineral al que altero.
Anhidrita	14	En vetas y como cristales aislados, a veces en cúmulos. De tamaños y formas muy variados. Las desde 0,25 hasta 1 cm aproximadamente.
Cuarzo	10	En vetas. También se encuentran rodeados de sericita pero se aprecia un lineamiento. El tamaño promedio del cuarzo es de 0,2 mm.
Turmalina	3	Diseminada entre la sericita. Con un tamaño entre 0,4-1 mm.

Minerales Opacos		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
Calcopirita	3	En vetillas irregulares diseminado dentro de ellas. Hay tanto agregados de cristales como cristales separados en las vetillas. También diseminado. Con un tamaño entre 0,05-0,2 mm.
Molibdenita	1	En vetillas irregulares diseminado dentro de ellas. Hay tanto agregados de cristales como cristales separados en las vetillas. Porcentaje menor se encuentra diseminado. El tamaño promedio de los cristales es de 0,05 mm.
Pirita	2	En vetillas irregulares diseminado dentro de ellas. Hay tanto agregados de cristales como cristales separados en las vetillas. Con tamaños variables algunos casos muy grandes También diseminado. Alcanza tamaños de 1,8 mm con un promedio de 0,5 mm.
Rutilo	traza	Diseminado en la roca en minerales de alteración. Muy fino aproximadamente 0,025 mm.

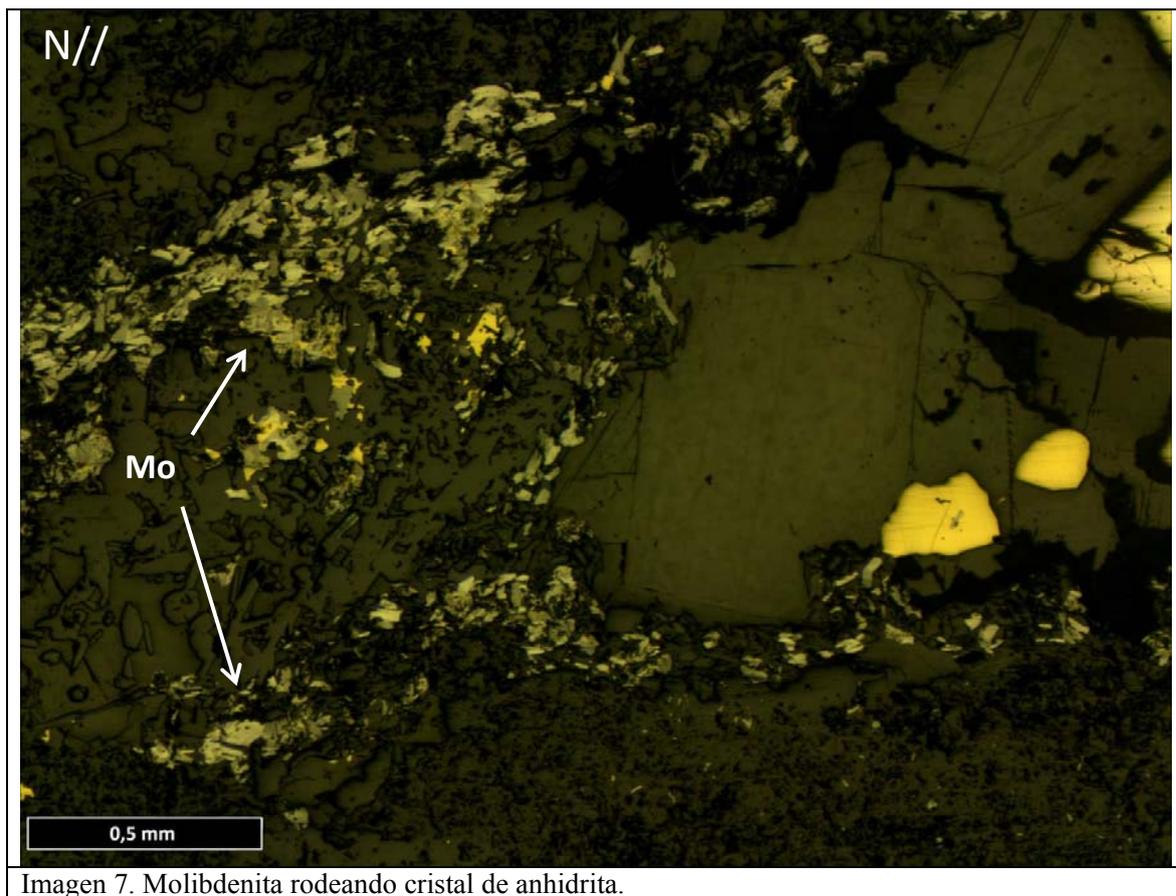
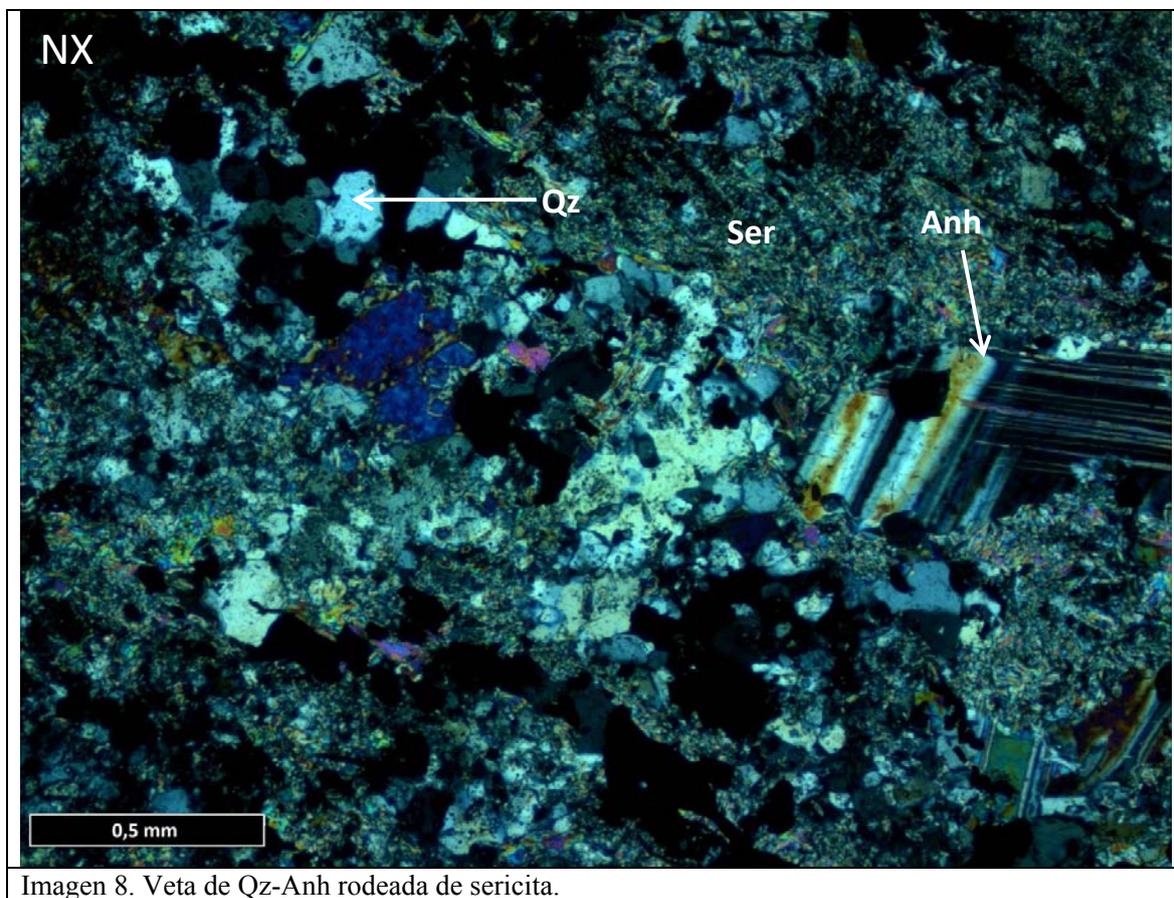
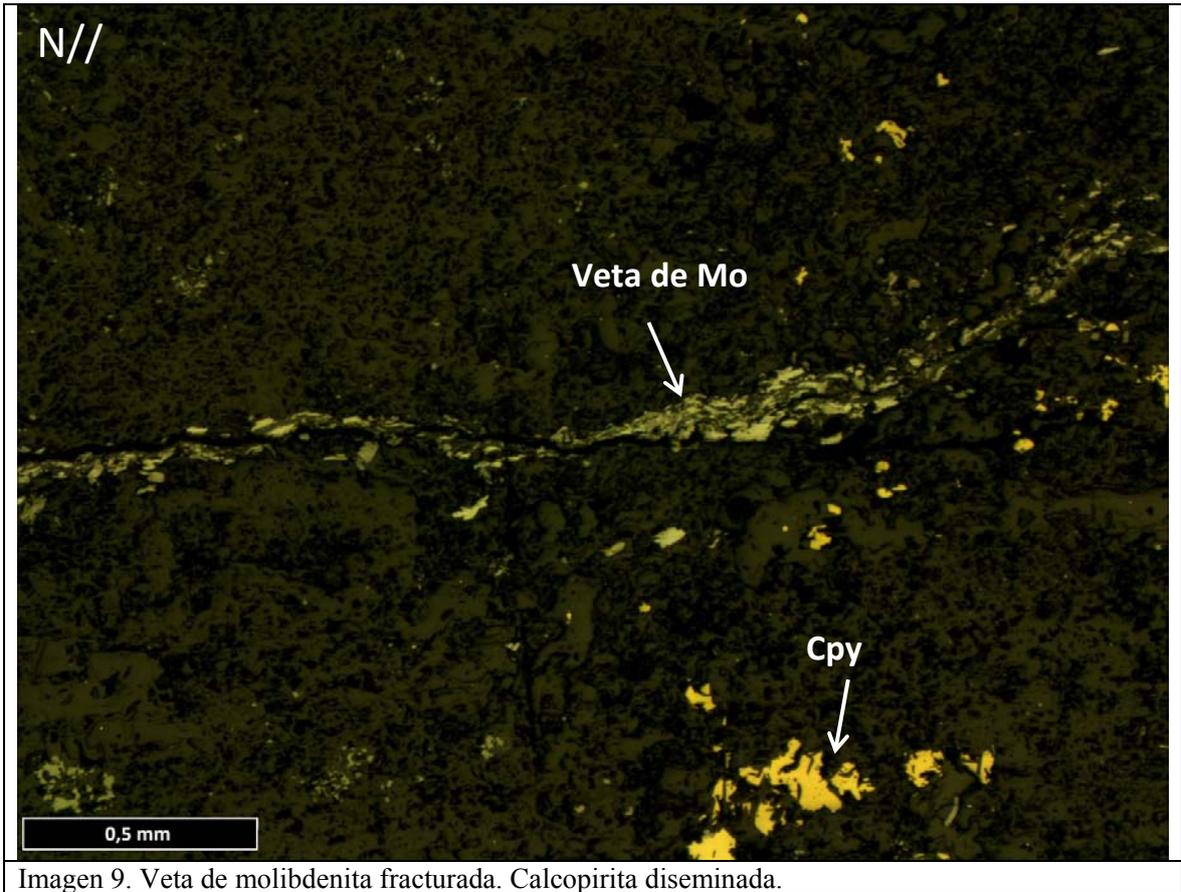


Imagen 7. Molibdenita rodeando cristal de anhidrita.

Vetillas		
Tipo/Asoc. mineral	Espesor	Ocurrencia
Qz-Anh	0,2 mm	Sinusoidales, algunas presentan minerales opacos (Mo, Cpy y Py).
Mo	0,05-1 mm	Reutiliza veta de Qz-Anh. De espesor variable debido a los planos de debilidad que sigue. Cabe notar que el espesor máximo es cuando existe Qz-Anh-Cpy-Py y el mínimo son Mo solo.
Anh±Qz±Py±Cpy	0,7 mm	Veta de mayor espesor con abundantes cristales de anhidrita.





Fecha	Muestra
Octubre, 2013	RESUL11

Procedencia	Ubicación-Tramo	Clasificación Petrográfica
Los Sulfatos	PALSUL20 – 716,06-716,17	Granodiorita porfídica fina, con sectores donde se brechiza la muestra dentro de una matriz de turmalina.

Observaciones Macroscópicas

Muestra de clasto de brecha con vetas Anh-Mo cortando una muestra de abundante sericita alterando a plagioclasas y feldspatos. Existen sectores con aglomerados de turmalina y vetas de pirita rectas. La molibdenita esta principalmente en vetas.





Observaciones Microscópicas

Roca con abundante sericita cuarzo y anhidrita inmersos en esta masa de micas blancas. Se observan vetas de Qz-Anh+opacos, se presenta turmalina en cúmulos.

Nota: Este corte presenta un desgaste exagerado en un sector, por lo que los colores de interferencia son menores a los esperados (caso de la sericita y la turmalina).

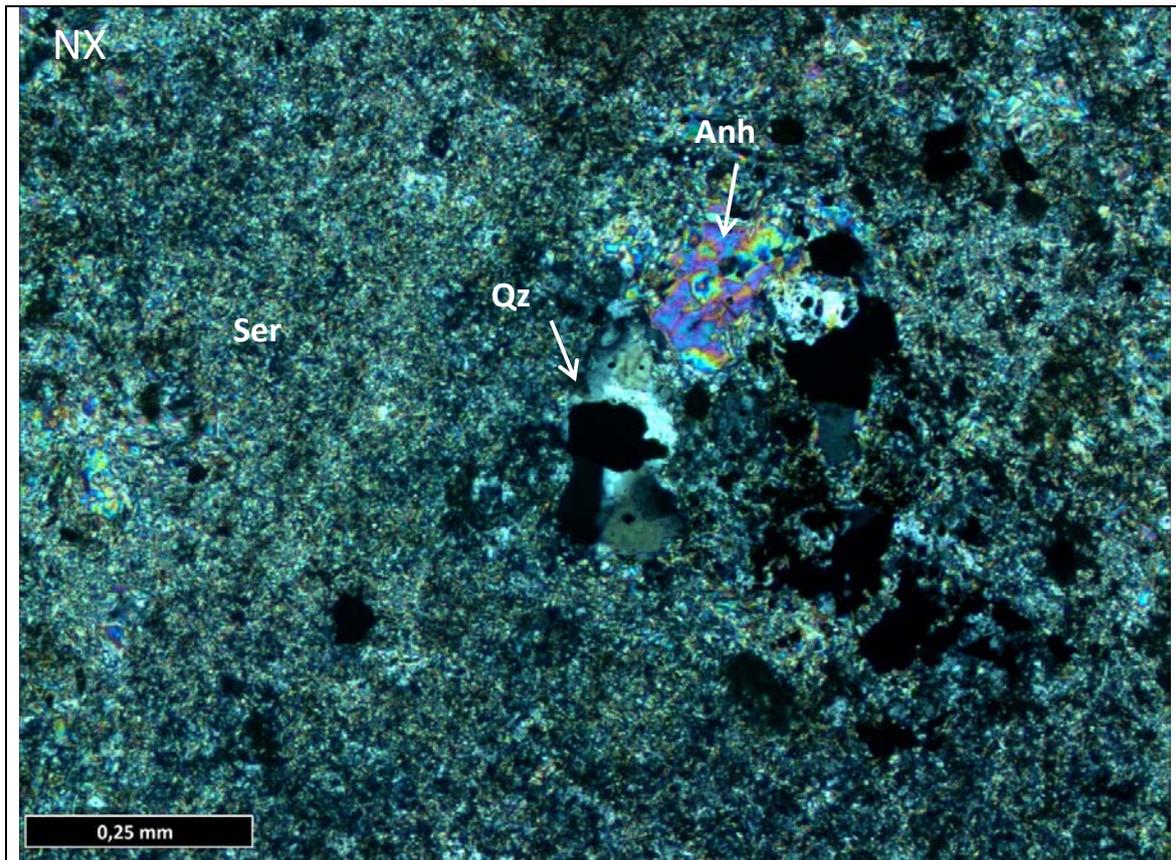


Imagen 3. Abundante sericita y cristales de cuarzo y anhidrita inmersos.

Minerales Accesorios		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
Calcopirita	traza	Diseminado asociado a la bornita. De tamaño pequeño aproximado a 0,07 mm.

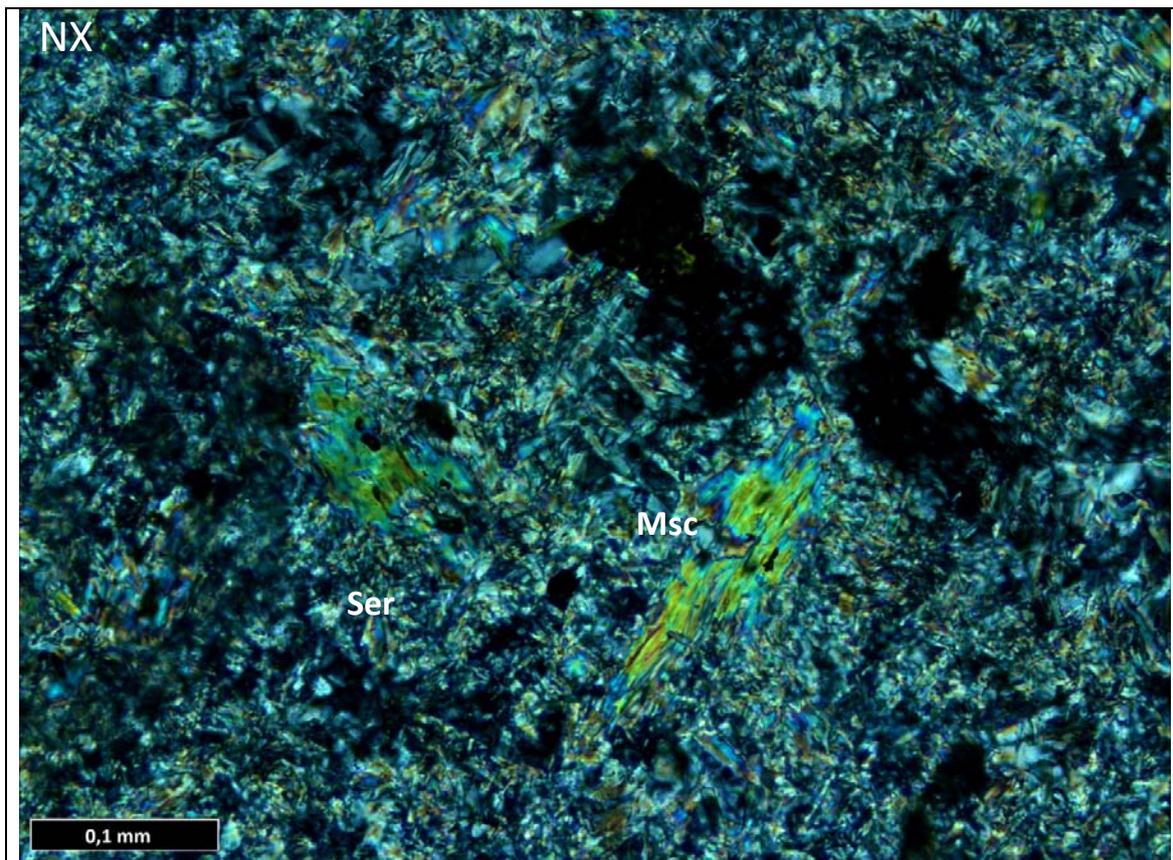


Imagen 4. Sericita y cristales de moscovita .

Minerales de Alteración o Secundarios		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
Sericita	70	Masiva y en todo el corte excepto vetas de Qz-Anh donde solo se observa en los bordes de estas.
Anhidrita	8	Principalmente en vetas de Qz-Anh o asociada a Qz, poco usual verla aislada en la masa de sericita. Su tamaño es muy variable al igual que su forma.
Turmalina	2	Aparece en vetas de Qz-Anh irregulares con un tamaño de 0,2 mm los más grandes y los más pequeños 0,025 mm.
Cuarzo	13	En vetas. De tamaño promedio 0,3 mm. Sin embargo, en las vetas hay grueso 0,6 mm y menor de 0,05 mm.
Rutilo	1	Diseminado entre la sericita. De tamaño variable en general de 0,025 mm, pero alcanza tamaños de hasta 0,3 mm.
Mica Blanca Musc	1	Diseminada entre la sericita. Con un tamaño 1,5 mm en promedio. Tanto como tablas delgadas o anchas.

Minerales Opacos		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
Bornita	2	Cristales diseminados en la masa de sericita. En general en contacto con Cpy. Su tamaño promedio es de 0,03mm alcanzando tamaños de 0,15mm. Existe también en veta de Qz-Anh.
Molibdenita	2	En vetas de Qz-Anh. Cristales tabulares largos de 0,4 mm de largo y también como agregados de cristales en estas mismas vetas.
Rutilo	Ídem	Cristales diseminados en la masa de sericita.

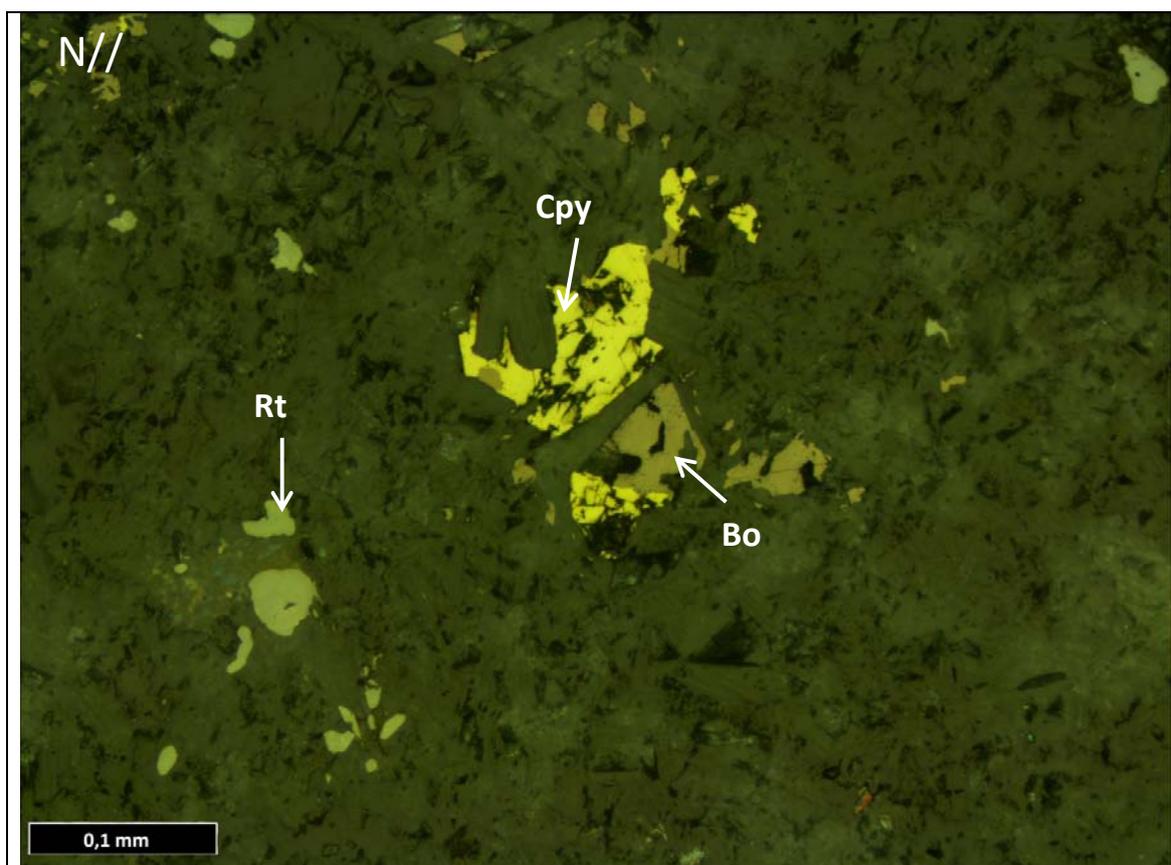


Imagen 5. Calcopirita con reemplazo de bornita. Rutilo diseminado.

Vetillas		
Tipo/Asoc. mineral	Espesor	Ocurrencia
Qz-Anh±Mo	2 y 3,1 mm	Vetas continuas y rectas

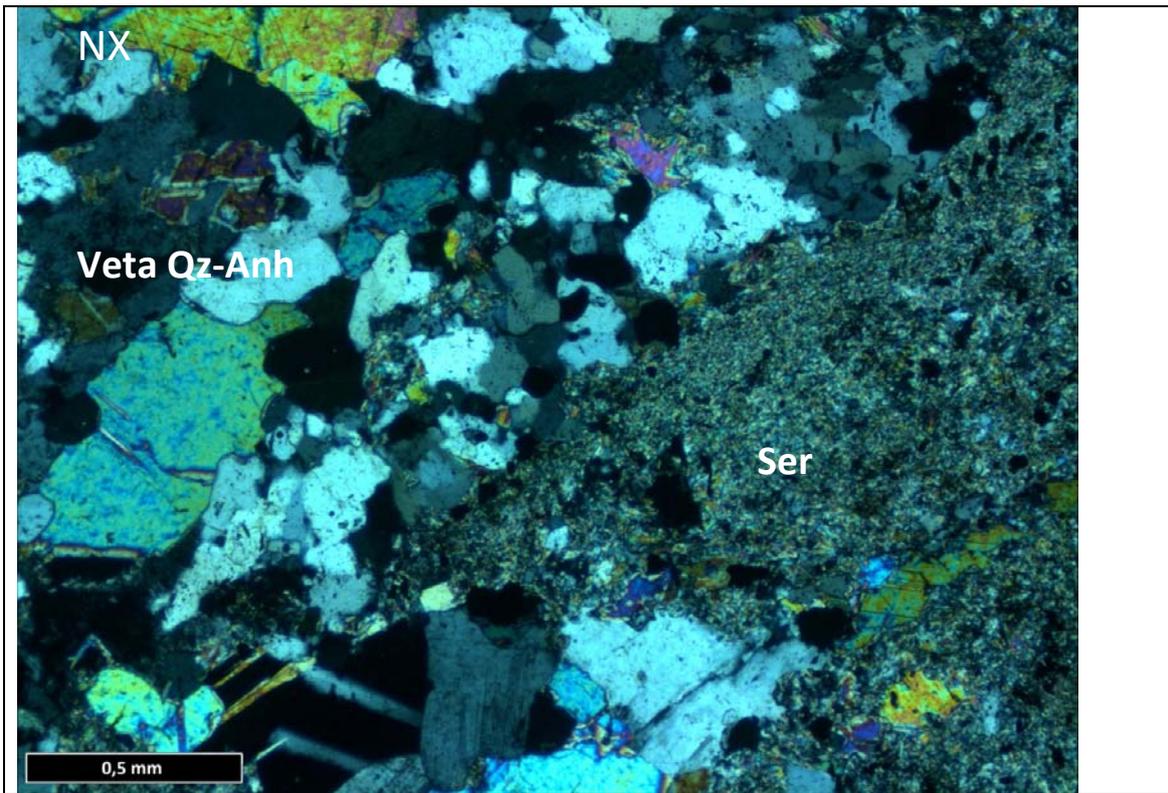


Imagen 6. Veta Qz-Anh cortando sericita.

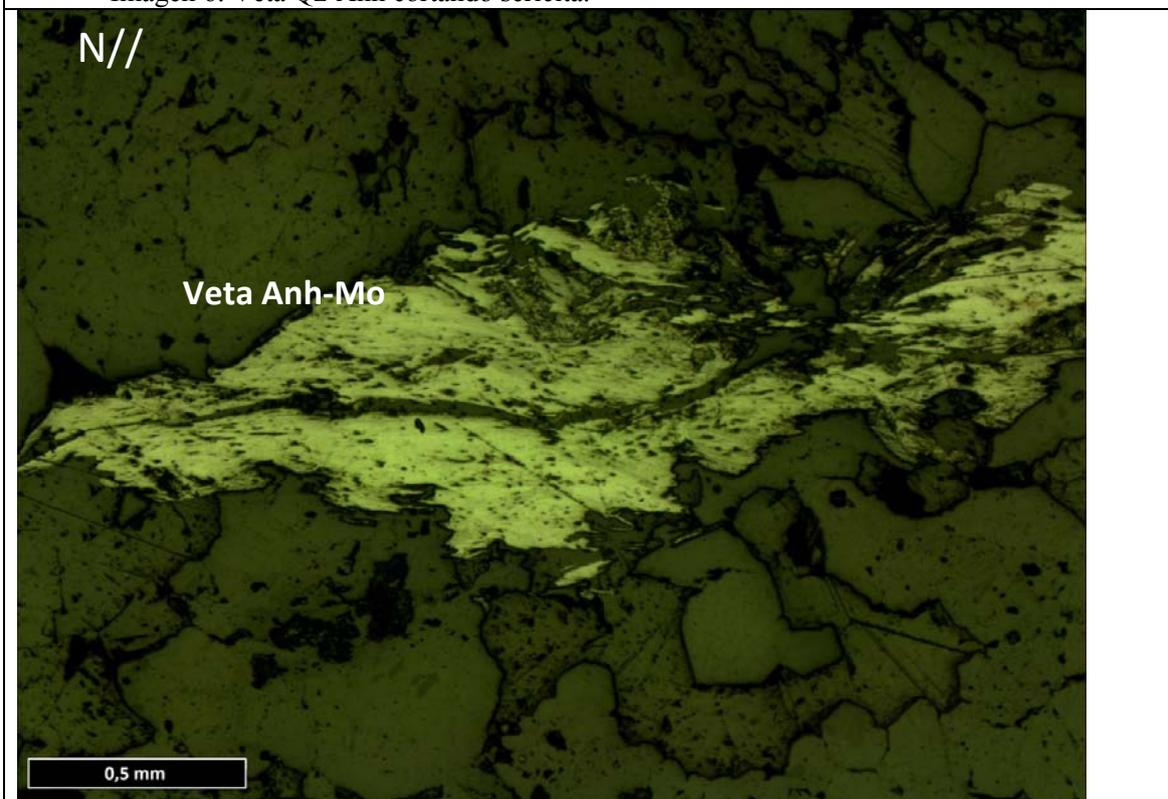


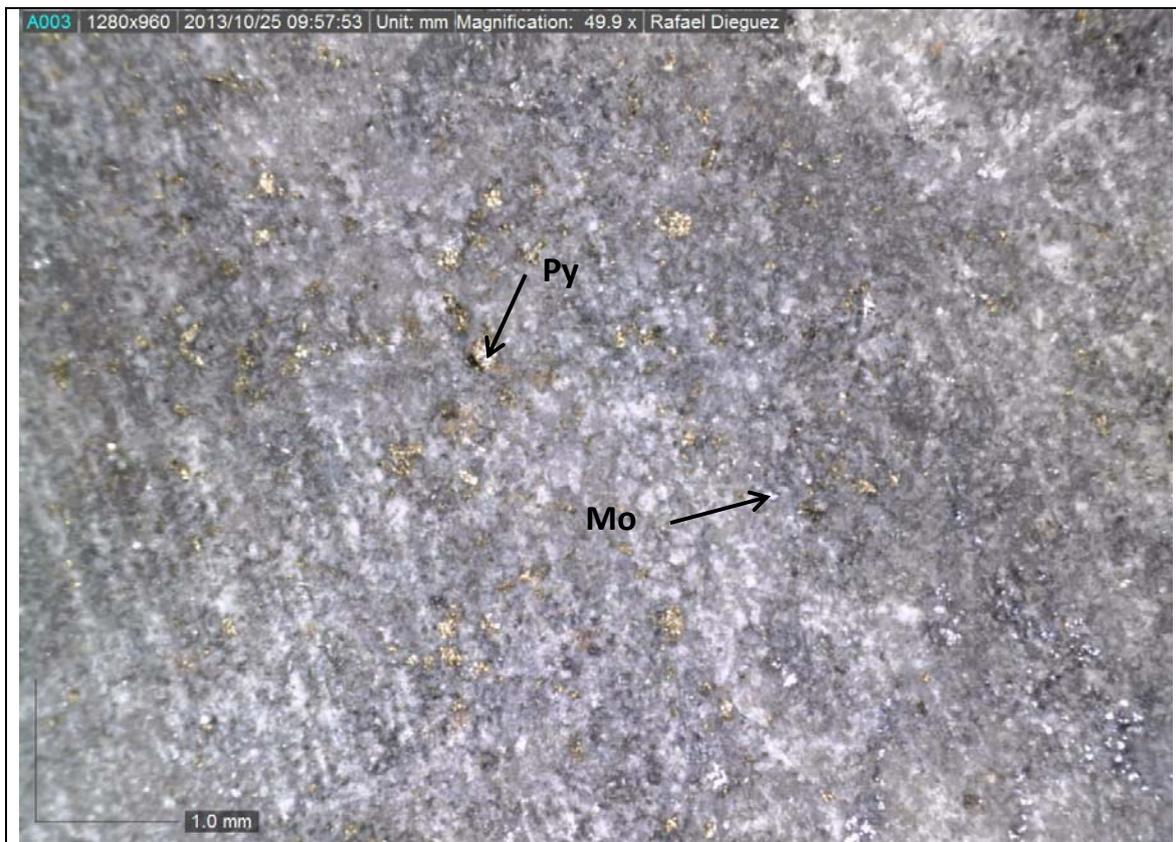
Imagen 7. Agregado de molibdenita en veta Anh-Mo.

Fecha	Muestra
Octubre, 2013	RESUL12

Procedencia	Ubicación-Tramo	Clasificación Petrográfica
Los Sulfatos	PALSUL23 – 669,83-670,14	Brecha de biotita

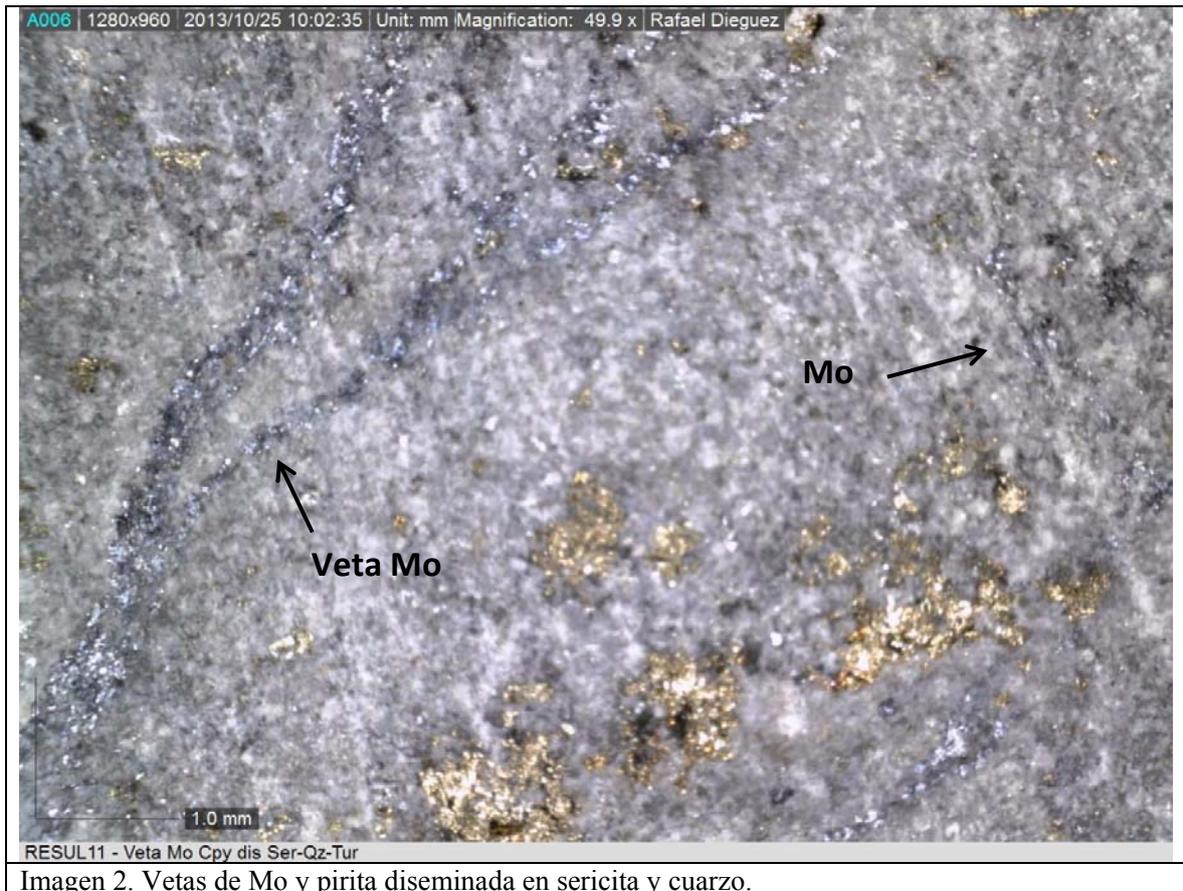
Observaciones Macroscópicas

Muestra de un clasto sericitizado de pórfido equigranular. Presenta mineralización de Mo en vetas y diseminado y pirita diseminada.



RESUL11 - Cpy-Mo diseminado Ser-Qz-Tur

Imagen 1. Pirita y molibdenita diseminadas.



Observaciones Microscópicas

Muestra con abundante sericita con menor cantidad de cristales de cuarzo, poca sericita y moscovita. La mineralización está en vetas de molibdenita y calcopirita ± bornita diseminada.

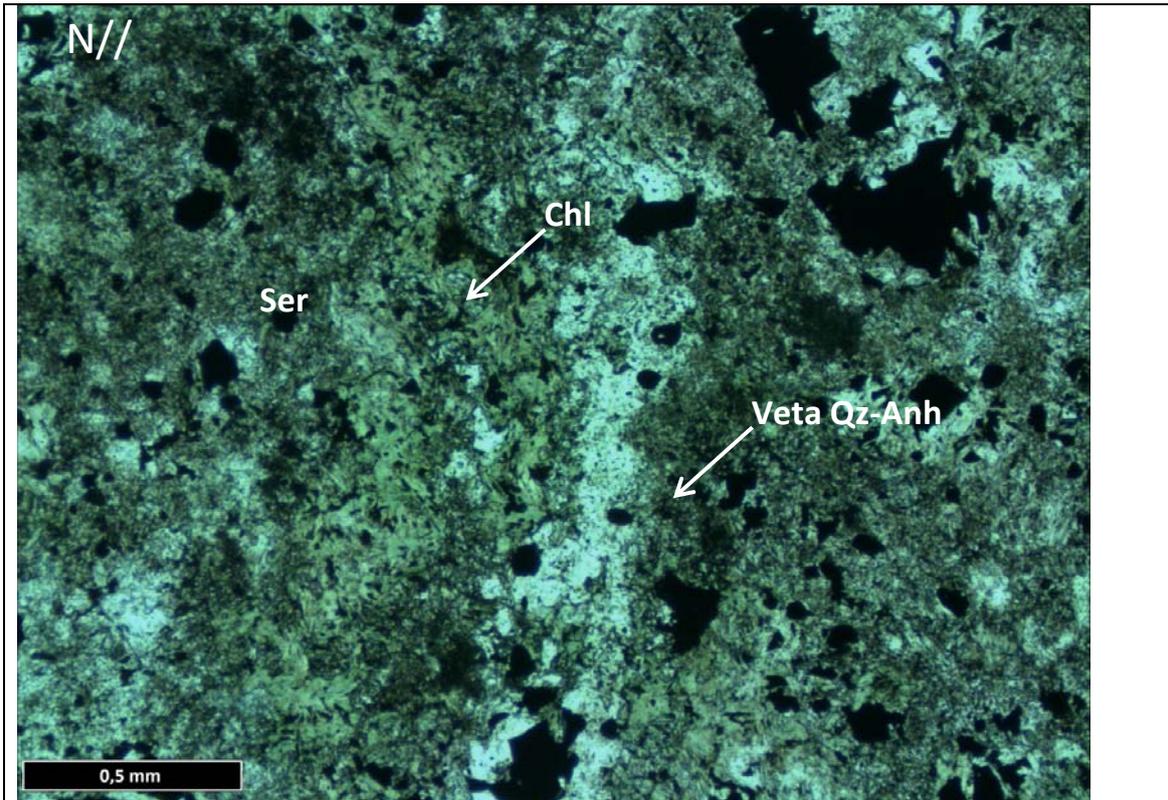


Imagen 3. Veta Qz-Anh rodeada por clorita y sericita.

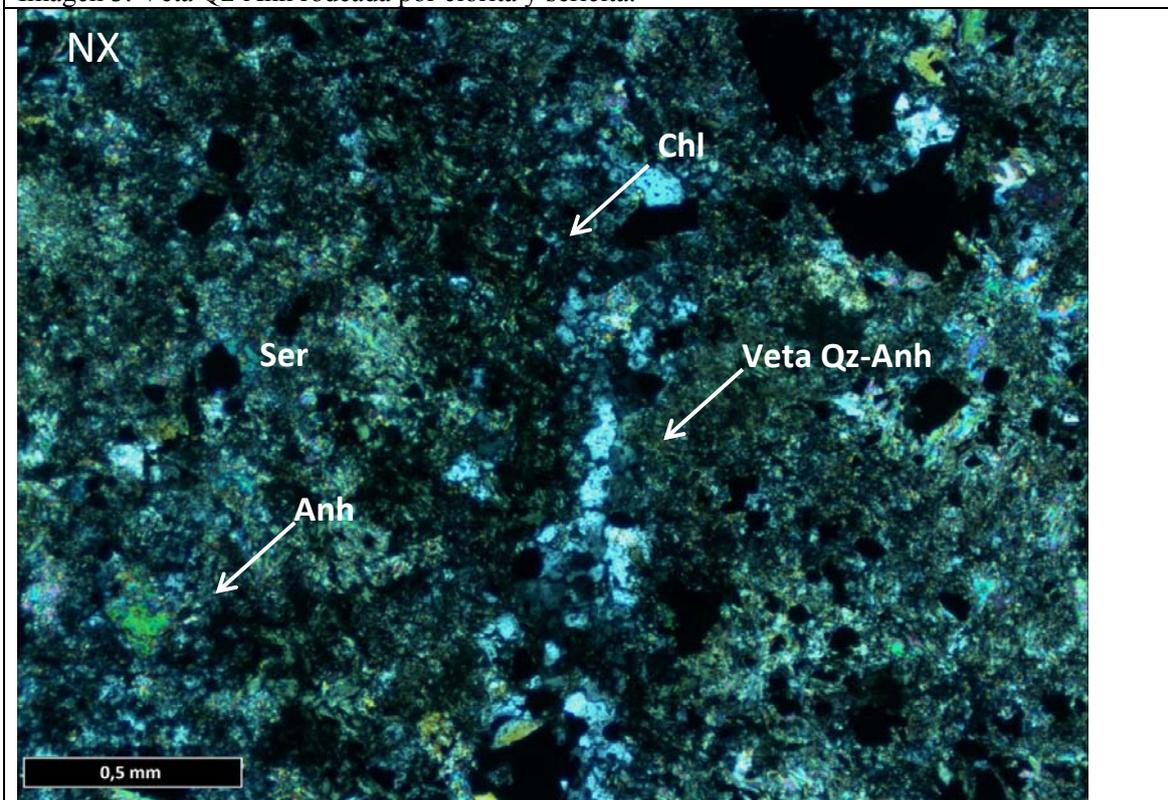


Imagen 4. Veta Qz-Anh rodeada por clorita y sericita más anhidrita.

Minerales Accesorios		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
Covelina	Traza	Cristales muy pequeños en reemplazo de bornita.
Pirita	Traza	Cristales diseminados

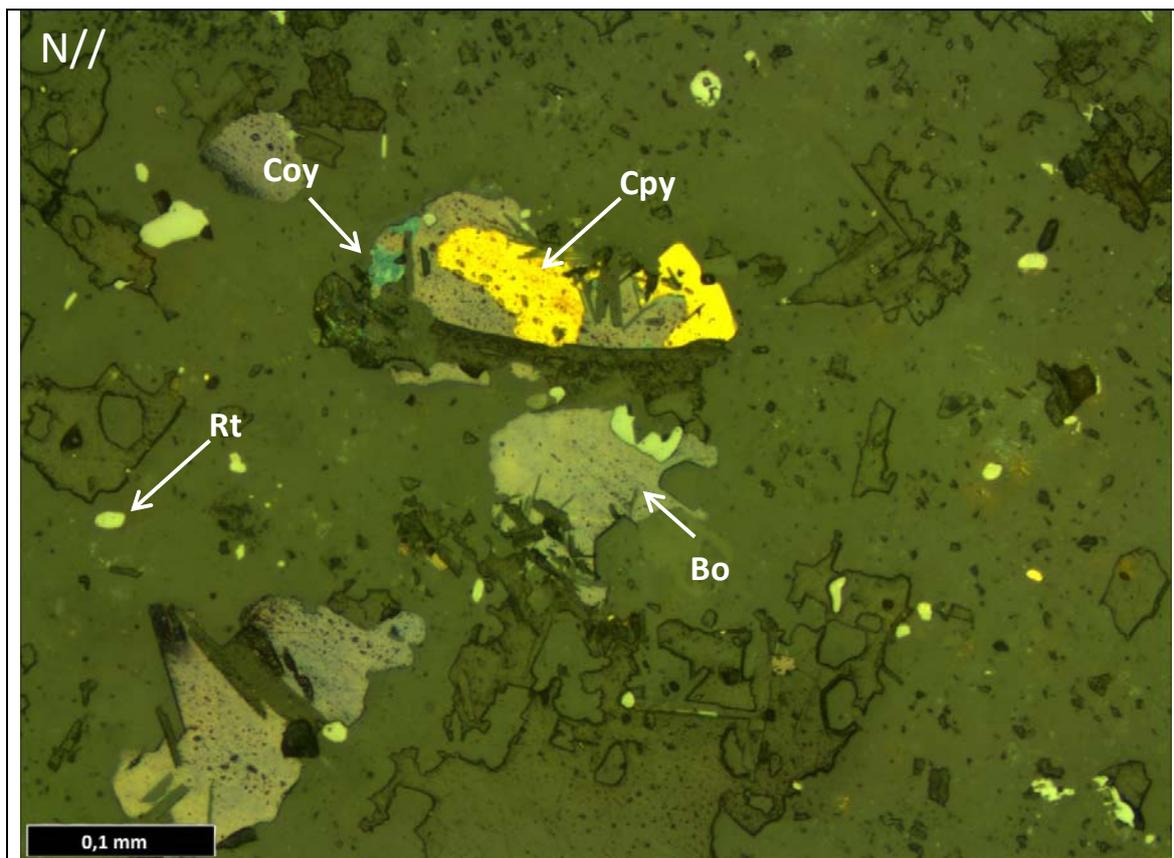


Imagen 5. Calcopirita diseminado, con borde de bornita más covelina. Rutilo diseminado.

Minerales de Alteración o Secundarios		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
Sericita	65	Masiva, alteración de feldspatos y plagioclasas.
Anhidrita	10	En vetas y diseminada
Mica Blanca Musc	2	Diseminada entre sericita
Cuarzo	20	En vetas y masivo
Clorita	2	Diseminada como halo
Rutilo	1	Diseminado en la sericita

Minerales Opacos		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
Bornita	2	Dis, como reemplazo total o parcial de calcopiritas.
Calcopirita	3	Dis. De formas variadas y tamaños entre 0,05 hasta 0,8 mm.
Molibdenita	1	En mayor proporción reutilizando debilidades (vetillas) y algunas diseminadas. EN general su tamaño va desde 0,05 a 0,15mm.
Rutilo	1	Dis. De tamaño fino 0,02 mm.

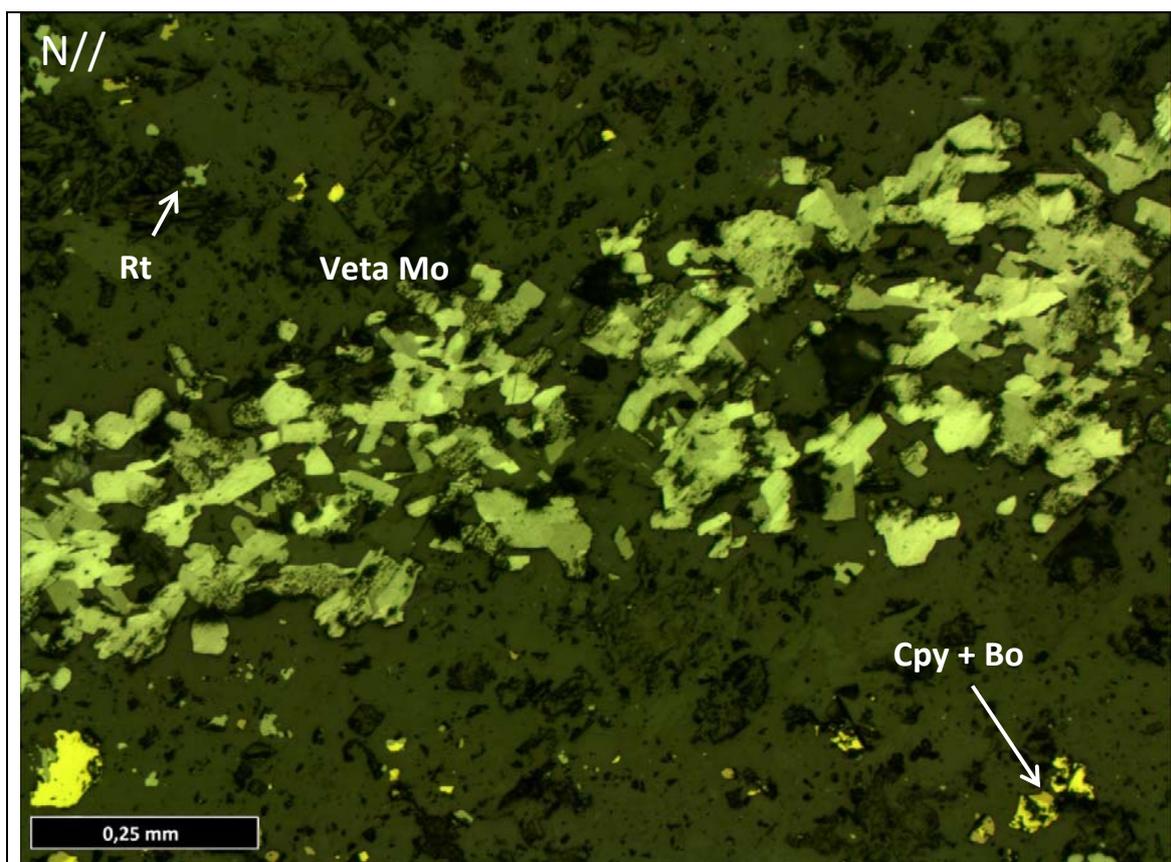


Imagen 6. Veta de molibdenita, calcopirita con borde de bornita y rutilo diseminados.

Vetillas		
Tipo/Asoc. mineral	Espesor	Ocurrencia
Qz.Anh	0,2 mm	Sinusoidales
Mo	0,1 mm	Irregulares y continuas

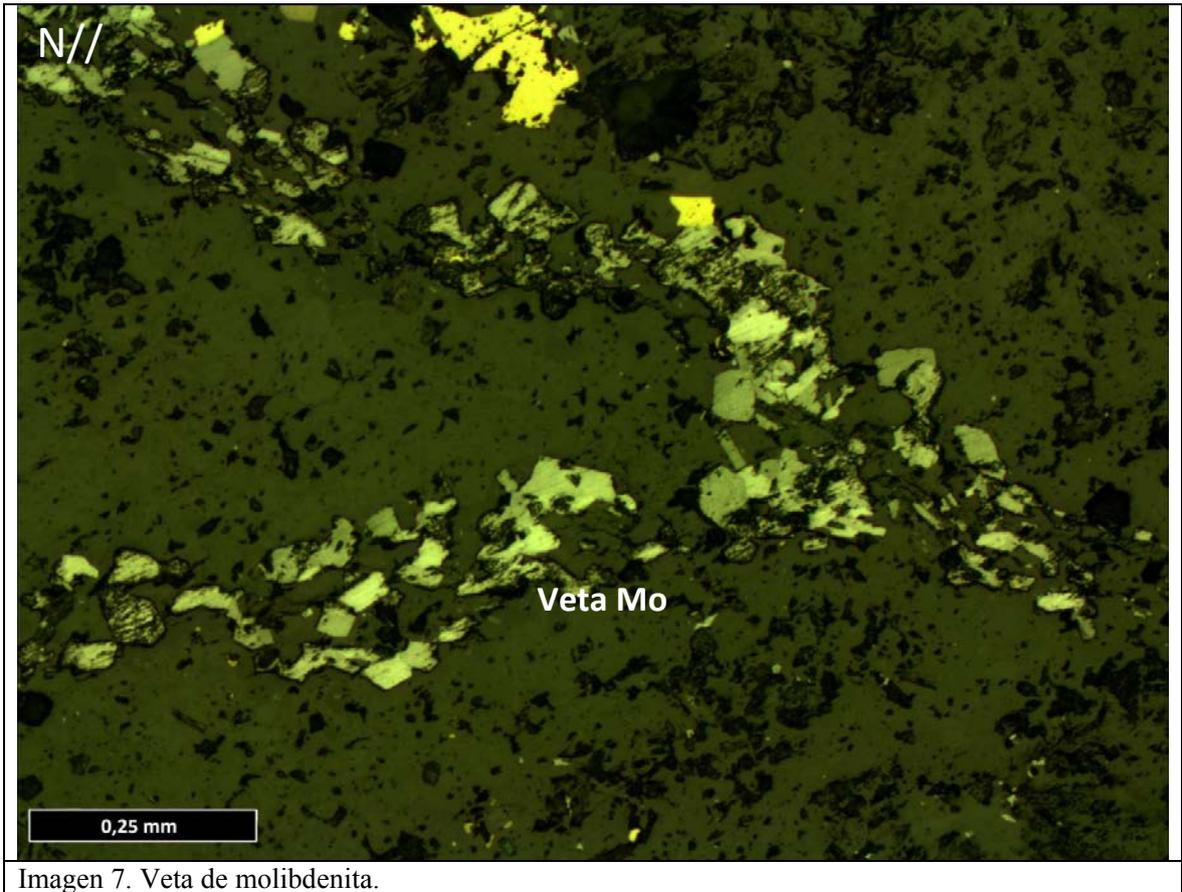


Imagen 7. Veta de molibdenita.

Fecha	Muestra
Octubre, 2013	RESUL13

Procedencia	Ubicación-Tramo	Clasificación Petrográfica
Los Sulfatos	PALSUL04 – 386,69-387,02	Cuarzomonzonita porfídica.

Observaciones Macroscópicas
Muestra con alta sericitización, con presencia de vetas de Qz-Mo, Qz y Py. Anhidrita crecida entre la masa de sericita, producto de la alteración de feldspatos y plagioclasas.



Imagen 1. Veta de Qz-Mo cortando muestra de abundante sericita. También molibdenita diseminada.



Observaciones Microscópicas

Se observa que los cristales de plagioclasa y feldespato están alterados a sericita, pero son reconocibles. Múltiples vetillas de Qz cruzan la muestra con cristales de menor tamaño. La mineralización también incluye bornita alterando a calcopirita y covelina. Quedan relictos de biotita.

Roca (Protolito)		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
Feldespato potásico	40	Intercrecido con cristales de cuarzo y plagioclasa.
Cuarzo	40	En general de 0,3 mm
Plagioclasa	20	Por la forma relictas

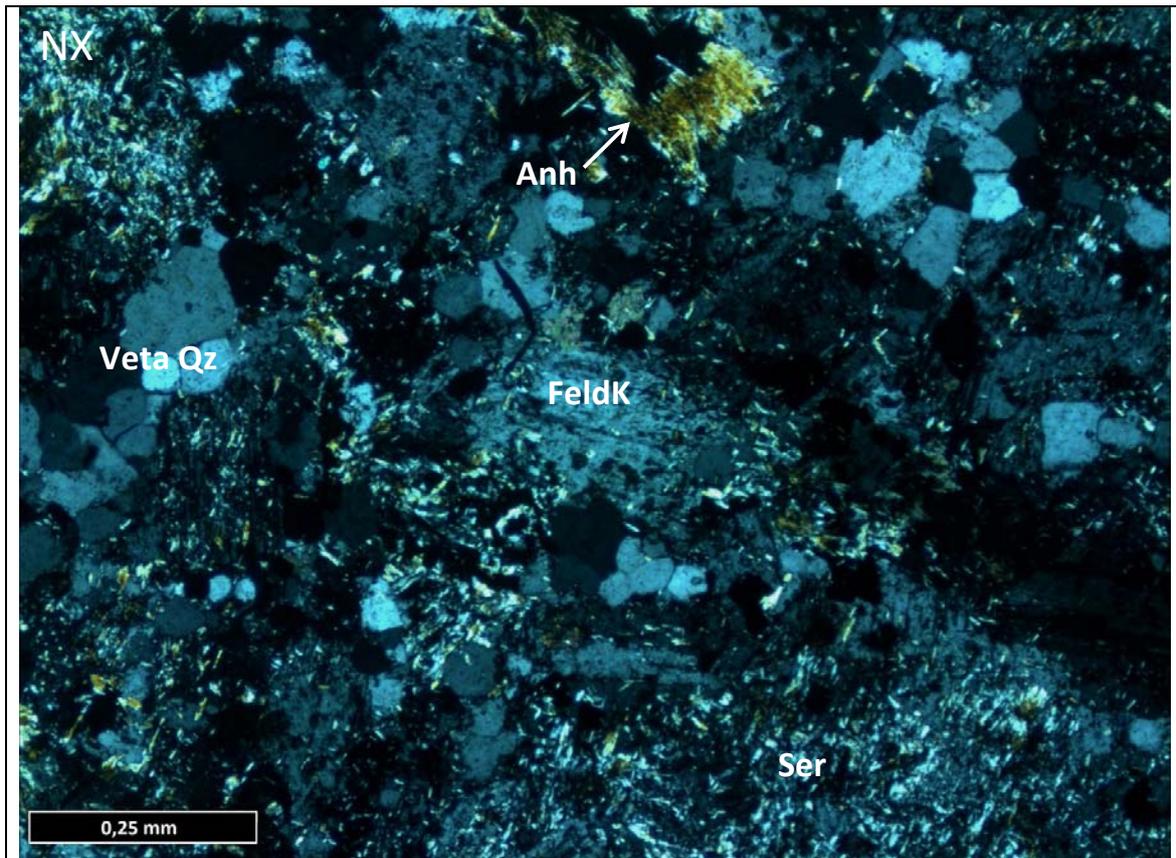


Imagen 3. Vetillas de cuarzo cortando intercrecimiento de feldespato plagioclasa y cuarzo, los dos primeros alterados a sericita.

Minerales Accesorios		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
Anhidrita	Traza	Diseminada

Minerales de Alteración o Secundarios		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
Sericita	55	Alterando a feldespatos y plagioclasa. También en vetas de Qz
Mica Blanca Musc	5	Cristales de mayor tamaño entre sericita
Cuarzo	30	De mayor tamaño 1,3 mm
Biotita	5	Entre cristales de cuarzo de mayor tamaño. Deteriorada.

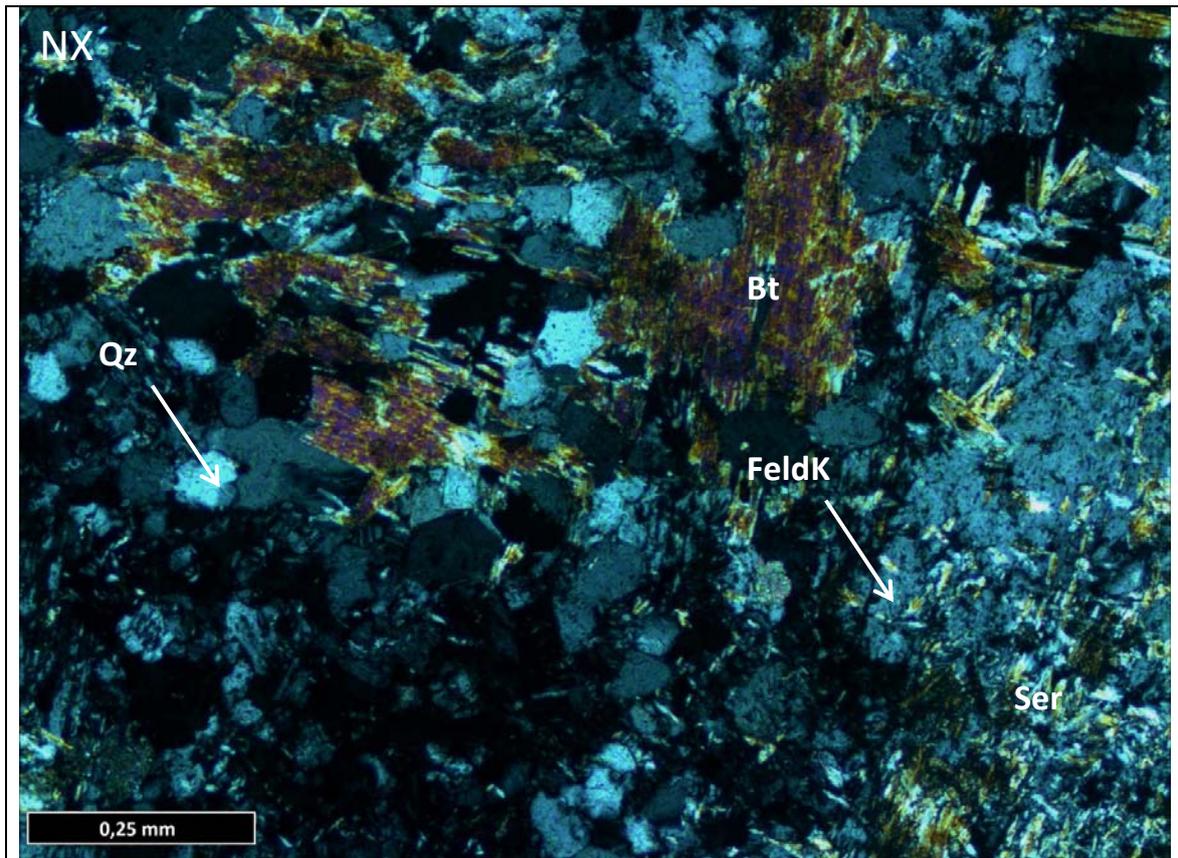


Imagen 4. Cristales de cuarzo con biotita. Cristal de feldespato alterado parcialmente a sericita.

Minerales Opacos		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
Molibdenita	5	Agregados lamelares de cristales de 0,1 a 0,4 mm
Calcopirita	1	Diseminada, con un tamaño promedio de 0,1 mm.
Bornita	Traza	Reemplazando a Cpy parcial y totalmente.

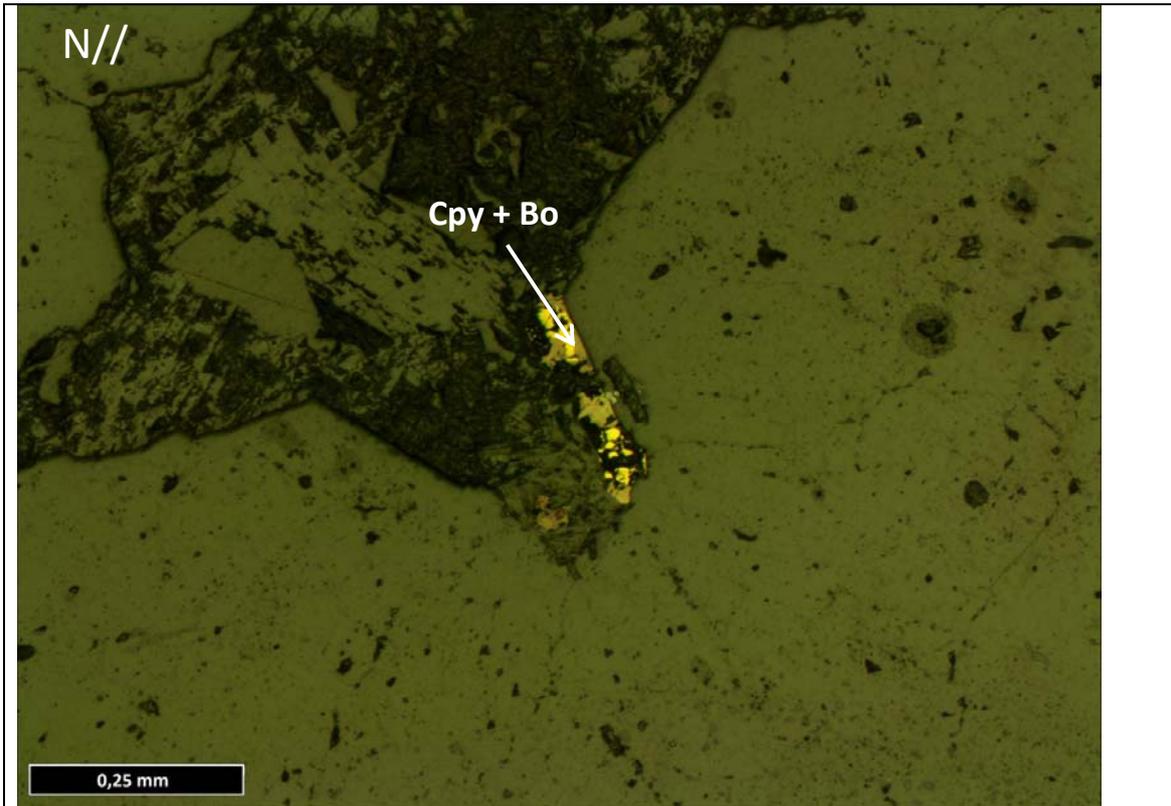


Imagen 5. Calcopirita con borde de bornita.

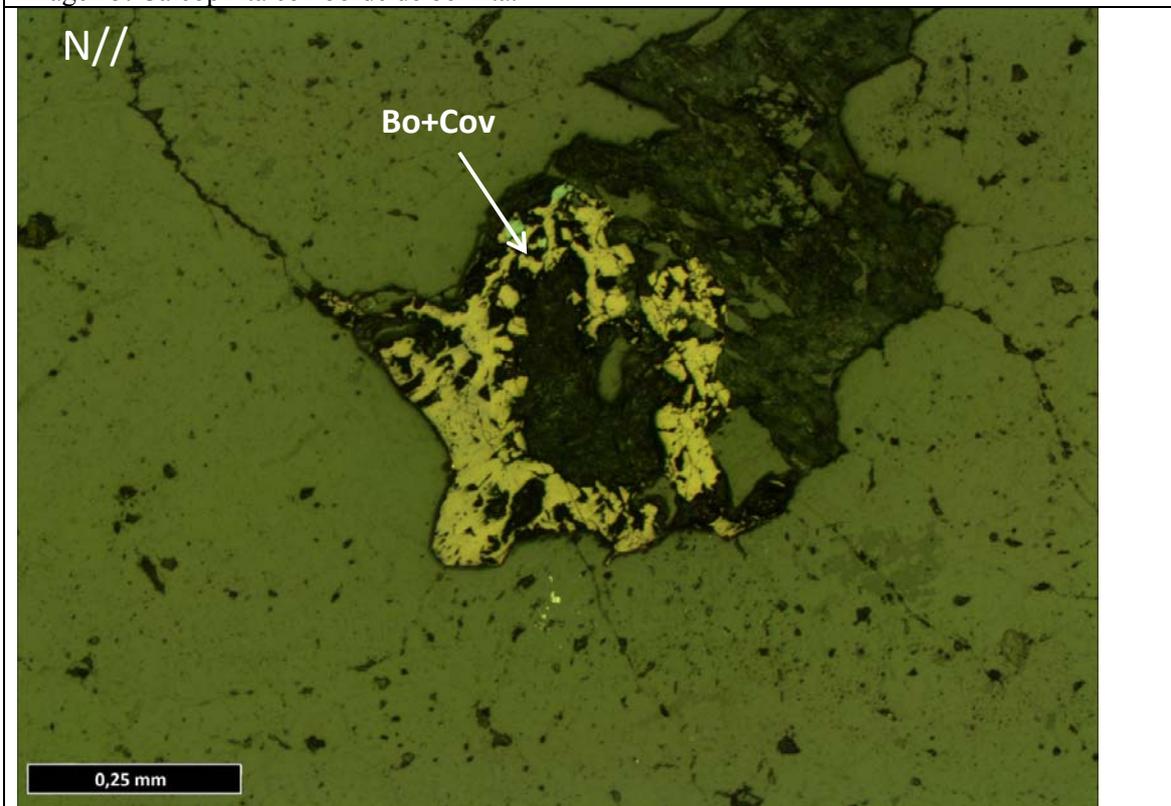


Imagen 6. Bornita con inclusión de covelina.

Vetillas		
Tipo/Asoc. mineral	Espesor	Ocurrencia
Qz-Mo	4 mm	Vetas poco distinguibles e irregulares
Qz	0,75 mm	Definidas rectas y continuas
Py	0,1 mm	Vetas discontinuas irregulares.

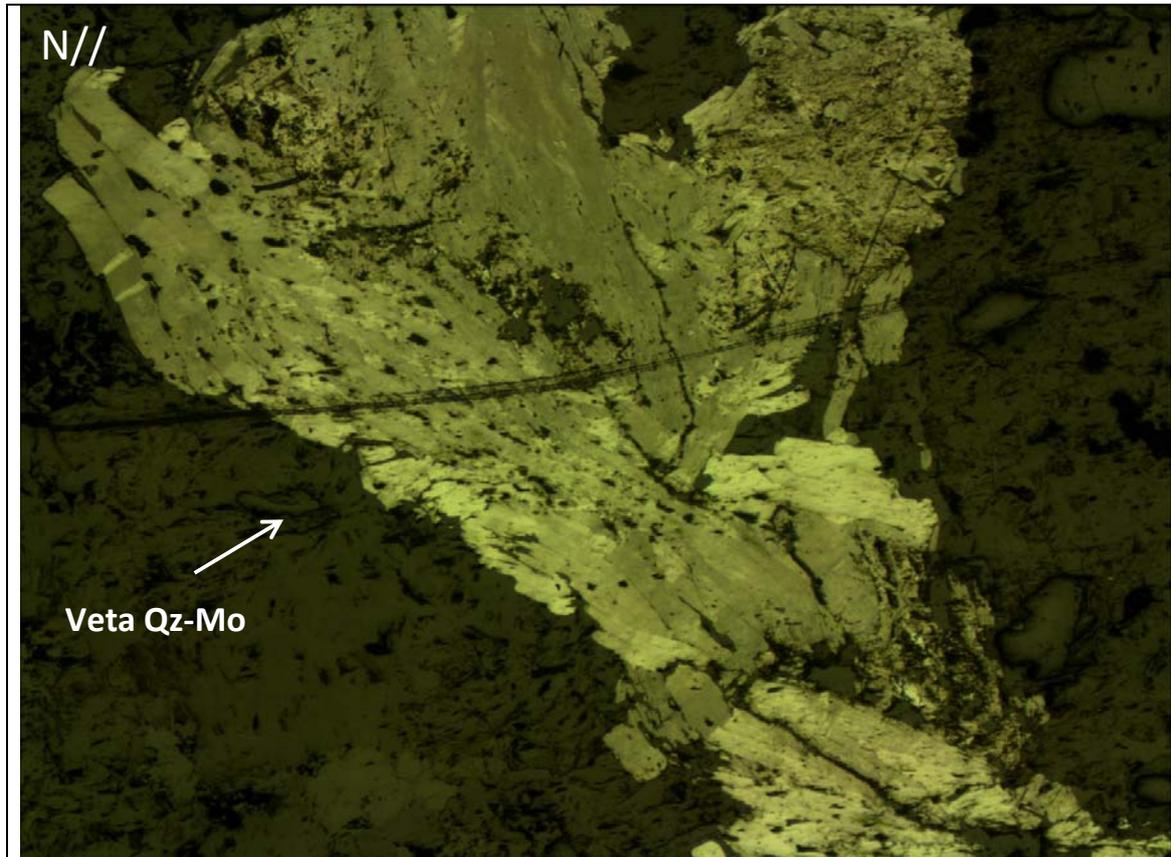


Imagen 7. Aglomerado de cristales de molibdenita.

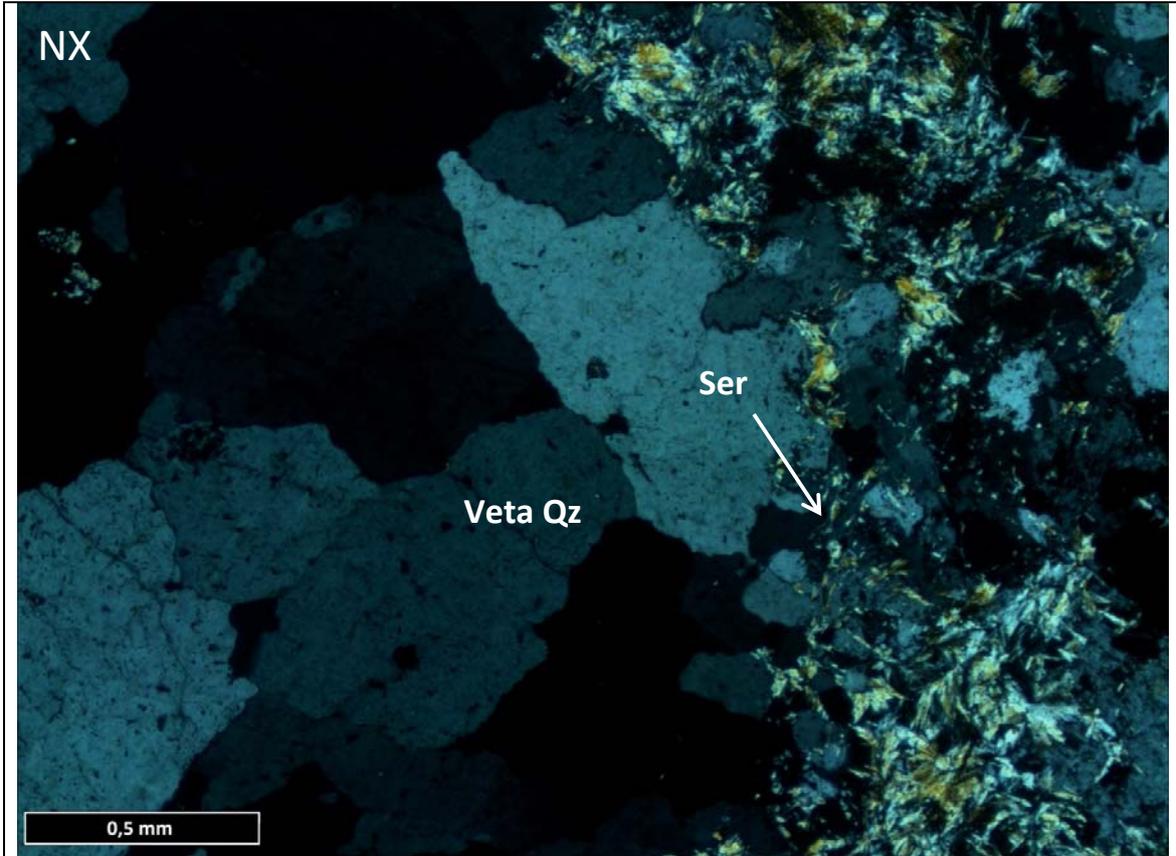


Imagen 8. Veta de Qz en contacto con intercrecimiento de cuarzo, feldespato y plagioclasas, las últimas parcialmente alteradas a sericita.

ANEXO III. METODOLOGÍA

Ubicación de secciones AA' y BB' (Coordenadas en PSAD56)

Tabla 1. Ubicación y datos de secciones AA' y BB'

Parámetro	Sección	
	AA'	BB'
Dip	89°	89°
Dip direction	235,13	235,13
N	6325334,82	6325448,768
E	384695,137	384768,138
Z	4030,38	4030,38

Difracción de Rayos X

La muestra es pesada, secada y molida en un 70% pasando por una malla de 2 mm (Tyler 9 mesh, US Std. No. 10). Se separan 250 g y se pulveriza en un 85% pasando por una malla de 75 micrones (Tyler 200 mesh, Us Std. No. 200).

Análisis Químico de la Roca

Una muestra preparada de 0.25 gr. se descompone mediante la digestión por ácido fluorhídrico (HF), ácido nítrico (HNO₃) y ácido perclórico (HClO₄). Posteriormente, el residuo se lixivia con ácido clorhídrico (HCl) diluido y el resultado diluido hasta el volumen necesario. Luego se pasa a medir la composición mediante el ICP-AES y el ICP-MS y los resultados se corrigen por la interferencia espectral interelemento.

Nota: La digestión por cuatro ácidos disuelve la mayoría de los minerales; sin embargo se usa el término “near-total” ya que según la matriz de la roca puede que no todos los elementos sean extraídos cuantitativamente.

Tabla 222. Límites de detección inferior y superior para cada elemento en la metodología ME-MS61.

Elemento	Simbolo	Unidad	Inferior	Superior
Plata	Ag	ppm	0.01	100
Aluminio	Al	%	0.01	50
Arsenico	As	ppm	0.2	10000
Bario	Ba	ppm	10	10000
Berilio	Be	ppm	0.05	1000
Bismuto	Bi	ppm	0.01	10000
Calcio	Ca	%	0.01	50
Cadmio	Cd	ppm	0.02	1000

Elemento	Simbolo	Unidad	Inferior	Superior
Cerio	Ce	ppm	0.01	500
Cobalto	Co	ppm	0.1	10000
Cromo	Cr	ppm	1	10000
Cesio	Cs	ppm	0.05	500
Cubore	Cu	ppm	0.2	10000
Hierro	Fe	%	0.01	50
Galio	Ga	ppm	0.05	10000
Germanio	Ge	ppm	0.05	500
Hafnio	Hf	ppm	0.1	500
Indio	In	ppm	0.005	500
Potasio	K	%	0.01	10
Lantano	La	ppm	0.5	10000
Litio	Li	ppm	0.2	10000
Magnesio	Mg	%	0.01	50
Elemento	Simbolo	Unidad	Inferior	Superior
Manganeso	Mn	ppm	5	100
Molibdeno	Mo	ppm	0.05	10000
Sodio	Na	%	0.01	10
Niobio	Nb	ppm	0.1	500
Nickel	Ni	ppm	0.2	10000
Fósforo	P	ppm	10	10000
Plomo	Pb	ppm	0.5	10000
Rubidio	Rb	ppm	0.1	10000
Renio	Re	ppm	0.002	50
Azufre	S	%	0.01	10
Antimonio	Sb	ppm	0.05	10000
Escandio	Sc	ppm	0.1	10000
Selenio	Se	ppm	1	1000
Estaño	Sn	ppm	0.2	500
Estroncio	Sr	ppm	0.2	10000
Tantalio	Ta	ppm	0.05	100
Telurio	Te	ppm	0.05	500
Torio	Th	ppm	0.2	10000
Titanio	Ti	%	0.005	10
Talio	Tl	ppm	0.02	10000
Uranio	U	ppm	0.1	10000
Vanadio	V	ppm	1	10000
Tungsteno	W	ppm	0.1	10000
Itrio	Y	ppm	0.1	500
Zinc	Zn	ppm	2	10000
Zirconio	Zr	ppm	0.5	500

Análisis Químico de las Molibdenitas

Ultratrace 3 es una combinación de nuestro procedimiento de 1H (INAA y digestión multiácido para ICP) combinado con ICP / MS en la misma solución que se usa para ICP-OES. Algunos elementos reportados por ICP / MS se duplican por INAA e indican el grado de disolución ya que ciertos elementos residen en fases muy resistentes como el circón, monacita, titanita, xenotima, cromita, barita, etc., que no pueden ser totalmente disueltos con ningún ácido. Para asegurar la completa disolución sugerimos a nuestros paquetes de grupo Código 4. El ICP / MS utilizado para este paquete es un Perkin Elmer - SCIEX ELAN 6000.

Porción INAA

Una alícuota de 30 gr, si está disponible, se encapsula en un vial de polietileno y se irradia con alambres de flujo y un patrón interno (1 para 11 muestras) a un flujo térmico de neutrones de $7 \times 10^{12} \text{ n cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Después de un decaimiento de 7 días para permitir que Na-24 decaiga las muestras se cuantifican en un detector de Ge de alta pureza con una resolución mejor que 1,7 KeV para el 1332 KeV Co- 60 *photopeak* (fotopico). Utilizando los cables de flujo, las correcciones hechas por actividades de desintegración se comparan con una calibración desarrollada a partir de múltiples materiales de referencia certificados internacionalmente. La presente norma sólo es un chequeo en la precisión y no se utiliza para fines de calibración. De 10 a 30 % de las muestras se verificó con una nueva medición.

Una norma es ejecutada cada 11 muestras. Una muestra de blanco es analizada por lote. Se analizan duplicados cuando se proporcionan las muestras.

Más detalles están disponibles sobre isótopos y energías de rayos gamma utilizados en Hoffman, E.L., 1992.

Digestión Total - ICP

Una muestra de 0,25 gr. se disuelve con cuatro ácidos que comienzan con fluorhídrico, seguido de una mezcla de ácidos nítrico y perclórico, se calienta usando preciso calentamiento controlado programado aguantando hasta la sequedad incipiente. Después de que se alcanza la sequedad incipiente, las muestras son llevadas de vuelta a la solución utilizando agua regia.

Con esta digestión, ciertas fases pueden ser sólo parcialmente solubilizadas. Entre estas fases están el circón, monacita, titanita, gahnita, cromita, casiterita, rutilo y barita. Ag mayor que 100 ppm y Pb mayor que 5000 ppm debe ser ensayada como niveles altos que no pueden solubilizarse. Solo sulfuros pueden solubilizarse.

A continuación las muestras se analizaron utilizando un Varian ICP. Control de calidad para la digestión es del 14% para cada lote, 5 blancos de reactivo método, 10 controles internos, 10 muestras de duplicados y 8 materiales de referencia certificados. Un 13 % adicional de control de calidad se lleva a cabo como parte del análisis instrumental para asegurar la calidad en las áreas del error instrumental.

Digestión Total - ICP/MS

Elementos adicionales son determinados por ICP/MS en la solución de análisis multiácido anterior. Las muestras se diluyen y se analizan en un Perkin Elmer Sciex ELAN 6000, 6100 o 9000 ICP/MS. Un espacio en blanco es ejecutado por cada 40 muestras. Dentro de la caseta de control se ejecuta cada 20 muestras. Normas digeridas se pasan cada 80 muestras. Después de cada 15 muestras, se analiza un duplicado de la digestión. El instrumento se vuelve a calibrar cada 80 muestras.

Tabla 3. Límites de detección para la metodología Ultratrace 3 de Actlabs.

Elemento	Inferior	Superior	Reportado	Elemento	Inferior	Superior	Reportado
Ag	0.05	100	INAA,ICP & ICP/MS	Mn	1	100	ICP
Al	0.01%	-	ICP	Mo	1	10	ICP
As	0.5	100	INAA	Na	0.01%	-	INAA
Au	2 ppb	30,000 ppb	INAA	Nb	0.1	500	ICP/MS
Ba	1	-	INAA&IC P	Nd	0.1	-	ICP/MS
Be	0.1	10	ICP&ICP/MS	Ni	0.5	100	INAA,ICP & ICP/MS
Bi	0.1	10	ICP&ICP/MS	P	0.001%	-	ICP
Br	0.5	-	INAA	Pb	0.5	5	ICP&ICP/MS
Ca	0.01%	70%	ICP	Pr	0.1	-	ICP/MS
Cd	0.1	2	ICP&ICP/MS	Rb	0.2	-	INAA&ICP/MS
Ce	0.1	10	ICP/MS	Re	0.001	100	ICP/MS
Co	0.1	5	INAA&IC P/MS	S	0.01%	20%	ICP
Cr	1	10	INAA&IC P/MS	Sb	0.1	10	INAA
Cs	0.05	-	INAA&IC P/MS	Sc	0.1	-	INAA
Cu	0.2	10	ICP&ICP/MS	Se	0.1	-	INAA&ICP/MS
Dy	0.1	-	ICP/MS	Sm	0.1	-	ICP/MS
Er	0.1	-	ICP/MS	Sn	1	200	ICP/MS
Eu	0.05	100	ICP/MS	Sr	0.2	1	ICP/MS
Fe	0.01%	-	INAA	Ta	0.1	-	INAA&ICP/MS
Ga	0.1	500	ICP/MS	Tb	0.1	100	ICP/MS
Gd	0.1	-	ICP/MS	Te	0.1	500	ICP/MS
Ge	0.1	500	ICP/MS	Th	0.1	-	INAA&ICP/MS
Hf	0.1	500	ICP/MS	Tl	0.05	500	ICP/MS
Hg	1	-	INAA	Ti	0.01%	-	ICP
Ho	0.1	-	ICP/MS	Tm	0.1	-	ICP/MS

Elemento	Inferior	Superior	Reportado	Elemento	Inferior	Superior	Reportado
In	0.1	100	ICP/MS	U	0.1	10	INAA&ICP/MS
Ir	5 ppb	10,000 ppb	INAA	V	2	10	ICP
K	0.01%	-	ICP	W	1	10	INAA
La	0.1	10	ICP/MS	Y	0.1	-	ICP/MS
Li	0.5	-	ICP/MS	Yb	0.1	200	ICP/MS
Lu	0.1	100	ICP/MS	Zn	0.5	100	INAA,ICP &ICP/MS
Mg	0.01%	-	ICP	Zr	1	5	ICP/MS

Datación Re-Os

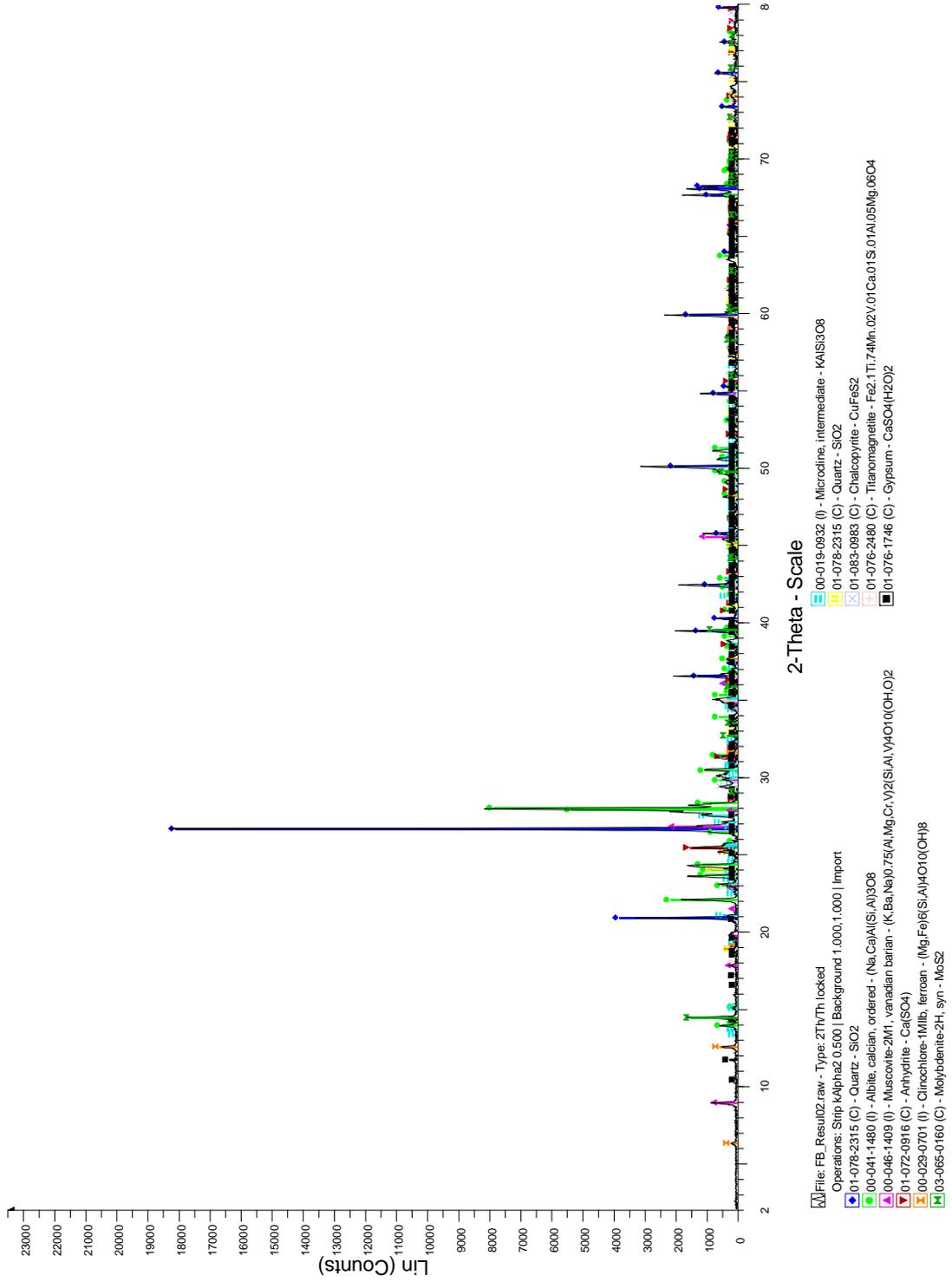
Separación del mineral: la molibdenita se obtuvo mediante las técnicas tradicionales (trituration, separación magnética FRANTZ y líquidos pesados).

Análisis: en primera instancia, para la geoquímica se usó una fracción pequeña de muestra (1 mg.) para revisar el contenido de Re en las molibdenitas, proceso crítico para establecer la cantidad de solución trazadora requerida. Típicamente la abundancia del Re en la molibdenita es superior a 10 ppm. El análisis completo de Re y Os en molibdenita se realizó a partir de una alícuota del mineral. Esta se puso en una mezcla de HCl y HNO₃ (4 ml.) la que contiene una solución trazadora de ¹⁸⁵Re y ¹⁸⁸Os + ¹⁹⁰Os en tubo sellado a 220°C durante 24 horas. El osmio fue purificado del medio ácido usando extracción por disolvente (CHCl₃) y técnicas de microdestilación, con el Re separado por cromatografía de aniones. Las fracciones de Re y Os fueron analizadas para medir su abundancia isotópica mediante *Thermal ionisation mass spectrometry* (TRITON) en modo negativo. La composición isotópica es corregida por fraccionamiento y óxidos antes de determinar las abundancias de Re y Os para el modelo de edades Re-Os. Toda la información es corregida por el blanco (corrección despreciable; ~0.5 pgr/gr Os; ¹⁸⁷Os/¹⁸⁸Os = 0.25; 6 pgr/gr Re). Los estándares usados compatibilizan de manera excelente con los datos recopilados (Markey et al. 2007; Porter et al. 2010).

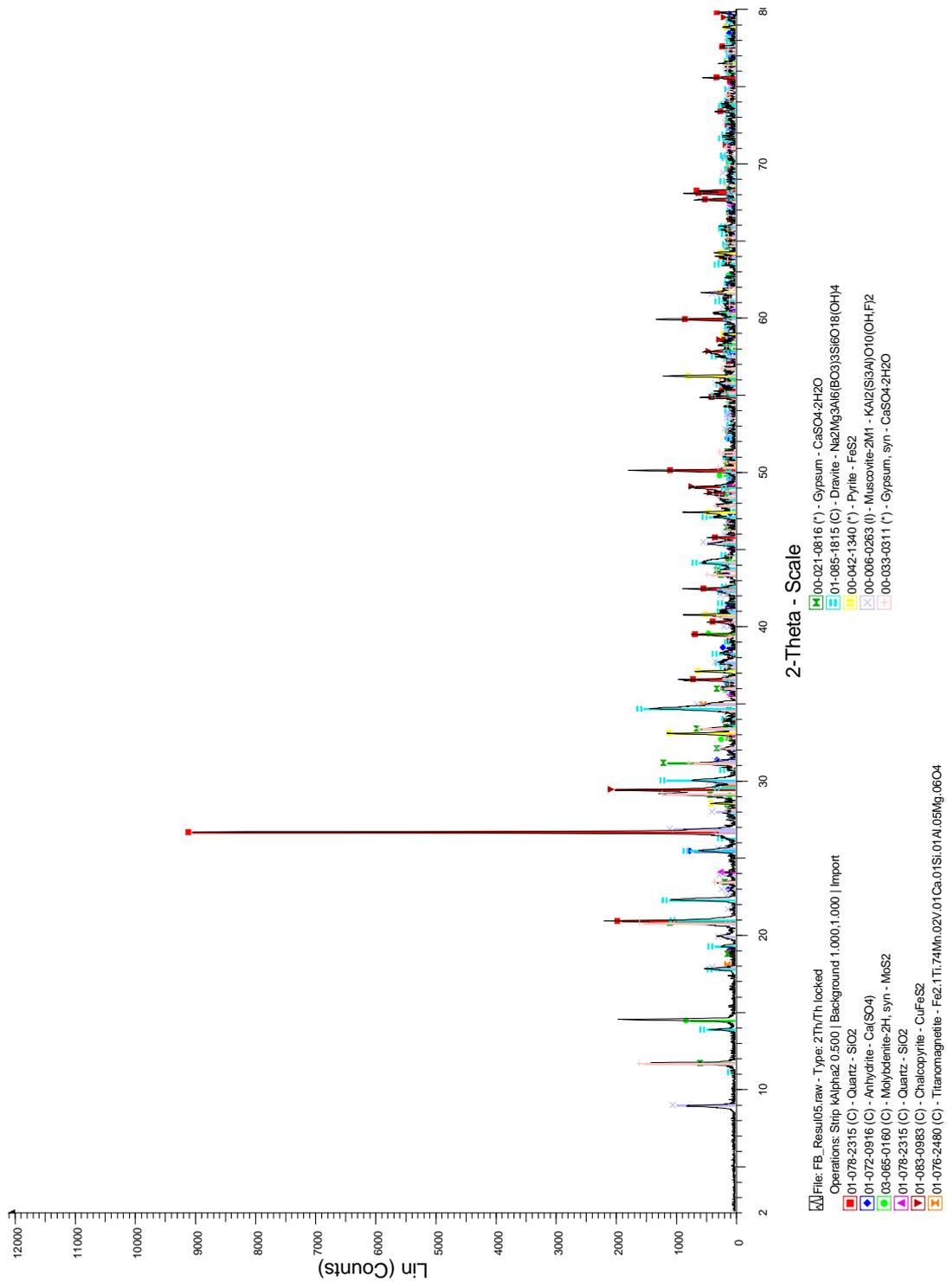
ANEXO IV. RESULTADOS

Difracción de Rayos X (Gráficos de peaks característicos para cada mineral)

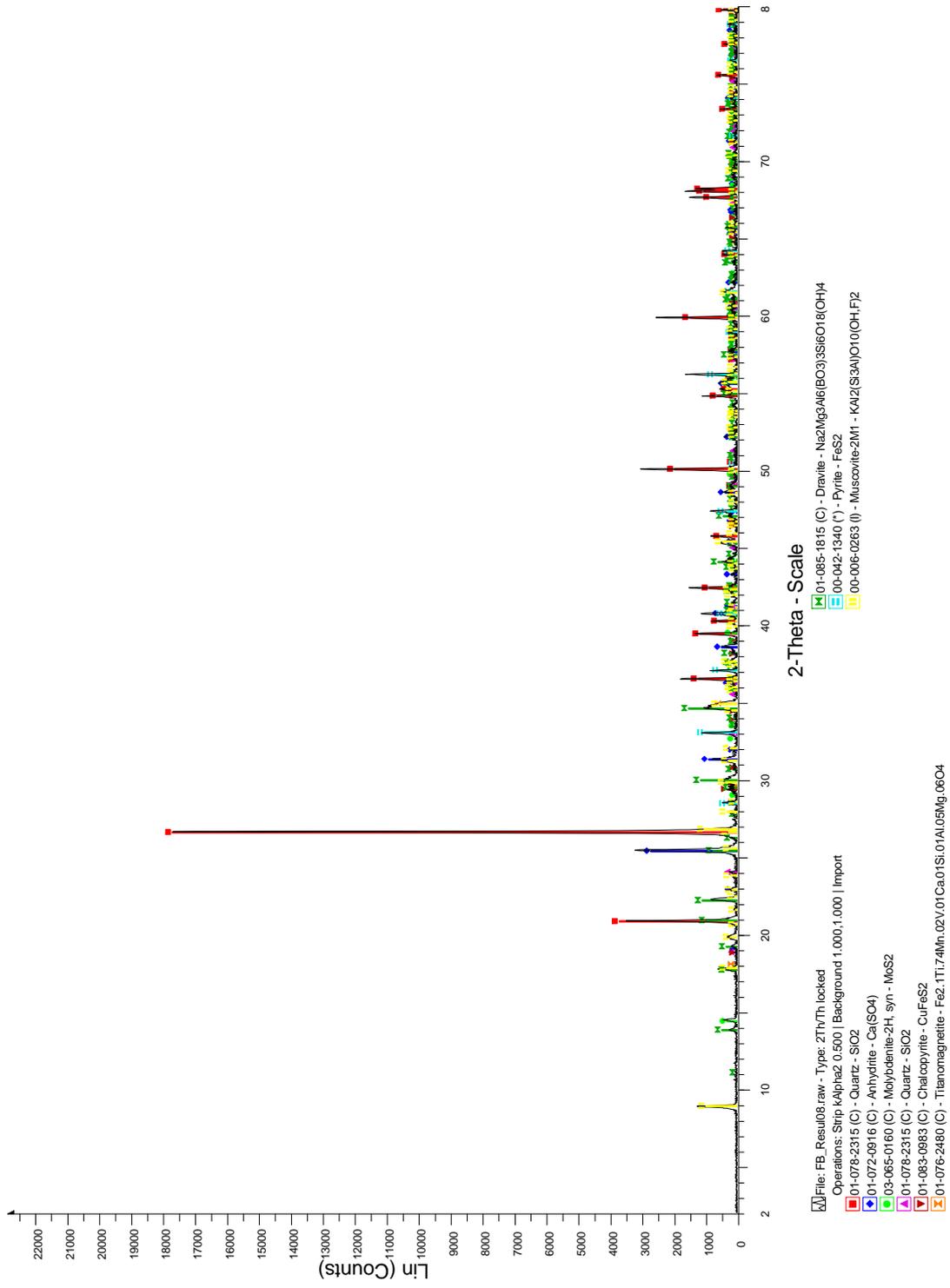
Resul02



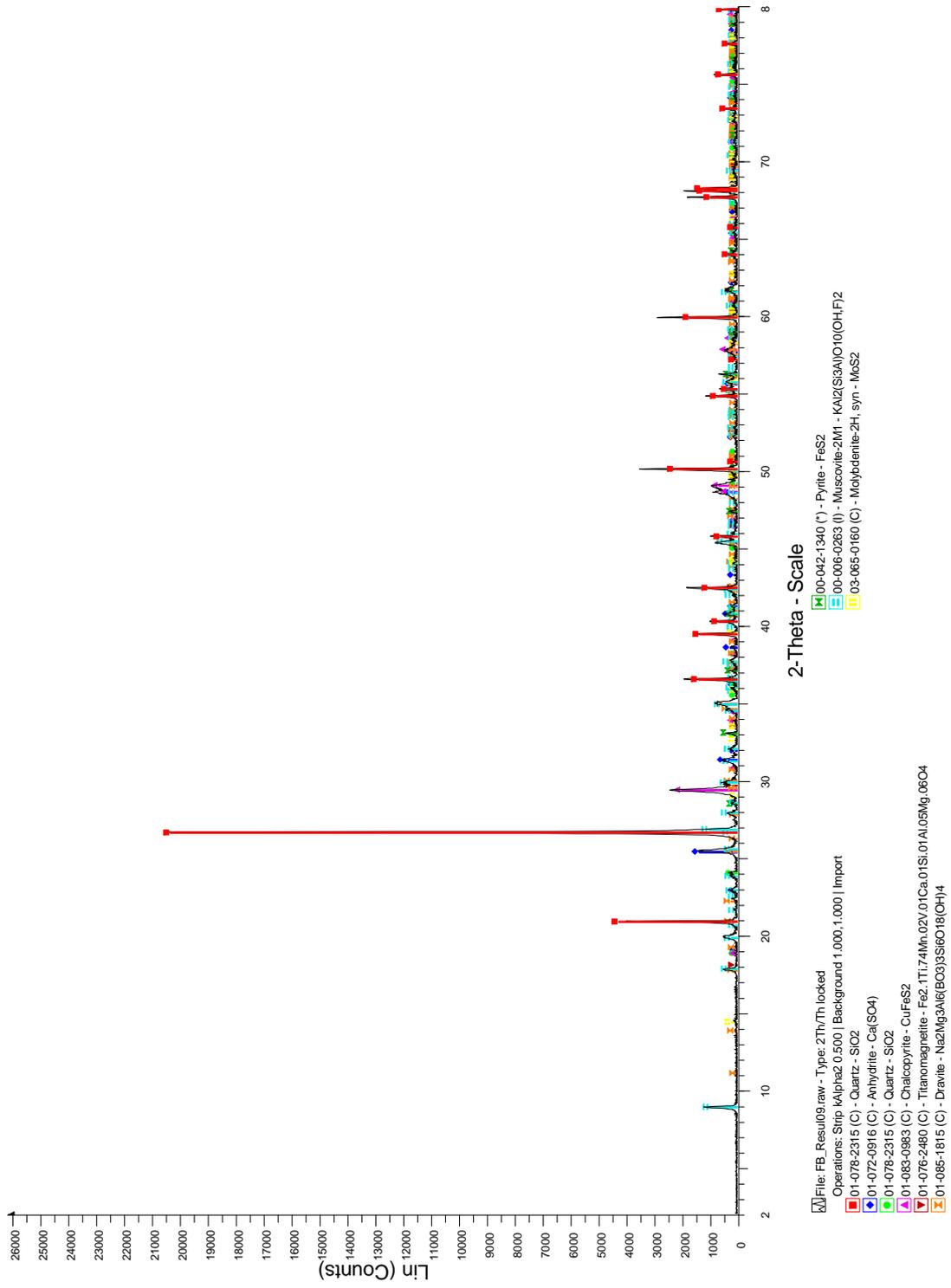
Resul05



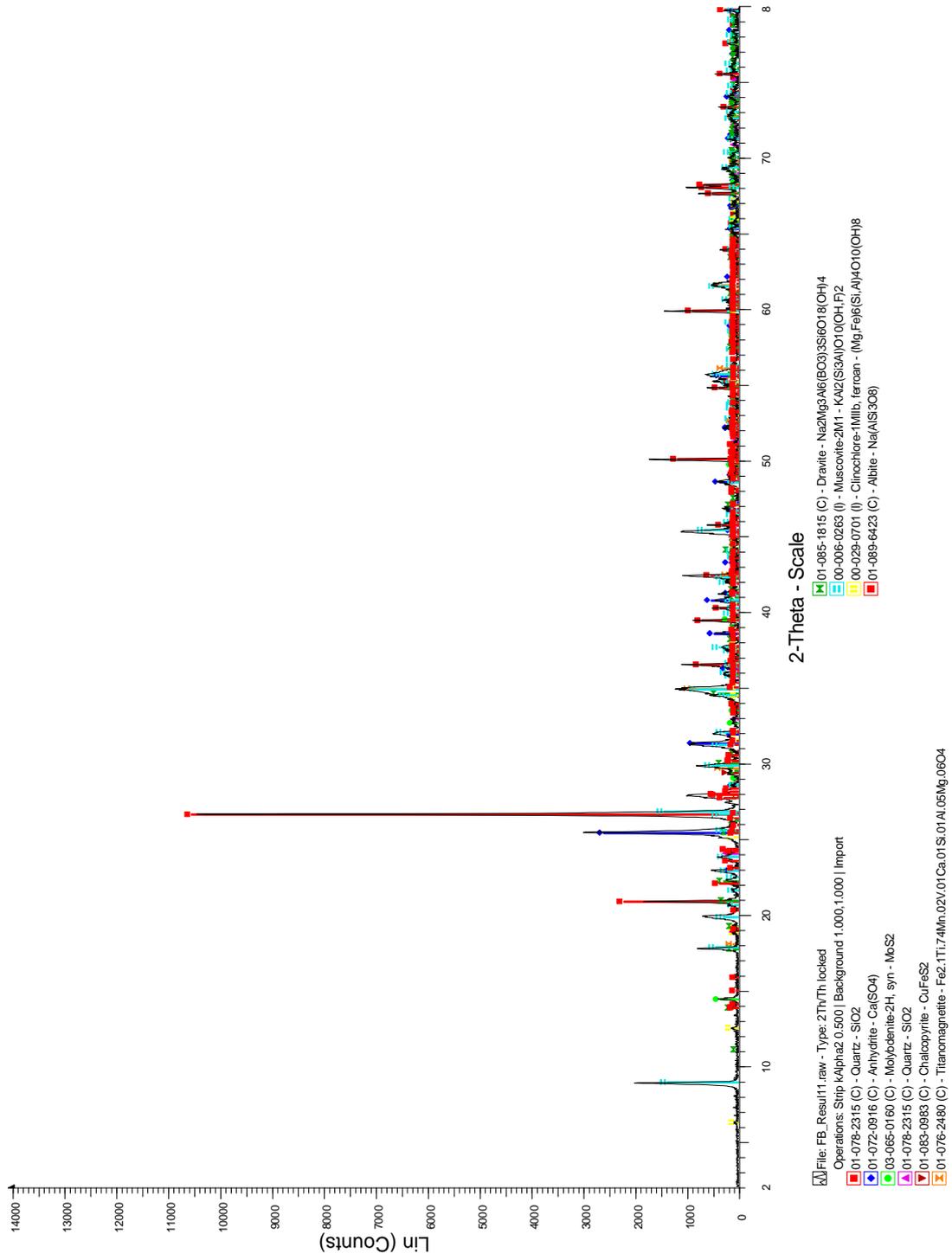
Resul08



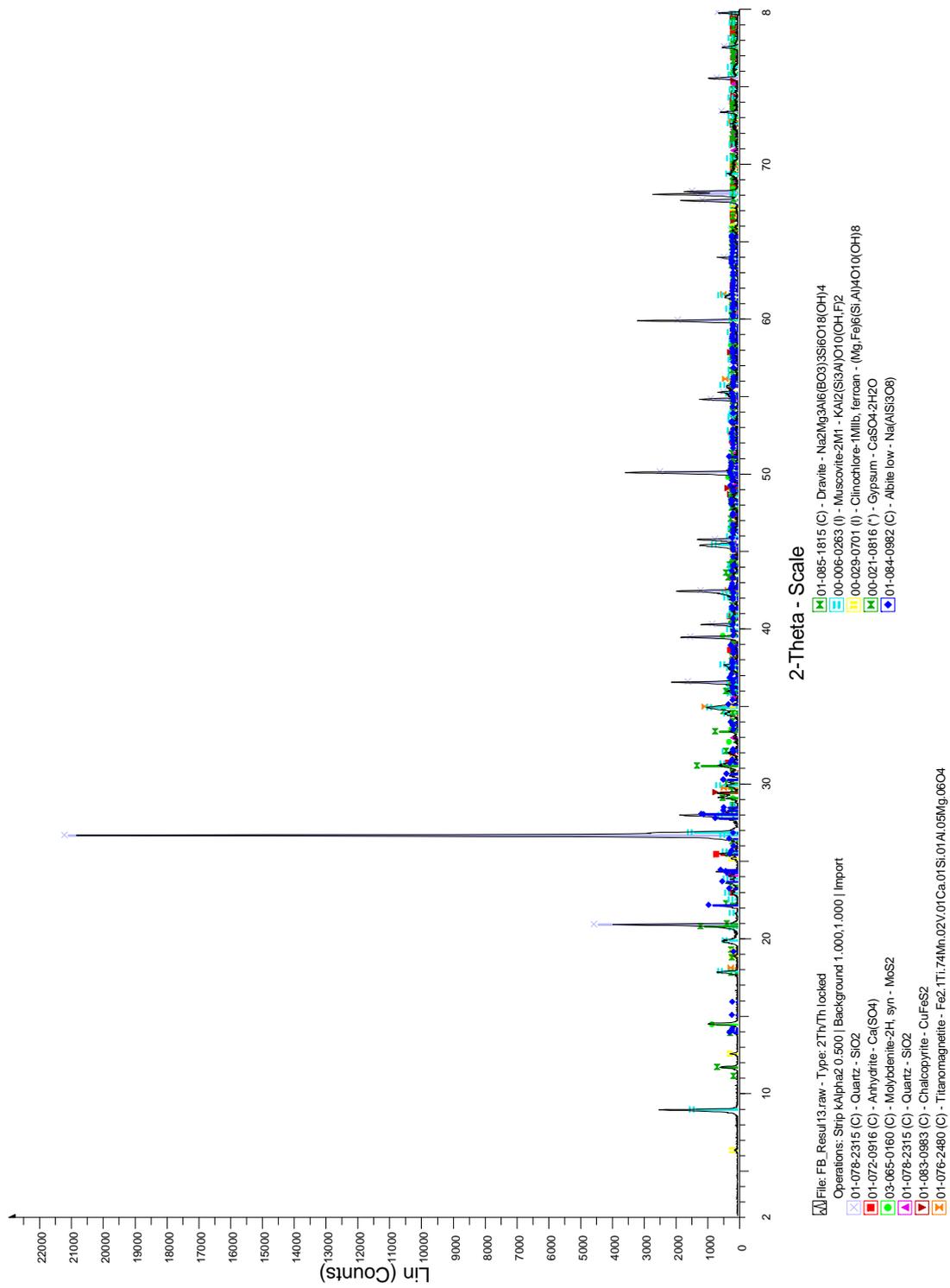
Resul09



Result11



Result13



Datación Re-Os

Tabla 4. Detalle de resultados de geocronología Re-Os.

Muestra	gramos	Re [ppm]	±	187Re [ppm]	±	187Os [ppb]	±	Edad [Ma]	±
RESUL_02	0,0100	354,0	1,9	222,5	1,2	26,3	0,1	7,08	0,02
RESUL_03	0,0097	968,9	5,1	609,0	3,2	72,3	0,8	7,13	0,08
RESUL_10	0,0098	161,5	0,9	101,5	0,5	11,3	0,2	6,68	0,13
RESUL_11	0,0102	699,1	3,6	439,4	2,3	46,8	0,4	6,40	0,06



Imagen 1. Muestra RESUL02.



Imagen 2. Muestra RESUL03.



Imagen 3. Muestra RESUL10.



Imagen 4. Muestra RESUL11.

Datos de Re y Mo de muestras de pulpa

Tabla 5. Tabla con las concentraciones de Re y Mo para las pulpas.

Muestra	Lit.	Alt.	Re [ppm]	Mo [ppm]	Muestra	Lito.	Alt.	Re [ppm]	Mo [ppm]
REBL002	BXT	SET	0,019	24,3	REBL044	BXM	SE	0,138	67,6
REBL003	BXT	SE	0,028	36,3	REBL045	PPM	SE	0,14	61,9
REBL004	PIT	SE	0,04	38,9	REBL046	BXM	SE	0,044	45
REBL005	BXT	SE	0,098	47	REBL047	PIT	BT	0,009	4,86
REBL006	BXT	SE	0,115	94,3	REBL048	PIT	BT	0,057	18
REBL007	PIT	SET	0,048	43	REBL049	BXT	SET	0,305	370
REBL008	PIT	SET	0,451	385	REBL050	BXT	AR	0,272	321
REBL009	PIT	K	0,039	51,3	REBL051	AND	SET	0,164	86
REBL010	PIT	SET	0,262	150	REBL053	AND	BT	0,445	175
REBL011	BXM	BT	0,1	95,1	REBL054	AND	BT	0,114	54,6
REBL013	PIT	SET	0,088	156	REBL055	AND	BT	0,354	107,5
REBL014	AND	SE	0,137	359	REBL056	AND	BT	0,044	22,2
REBL015	PIT	SE	0,119	66,6	REBL057	PIT	BT	0,072	43
REBL016	AND	SE	0,041	30,6	REBL058	BXT	SET	0,049	27,6
REBL017	PIP	K	0,155	53,3	REBL059	PIT	K	0,08	36,2
REBL018	BXM	BT	0,704	154	REBL060	PIT	K	0,124	100,5
REBL019	BXM	BT	1,135	214	REBL061	PIT	K	0,036	49,6
REBL020	PIT	SE	0,027	23	REBL062	PIT	K	0,094	108,5
REBL021	PIP	SE	0,104	78,8	REBL064	PIT	K	0,01	22,5
REBL023	PIP	SE	0,459	304	REBL065	PIT	K	0,075	361
REBL024	AND	SE	0,423	151	REBL066	PIT	K	0,051	198
REBL025	PIP	K	0,262	150,5	REBL067	PIT	BT	0,12	208
REBL026	BXT	SET	0,104	95,4	REBL068	PIT	K	0,066	140
REBL027	BXT	SE	0,314	267	REBL069	BXM	BT	0,126	276
REBL028	AND	SET	0,855	488	REBL070	AND	BT	0,081	160
REBL029	AND	SET	0,074	64,2	REBL071	PIP	K	0,023	39,8
REBL031	AND	SET	0,182	178,5	REBL072	PIP	K	0,054	29,1
REBL032	AND	SE	0,429	434	REBL073	PIP	K	0,073	44
REBL033	PIP	SE	0,052	40,7	REBL075	PIP	K	0,022	16,5
REBL034	PIP	SE	0,299	108,5	REBL076	PPM	K	0,007	2,9
REBL035	PIP	SE	0,067	80,8	REBL077	PIP	K	0,042	23,3
REBL036	PIP	SE	0,264	335	REBL078	PIT	AR	0,006	12,6
REBL037	PIP	BT	0,008	39,9	REBL079	BXT	AR	0,066	44,6
REBL038	PIP	BT	0,145	583	REBL080	PPM	AR	0,016	12,95
REBL039	PIP	BT	0,046	144,5	REBL081	PPM	AR	0,025	22,8
REBL040	PIP	BT	0,026	52,1	REBL082	PPM	CL	0,023	18,8
REBL042	BXT	SET	0,244	226	REBL083	PIT	AR	0,012	14,25
REBL043	BXM	SET	0,079	49,7	REBL084	PIT	AR	0,006	13,85

Muestra	Lit.	Alt.	Re [ppm]	Mo [ppm]	Muestra	Lito.	Alt.	Re [ppm]	Mo [ppm]
REBL086	BXT	AR	0,042	40,8	FEL4	PIP	BT	0,897	749
REBL087	BXM	SE	0,142	98,9	FEL5	PIP	BT	2,12	838
REBL088	PIP	BT	0,058	80,6	FEL6	PIP	BT	2,65	1350
REBL089	BXM	SE	0,072	258	FEL7	PIP	BT	0,93	730
REBL090	BXM	SE	0,109	144	FEL8	PIP	BT	0,779	600
REBL091	PIT	BT	0,006	31,1	FEL9	PIP	BT	1,295	1190
REBL092	PPM	SE	0,193	128,5	FEL10	PIP	BT	1,84	2130
REBL093	AND	SET	0,087	61,5	FEL12	PIP	BT	1,67	1280
REBL094	AND	SET	0,08	238	FEL13	BXT	SET	0,732	1095
REBL095	PIT	BT	0,383	446	FEL14	BXT	SET	0,415	550
REBL097	BXM	SET	0,014	22,4	FEL15	BXT	SET	1,145	1480
REBL098	BXM	SE	0,016	31,9	FEL16	PIP	SET	0,537	644
REBL099	PPM	SE	0,015	32,9	FEL17	BXT	SET	0,91	613
REBL100	PIT	K	0,017	21,7	FEL18	BXT	SET	0,447	664
REBL101	PPM	SE	0,032	18,85	FEL19	BXT	SET	0,715	954
REBL102	PPM	CL	0,004	5,65	FEL20	BXT	SET	0,516	733
REBL103	PPM	CL	0,011	8,86	FEL22	BXT	SET	1,915	620
REBL104	BXT	SET	0,036	34,2	FEL23	AND	SET	0,317	845
REBL105	BXT	SET	0,022	35,5	FEL24	PIP	SET	0,854	587
REBL106	BXM	SET	0,138	112	FEL25	PIP	BT	0,102	759
REBL108	PIP	CL	0,016	9,33	FEL26	PIP	BT	0,49	2170
REBL109	BXM	CL	0,027	23,3	FEL27	PIP	BT	0,413	948
REBL110	BXM	CL	0,07	37,6	FEL28	PIP	BT	0,692	1410
REBL111	PIP	K	0,018	18,3	FEL29	BXT	SE	0,642	1090
REBL112	PIP	BT	0,148	145	FEL30	BXT	SE	0,384	832
REBL113	BXT	SET	0,012	57,8	FEL31	PIT	SE	2,71	3690
REBL114	BXT	SET	0,145	552	FEL33	PIT	SET	0,504	629
REBL115	BXT	SET	0,064	285	FEL34	BXT	SET	1,3	1800
REBL116	PIT	BT	0,251	303	FEL35	PIT	SE	0,591	545
REBL117	BXT	SET	0,92	288	FEL36	PIT	SE	0,612	618
REBL119	BXT	SET	0,138	119,5	FEL37	PIT	SE	3,25	1710
REBL120	BXT	SET	0,006	11,95	FEL38	PIT	SE	0,776	887
REBL121	AND	BT	0,524	615	FEL39	BXT	AR	1,395	1350
REBL122	BXT	SET	0,026	18,45	FEL40	PIT	SE	1,265	3090
REBL123	BXT	SET	0,041	145,5	FEL41	AND	SE	1,74	699
REBL124	BXB	BT	0,136	115	FEL43	PIT	SE	1,775	652
REBL125	BXM	BT	0,158	220	FEL44	AND	SE	1,725	977
FEL1	PIP	SE	1,105	888	FEL45	AND	SE	1,11	687
FEL2	PIP	BT	0,883	660	FEL46	BXM	SE	0,559	841
FEL3	PIP	BT	2,17	2370	FEL47	PIT	BT	0,409	596

Muestra	Lit.	Alt.	Re [ppm]	Mo [ppm]	Muestra	Lito.	Alt.	Re [ppm]	Mo [ppm]
FEL48	PIT	SE	0,299	410	FEL93	BXM	BT	2,07	1670
FEL49	PIT	SE	0,413	431	FEL94	BXM	BT	0,214	840
FEL50	BXI	BT	0,194	421	FEL96	BXM	SE	0,632	1620
FEL51	BXM	BT	0,441	345	FEL97	BXM	SE	0,497	1460
FEL52	BXM	BT	0,364	618	FEL98	BXM	SE	0,467	1350
FEL54	AND	BT	0,196	365	FEL99	BXM	SE	0,701	1850
FEL55	PIP	SE	2,09	766	FEL100	BXM	SE	0,402	888
FEL56	PIP	SE	0,273	415	FEL101	AND	BT	1,2	1980
FEL57	BXM	SE	0,129	378	FEL102	BXM	BT	0,671	931
FEL58	PPM	SET	0,17	443	FEL103	BXM	SET	0,814	1480
FEL59	BXM	BT	0,323	433	FEL104	BXM	SET	0,732	2410
FEL60	BXM	BT	0,186	384	FEL106	AND	BT	1,36	1850
FEL61	AND	BT	0,258	558	FEL107	AND	BT	0,642	919
FEL62	AND	SET	0,449	1690	FEL108	BXB	BT	1,76	3450
FEL64	BXT	SET	0,425	703	FEL109	AND	BT	0,589	949
FEL65	BXT	SET	0,606	1090	FEL110	AND	BT	0,814	1420
FEL66	BXT	SET	0,31	630	FEL111	PIT	SET	1,075	1450
FEL67	BXT	SET	3,34	935	FEL112	BXM	SET	0,419	784
FEL68	BXT	SET	0,63	769	FEL113	BXM	BT	0,577	869
FEL69	AND	SET	0,198	782	FEL115	BXM	BT	0,498	636
FEL70	BXT	SET	0,257	728	FEL116	BXM	BT	0,663	1410
FEL75	AND	SET	2,19	3190	FEL117	BXT	SET	2,44	2520
FEL76	AND	BT	0,907	1030	FEL118	BXT	SET	0,284	963
FEL77	AND	BT	0,888	1460	FEL119	BXT	SET	0,417	1690
FEL78	AND	BT	1,015	1330	FEL120	BXT	AR	0,559	759
FEL79	AND	BT	0,862	1210	FEL121	AND	SET	0,22	901
FEL80	PIT	SET	1,55	435	FEL122	AND	SET	0,544	939
FEL81	AND	SE	0,262	343	FEL124	PIP	BT	0,613	577
FEL82	BXT	SET	0,11	354	FEL125	PIT	SE	1,355	2040
FEL83	BXM	BT	0,72	780	FEL126	PIT	SE	0,45	180
FEL85	BXM	BT	0,751	699	FEL127	PIT	SE	0,736	382
FEL86	BXM	BT	0,569	1450	FEL128	BXT	SE	1,525	2530
FEL87	BXM	BT	0,391	1020	FEL130	AND	SET	1,52	2190
FEL88	BXT	SET	0,026	881	FEL131	BXM	SE	0,155	389
FEL89	BXT	SET	0,154	993	FEL132	BXM	SE	0,234	893
FEL90	BXT	SET	0,315	886	FEL133	BXM	SE	0,371	1870
FEL91	BXT	SET	0,091	974	FEL134	AND	K	0,852	1540
FEL92	BXM	SE	0,394	893					