



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

LOGUEO DE ALTERACIÓN POTÁSICA Y SERICÍTICA EN EL PÓRFIDO CUPRIFERO DE LOS SULFATOS, CHILE CENTRAL, USANDO EL SISTEMA HYLOGGER3™

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE GEÓLOGO

SEBASTIÁN IGNACIO SÁNCHEZ VILLAR

PROFESOR GUÍA:
BRIAN TOWNLEY CALLEJAS

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
LEANDRO VOISIN ARAVENA
IVÁN VELA ROBERTS

ESTE TRABAJO HA SIDO FINANCIADO POR ANGLOAMERICAN

SANTIAGO DE CHILE
2017

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR AL

TÍTULO DE: Geólogo

POR: Sebastián Ignacio Sánchez Villar

FECHA: 19/01/2017

PROFESOR GUÍA: Brian Townley Callejas

El Yacimiento Los Sulfatos (Anglo American), distrito Río Blanco - Los Bronces, es un depósito tipo pórfido cuprífero de clase mundial ubicado a 50 km al noreste de Santiago, Chile central. Presenta mineralización de cobre que corresponde a calcopirita y bornita principalmente el cual se aloja en varios cuerpos tipo pórfidos y brechas hidrotermales magmáticas, presentando texturas diseminadas y vetilleos intensos. La necesidad de encontrar los controles mineralizadores de alta ley y de generar una caracterización mineral de mena y ganga detallada y de alta resolución, motiva a buscar nuevas herramientas de caracterización mineral semi-cuantitativa e idealmente cuantitativa.

En el presente estudio se obtuvieron espectros de reflectancia infrarrojos para distintos tramos de sondajes, representativos de las alteraciones potásica y cuarzo sericita del yacimiento, en los rangos de longitud de onda NIR, SWIR y TIR mediante el sistema de logueo automático hiperespectral HyLogger3™, desarrollado por CSIRO. Estos espectros fueron analizados e interpretados mediante el software The Spectral Geologist (TSG™) utilizando el módulo The Spectral Assistant (TSA™).

Los resultados obtenidos por el análisis hiperespectral muestran como mineralogías predominantes: cuarzo, feldespato potásico (microclina, ortoclasa), albita, turmalina, muscovita (sericita), yeso (anhidrita), flogopita y clorita. Estos resultados fueron corroborados con otros métodos de caracterización mineral, como difracción de rayos X cuantitativa, caracterización macroscópica, petrografía y geoquímica multi-elemento. Utilizando esta información, se identificaron las asociaciones mineralógicas características para los tipos de alteraciones en estudio. Esto se realizó mediante comparación directa de los tramos, y por medio de la generación de un modelo de alteración utilizando el software Leapfrog®, el cual fue comparado con el modelo geológico conceptual ya existente del proyecto.

Se concluye que el sistema HyLogger y el software TSG, asociado a otros métodos de caracterización mineral, constituyen una herramienta rápida y eficaz para caracterización mineral y es un complemento para la modelación. Por otra parte, el valor y utilidad de los espectros obtenidos por HyLogger puede aumentar considerablemente dependiendo del análisis que se haga de los mismos.

Agradecimientos

Se agradece a la empresa Anglo American por el financiamientos de este trabajo, y a todo el equipo del proyecto Los Sulfatos, en particular a Rafael Dieguez, Macial Pablo, e Ivan Vela por su constante apoyo y ayuda, y al equipo de la bodega que siempre estuvieron dispuestos a permitirme desarrollar las actividades que allí realicé. Además agradezco a Leandro Voisin, Paula Martinez, Nicolás Urrutia y Javier Merrill del AMTC, por su disposición a ayudarme siempre que lo necesité. Por último se agradece el constante apoyo de Brian Townley, profesor guía de este proyecto.

Quiere agradecer a mi familia, a mis papás, a mis hermanos Martín y Carolina, y al Don Goyo, por siempre brindarme buenos momentos y siempre estar ahí. A amistades forjadas en la universidad, a Gianfranco, Javiera, Verónica, Constanza, Gonzalo, Eduardo, Joakin, Maximiliano, Pablo, entre muchos otros, por hacer más gratos los años que pasamos en la universidad. Por último agradecer al Maxi por todas las tardes de conversación y música.

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.	CONTEXTUALIZACIÓN	1
1.2.	HIPÓTESIS Y OBJETIVOS.....	2
1.2.1.	HIPÓTESIS DE TRABAJO.....	2
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.	ESPECTROSCOPIA INFRARROJA.....	5
2.2.1.	ANTECEDENTES HISTÓRICOS.....	7
2.2.2.	HYLOGGER-3.....	9
2.2.3.	THE SPECTRAL GEOLOGIST (TSG)	12
3.	MARCO GEOLÓGICO	14
3.1.	GEOLOGÍA REGIONAL.....	14
3.2.	GEOLOGÍA DISTRITAL.....	16
3.2.1.	BLOQUE LOS PICHES ORTIGA (14,8-12,3MA)	16
3.2.2.	BLOQUE SAN MANUEL – EL PLOMO (10,8-7,7MA).....	17
3.2.3.	BLOQUE RÍO BLANCO - LOS BRONCES - LOS SULFATOS (8,2-4,3 MA) 18	18
3.3.	GEOLOGÍA DEL DEPÓSITO.....	19
3.4.	UNIDADES DE LOS SULFATOS (ZAMORANO y PABLO, 2013)	20
3.4.1.	ROCA CAJA.....	20

3.4.2.	PÓRFIDO	20
3.4.3.	BRECHAS	22
3.5.	PARAGÉNESIS DE ALTERACIÓN Y MINERALIZACIÓN	23
4.	METODOLOGÍA	25
4.1.	SELECCIÓN DE SONDAJES	25
4.2.	ANÁLISIS HYLOGGER.....	27
4.2.1.	ANÁLISIS MUSCOVITA.....	27
4.3.	ANÁLISIS DE DIFRACCIÓN RAYOS X.....	28
4.4.	CORTES TRANSPARENTES Y PULIDOS.....	28
4.5.	ANÁLISIS QUÍMICO MULTI-ELEMENTO.....	28
4.6.	COMPARACIÓN DE DATOS.....	28
5.	RESULTADOS	37
5.1.	MAPEO DE SONDAJES.....	37
5.1.1.	Mapeo estudio: Sección A-A'	37
5.1.2.	Mapeo estudio: Sección B-B'	37
5.1.3.	Mapeo Anglo American: Sección A-A'.....	37
5.1.4.	Mapeo Anglo American: Sección B-B'.....	37
5.2.	DESCRIPCIONES MINERALES.....	38
5.2.1.	Cuarzo.....	38
5.2.2.	Albita	39
5.2.3.	Feldespató potásico	40
5.2.4.	Biotita (Flogopita)	42
5.2.5.	Muscovita (Sericita).....	42
5.2.6.	Clorita.....	43

5.2.7.	Anhidrita	43
5.2.8.	Otros	44
5.3.	DIFRACCIÓN DE RAYOS X CUANTITATIVA	44
5.4.	HYLOGGER-3.....	46
5.5.	Geoquímica Multi-elemento	49
5.6.	ANÁLISIS MUSCOVITA.....	51
5.7.	CLASIFICACIÓN DE ALTERACIONES	52
5.8.	MODELO DE ALTERACIÓN.....	54
6.	DISCUSIONES.....	55
6.1.	Comparación mineralógica.....	55
6.1.1.	Petrografía	55
6.1.2.	XRD.....	58
6.1.3.	Geoquímica.....	59
6.2.	Comparación de alteración	59
6.2.1.	Modelo de alteración	60
6.3.	Caracterización mineralógica	60
6.3.1.	Alteración Potásica.....	60
6.3.2.	Sericita gris verde.....	61
6.4.	Guía mineralógica de alta Ley.....	61
7.	CONCLUSIONES	64
8.	BIBLIOGRAFÍA.....	66
ANEXO I. METODOLOGÍA		72
Mapeo de sondajes.....		72
Ubicación Secciones A-A' y B-B'		73

Análisis XRD	73
Análisis Químico	73
ANEXO II. DESCRIPCIÓN DE MUESTRAS	75
Cortes transparentes-pulidos	75
MAPEO DE SONDAJES Y TRAMOS ELEGIDOS (MODELO ANGLOAMERICAN)	150
PALSUL19.....	150
PALSUL23.....	150
PALSUL22.....	151
PALSUL10.....	151
PALSUL06.....	152
PALSUL07.....	153
PALSUL08.....	153
PALSUL12.....	154
ANEXO III: ANÁLISIS DE MUESTRAS	155
ANÁLISIS DIFRACCIÓN DE RAYOS X CUANTITATIVO (PORCENTAJE MINERALES).....	155
PALSUL19.....	155
PALSUL23.....	155
PALSUL22.....	156
PALSUL10.....	157
PALSUL06.....	157
PALSUL07.....	158
PALSUL08.....	159
PALSUL12.....	159

ANÁLISIS HYLOGGER-3	160
PALSUL19.....	160
PALSUL23.....	161
PALSUL22.....	162
PALSUL10.....	162
PALSUL06.....	163
PALSUL07.....	164
PALSUL08.....	164
PALSUL12.....	165
ANÁLISIS HYLOGGER: MUSCOVITA	166
PALSUL19.....	166
PALSUL23.....	166
PALSUL22.....	167
PALSUL10.....	167
PALSUL06.....	168
PALSUL07.....	168
PALSUL08.....	169
PALSUL12.....	169

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Tramos representativos y pulpas elegidas para los sondajes de la sección AA' mostrando litología, alteración y ley de Cu.	35
Tabla 2: Tramos representativos y pulpas elegidas para los sondajes de la sección BB' mostrando litología, alteración y ley de Cu	36
Tabla 3. Comparación mineralógica entre el análisis HyLogger y XRD de los sondajes de la sección A-A'. Los minerales diferentes para cada método se encuentran en negrita.	48
Tabla 4. Comparación mineralógica entre el análisis HyLogger y XRD de los sondajes de la sección B-B'. Los minerales diferentes para cada método se encuentran en negrita.	49
Tabla 5. Tabla ubicación secciones A-A' y B-B'	73
Tabla 6. Tabla de elementos y sus respectivos límites inferiores para la metodología utilizada.	74

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa ubicación del yacimiento Los Sulfatos	3
Figura 2: Ejemplo de espectros VNIR-SWIR y TIR, se observan distintos minerales con sus respectivas bandas características.....	6
Figura 3: Campo de detección espectral SWIR donde se identifican patrones espectrales relacionados con la presencia de moléculas y radicales como OH, H ₂ O, AIOH, MgOH y CO ₃ . En esta figura se muestran las principales zonas de absorción y el enlace iónico que representan (Modificado de Herrmann <i>et al.</i> , 2001).	7
Figura 4: Sistema HyLogger 3-8 ubicado en el AMTC de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile. Los espectrómetros y los controles electrónicos se encuentran en la sección azul superior. Debajo de esto, los sistemas de iluminación irradian sobre los bloques de calibración en el comienzo de la mesa de translación X-Y. Los sistemas de adquisición de datos, el control de la mesa X-Y y la unidad de energía se encuentran debajo de la mesa X-Y (M.C.Schodlok <i>et al.</i> , 2016). 10	10
Figura 5: The Spectral Geologist, la imagen muestra los tramos enmascarados que no son considerados en el análisis automatizado. En verde los tramo utilizados y en rojo los tramos excluidos.....	13

Figura 6: Interfaz de TSG™ donde se puede analizar el espectro simultáneamente con la imagen de la que proviene.	13
Figura 7: Mineralogía derivada por TSG del escaneo espectral del sondaje PALSUL22 del yacimiento Los Sulfatos. Los intervalos son de 0,3 m y no se consideran los pesos menores a 5%.	14
Figura 8. Franjas metalogénicas en el centro-norte de Chile (Deckart <i>et al</i> , 2014c)	16
Figura 9. Geología simplificada del distrito Rio Blanco-Los Bronces. Muestra la ubicación de los principales depósitos y prospectos (Irrarrazabal <i>et al.</i> , 2014).	19
Figura 10. Mapa geológico de superficie, con las secciones escogidas (modificado de Irrarrazabal <i>et al.</i> , 2010).	21
Figura 11. Evolución magmática hidrotermal Los Sulfatos. El tamaño de los círculos indica la magnitud de los procesos (Zamorano y Pablo, 2013).	24
Figura 12: Sondajes seleccionados (en verde) con mapeo de superficie.	26
Figura 13: Sondajes de tramos no seleccionados (rojo), sondajes seleccionados (verde) y tramos seleccionados (fucsia).	27
Figura 14: Parámetros utilizados para la determinación del peak de la banda del Al-OH.	28
Figura 15. Ubicación de pulpas (color mostaza).	29
Figura 16. Ubicación de cortes transparentes y pulidos (color rojo).	29
Figura 17: Sección A-A' con Litología mostrando la ubicación de los sondajes (verde) y los tramos (fucsia).	31
Figura 18: Sección A-A' con Alteración mostrando la ubicación de los sondajes (verde) y los tramos (fucsia).	32
Figura 19: Sección B-B' con Litología mostrando la ubicación de los sondajes (verde) y las muestras (fucsia).	33
Figura 20: Sección B-B' con Alteración mostrando la ubicación de los sondajes (verde) y los tramos (fucsia).	34
Figura 21: Fotomicrografía del corte SLB13571_CT correspondiente a la litología BXM. Se observa el cuarzo como agregado microcristalino y veta.	38

Figura 22: Fotomicrografía de la muestra SLB04802_CT correspondiente a litología PIP. Se observa el cuarzo como parte de la masa fundamental y como crecimiento intersticial.	39
Figura 23: Fotomicrografía de la muestra SLB04809_CT correspondiente a la litología PIP. Se observa la albita como cristales tabulares de alrededor de 2 mm. Además se observa ortoclasa alterada por sericita.	40
Figura 24. Fotomicrografía de la muestra SLB06052_CT del sondaje PALSUL10, correspondiente a AND con alteración potásica. Se puede observar una veta de cuarzo con halo de feldespatos potásico.	41
Figura 25: Fotomicrografía de la muestra SLB10028_CT correspondiente a litología PIP. Se observan cristales de ortoclasa de alrededor de 1 mm.	41
Figura 26: Fotomicrografía de la muestra SLB05568_CT correspondiente a litología AND. Se observa cristales de biotita secundaria de alrededor de 0,2mm.	42
Figura 27: Fotomicrografía de la muestra SLB10094_CT correspondiente a litología PIP. Se observa sericita afectando plagioclasas y/o feldespatos a los cuales aún se les puede reconocer la forma.	43
Figura 28: Fotomicrografía de la muestra SLB05571_CT. Corresponde a una veta anhidrita.	44
Figura 29: Resumen de porcentajes de minerales obtenidos en la sección A-A' mediante análisis de difracción de rayos X cuantitativo.	45
Figura 30: Resumen de porcentajes de minerales obtenidos en la sección B-B' mediante análisis de difracción de rayos X cuantitativo.	45
Figura 31: Porcentaje relativo de minerales obtenidos por análisis en el rango TIR en los tramos de la Sección A-A'	46
Figura 32: Porcentaje relativo de minerales obtenidos por análisis en el rango TIR en los tramos de la Sección B-B'	46
Figura 33: Porcentaje relativo de minerales obtenidos por análisis en el rango SWIR en los tramos de la Sección A-A'	47
Figura 34: Porcentaje relativo de minerales obtenidos por análisis en el rango SWIR en los tramos de la Sección B-B'	47
Figura 35. <i>Boxplot</i> que grafican los elementos Al, K, Na, Ca, Fe, Mg y S según las alteraciones potásica, biotítica y sericitica.	50

Figura 36: Histograma de los resultados del escalador PFIT 2200ewt para la ubicación del peak de la banda Al-Oh para la sección A-A'	51
Figura 37: Histograma de los resultados del escalador PFIT 2200ewt para la ubicación del peak de la banda Al-Oh para la sección B-B'	51
Figura 38. Clasificación de alteración HyLogger, XRD y mapeo en este estudio comparado con el modelo existente para la sección A-A'	52
Figura 39. Clasificación de alteración HyLogger, XRD y mapeo en este estudio comparado con el modelo existente para la sección B-B'	53
Figura 40. Modelo de alteración realizado con la clasificación obtenida por HyLogger. Se pueden observar las envolventes de alteración potásica y biotítica.	54
Figura 41. Modelo de alteración comparado con el modelo existente en la sección WGS84 N6325781,1 E383849,09 Z3504,5691	54
Figura 42. Fotomicrografía del corte SLB14948_CT, la cual muestra alteración biotítica y en menor medida sericitica.	55
Figura 43. Gráfico de pesos relativos en porcentajes de la mineralogía SWIR del sondaje PALSUL22 vs profundidad, en el metraje donde se obtuvo el corte transparente SLB14948_CT. Se observa un porcentaje mayor de biotita en comparación a la muscovita (Sericita). Este tramo corresponde a andesita con alteración biotítica.....	56
Figura 44: Gráficos de porcentajes relativos de minerales SWIR, de los sondajes PALSUL23, PALSUL12 Y PALSUL07, junto al corte transparente que representa el tramo. Se puede observar la diferencia de muscovita en los distintos sondajes lo cual se condice con la intensidad de la alteración.	56
Figura 45. Fotomicrografía de la muestra SLB06052_CT del sondaje PALSUL10 que muestra la presencia de feldespato potásico.	57
Figura 46. Fotomicrografía de la muestra SLB 10028_CT del sondaje PALSUL12 que muestra la presencia de feldespato potásico	57
Figura 47. Resultados del HyLogger para el sondaje PALSUL10, muestra el contenido de feldespato potásico.	58
Figura 48. Resultados HyLogger para el sondaje PALSUL12, se observa la ausencia de contenidos de feldespato potásico.	58

Figura 49: Comparación de clasificación de alteración utilizando los distintos métodos. De izquierda a derecha, HyLogger, XRD, mapeo estudio y modelo AngloAmerican.....	60
Figura 50. Resultados obtenidos por HyLogger del tramo 668 m a 687 m. Zona de baja Ley.....	62
Figura 51. Resultados obtenidos por HyLogger del tramo 866 m a 892 m. Zona de alta Ley.....	62
Figura 52. Gráfico que muestra la clasificación de litología y alteración y la evolución de la ley según profundidad del sondaje PALSUL19. La zona delimitada punteada es el tramo escogido de baja ley y la zona delimitada continua es el tramo escogido de alta ley.....	62
Figura 53. En la parte superior se encuentran los resultados obtenidos por HyLogger del sondaje PALSUL23. En la parte inferior se muestra un gráfico con la litología, alteración y ley según la profundidad del sondaje PALSUL23.....	63
Figura 54. Gráfico de correlación entre el porcentaje relativo de cuarzo y la ley de cobre en el sondaje PALSUL19.	63

1. INTRODUCCIÓN

1.1. CONTEXTUALIZACIÓN

El Yacimiento Los Sulfatos, distrito Río Blanco - Los Bronces, está ubicado en la región metropolitana, a unos 50 km al noreste de Santiago. Es un depósito tipo pórfido cuprífero, cuyo tamaño y calidad de mineral lo ubica dentro del grupo de yacimientos más importantes del país, tales como El Teniente, Los Bronces, Chuquicamata entre otros. La mineralización de cobre corresponde a calcopirita y bornita principalmente, y se aloja en varios cuerpos de pórfidos y brechas hidrotermales magmáticas, presentándose en texturas diseminadas y en vetilleos intensos. Los actuales recursos inferidos en Los Sulfatos corresponden a 1200 Mt con un promedio de 1,46% de CuT y 0,02 de MoT, aunque el potencial mineral está previsto a ser de 4000 a 5000 Mt con 0,8% a 1,0% de CuT (Irrarrazabal *et al.*, 2010).

Mundialmente se gastan billones de dólares cada año perforando una variedad de sondajes de diamantina y percusión para exploración mineral, de petróleo y geotermal esto para la delineación de recursos y el control de leyes en minas. Los sondajes y astillas de roca son normalmente analizados en ciertos elementos críticos y solo se loguean algunos intervalos basados en nociones pre concebidas de que es lo que se considera importante (Huntington *et al.*, 2010). En consecuencia, no todas las características son logueadas y no se caracteriza el contexto geológico completo de estos intervalos. Tomando en cuenta que una mina en operación puede realizar en el orden de 100000 metros de sondajes por año para desarrollo, control de leyes, propósitos metalúrgicos y geotécnicos, y que el costo por metro es de alrededor de US\$400, es preciso encontrar oportunidades que incrementen el retorno de estas grandes inversiones.

En particular en el yacimiento Los Sulfatos la necesidad de encontrar los controles mineralizadores de alta ley y de generar una caracterización mineral de mena y ganga detallada y de alta resolución motiva a buscar nuevas herramientas de caracterización mineral semi-cuantitativa e idealmente cuantitativa.

La tecnología HyLogger™ desarrollada por CSIRO utiliza la espectrometría de reflectancia (NIR, SWIR y TIR) para capturar de forma sistemática y objetiva la información mineralógica detallada de muestras de exploración (testigos, chips y/o pulpas). Permite la recolección rápida y semi-automatizada de patrones de reflectancia espectral e imágenes de alta resolución de manera no invasiva y no destructiva. Las muestras no requieren ninguna preparación previa, solo que estén secas y limpias de polvo.

1.2. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

1.2.1. HIPÓTESIS DE TRABAJO

La tecnología de mapeo automatizado de sondajes HyLogger aumenta drásticamente el detalle, calidad y certeza de la información geológica, esto a modo de complemento semi-cuantitativo de caracterización mineral a la información cualitativa generada por geología.

1.2.2. OBJETIVO GENERAL

Determinar la aplicabilidad de tecnologías de caracterización mineral semi-cuantitativa, en este caso en particular, HyLogger. Evaluar las virtudes y limitaciones de la tecnología en función de la calidad y confianza de los resultados.

1.2.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Levantar información detallada semi-cuantitativa de las asociaciones minerales en tramos de sondajes representativos del yacimiento mediante una caracterización mineral empleando mapeo automatizado con la tecnología HyLogger.
- Contrastar y validar los resultados de HyLogger contra otras formas de caracterización mineral, entre estas, caracterización macroscópica (mapeo de sondajes), petrografía (en muestras discretas), geoquímica multi-elemento y difracción de rayos X.
- Realizar una caracterización de alteración usando los datos entregados por HyLogger y compararlos con la clasificación existente.
- Caracterización de la alteración potásica y sericita gris verde utilizando los datos HyLogger.
- Identificar una guía de alta ley.

1.3. UBICACIÓN Y VÍAS DE ACCESO

El yacimiento los sulfatos se encuentra en la cordillera de los Andes en la zona central de Chile, aproximadamente a 50 km al noreste de la ciudad de Santiago, a 5 km al sureste de la mina Los Bronces, 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).

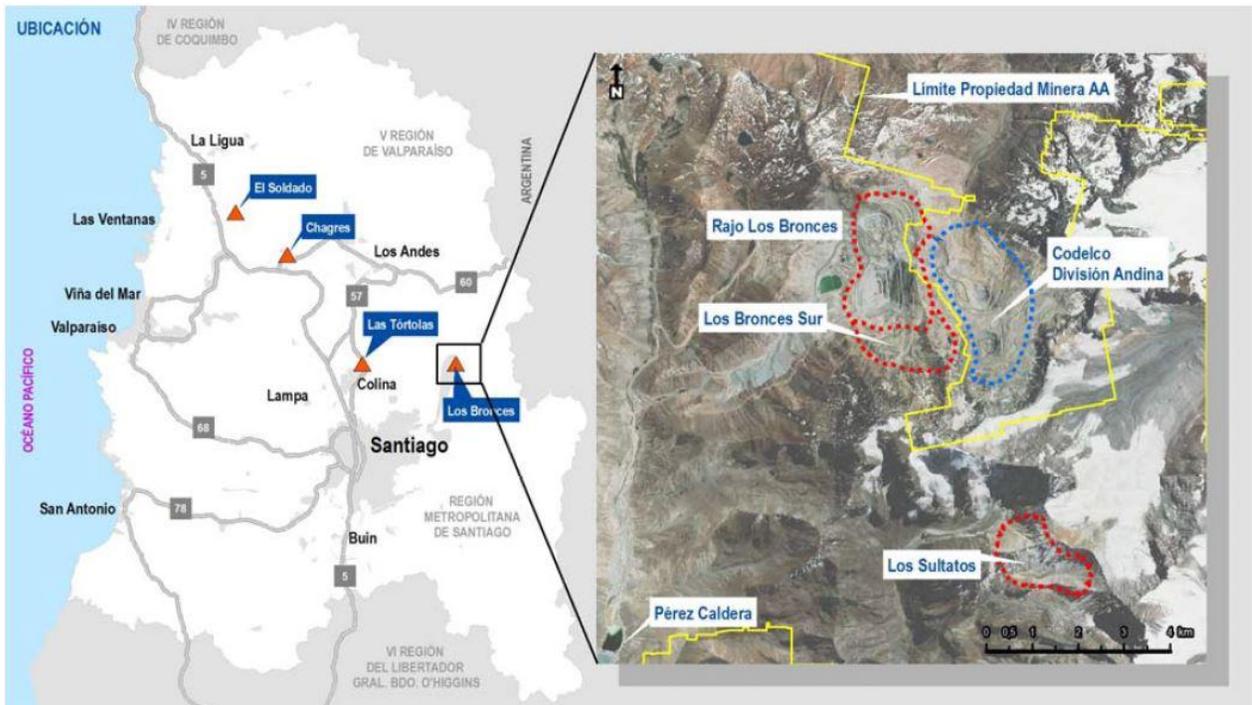


Figura 1: Mapa ubicación del yacimiento Los Sulfatos

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

2. ANTECEDENTES

2.1. TRABAJOS ANTERIORES

Lyon & Burns (1963) Abordaron el análisis infrarrojo de reflectancia de varios minerales, rocas y materiales meteoríticos comunes. Revisaron brevemente los espectros típicos de placas de cuarzo, sílice fundida y vidrios, y examinaron datos espectrales de minerales y rocas. Discuten similitudes y diferencias entre espectro de absorción y reflexión para los mismos materiales.

Cudahy *et al.* (2009) examinaron la eficacia de las medidas de reflectancia bidireccional del TIRLogger (Prototipo para medir TIR), y la información mineralógica derivada de esta por medio de comparación con medidas de emisividad tomadas por MicroFTIR™, y datos tomados por difracción de rayos X, fluorescencia de rayos X y microsonda electrónica de las mismas muestras, enfocado en plagioclasas. Los resultados mostraron una correlación entre los peaks 111 y 131 hkl de XRD y los peaks normalizados de reflectancia TIR en 9.6 y 9.9 μm , siendo el contenido mayor de Ca de la plagioclasa relacionado con un menor peak de 9.6 μm .

Yang *et al.* (2011) midieron espectros de reflectancia infrarroja en el rango SWIR de rocas volcánicas alteradas en el *footwall* del depósito de sulfuros masivos de Hellyer, Tasmania, utilizando un espectrómetro infrarrojo PIMA-II. Se usó la banda Al-OH para obtener información sobre el contenido de aluminio octahedral (Al^{vi}) y la abundancia de mica blanca (sericita). Los datos de reflectancia mostraron que la variación en composición de la mica blanca está especialmente correlacionada con las zonas de alteración hidrotermal. Los resultados indican que la banda de Al-OH, y por lo tanto el contenido de Al^{vi} de la mica blanca, puede ser usado como vector de mineralización.

Haest *et al.* (2012) midieron espectros de reflectancia infrarroja de sondajes del depósito de hierro de Rocklea, localizado en la cuenca de Hamersley de Western Australia, utilizando el sistema HyLogger™. Con estas medidas obtuvieron el contenido de óxidos de hierro; el contenido de arcillas de aluminio; la proporción hematita/goethita; goethita vítrea versus ocre; tipo de minerales de arcilla (caolinita, montmorillonita y nontronita); y composición de carbonatos (dolomita vs. calcita). Estos resultados fueron validados con análisis XRD y XRF.

Laukamp *et al.* (2016) usaron información combinada de ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) y logeo hiperspectral de sondajes mediante HyLogger™ para descifrar la estratigrafía de regolitos y para describir variaciones regionales de estos, con el objetivo de ser útil para exploración mineral. Parámetros mineralógicos importantes extraídos de los datos hiperspectrales de la subsuperficie y validados mediante XRD y FTIR fueron 1) la abundancia y el tipo de óxidos de hierro, 2) la abundancia y cristalinidad de la caolinita, 3) la abundancia y composición de minerales primarios, como mica blanca, y 4) abundancia de cuarzo.

Quigley & Yildirim (2015) escanearon un sondaje creado virtualmente de varios intervalos de 5 dominios de alteración del pórfido de Cu-Mo Los Bronces, Chile, usando el sistema HyLogger-3 y HCL-3. Los minerales obtenidos fueron corroborados mediante análisis XRD. Concluye la aplicabilidad y utilidad de ambos sistemas para la identificación de minerales y caracterización de dominios.

Tappert *et al.* (2013) estudiaron la fengita en el depósito IOCG Olympic Dam, Sur de Australia, la cual posee una química variable, debido a distintos grados de alteración hidrotermal. Estas variaciones fueron observadas por espectros de reflectancia infrarroja cercana y media obtenidos de rocas con fengita. Produjeron un perfil de sondaje, utilizando los resultados del análisis espectral, que muestra el cambio en la química y la abundancia de la fengita con respecto a la profundidad. Concluye que, en general, la espectroscopia de reflectancia infrarroja cercana y media puede ser usada para caracterizar el contenido de aluminio en micas potásicas dioctahedrales como la fengita, y esta información puede ser utilizada para inferir el grado de alteración sericítica producto de una alteración.

2.2. ESPECTROSCOPIA INFRARROJA

La espectroscopia es el estudio de la luz como una función de la longitud de onda que ha sido emitida, reflejada o dispersada desde un sólido, líquido o gas. A medida que los fotones entran en el mineral, algunos son reflejados de las superficies de los granos, otros pasan a través de los granos, y otros son absorbidos. Los fotones que son reflejados desde la superficie de los granos o refractados a través de una partícula se dice que son dispersados. Estos fotones dispersados pueden ser detectados y medidos en función de su amplitud y longitud (Clark, 1999). Los fotones son absorbidos por minerales en diferentes procesos. La variedad de los procesos de absorción y su dependencia a la longitud de onda permite obtener información sobre la química de un mineral debido a la luz reflejada o emitida de este (Clark, 1999).

El espectro de absorción infrarroja de un mineral corresponde a un gráfico de la cantidad de radiación absorbida (o transmitida) por la muestra versus la frecuencia de la radiación empleada (Figura 2). La escala de las ordenadas es presentada como porcentaje linear de transmitancia (o unidades de absorbancia en escala logarítmica), mientras las abscisas presentan la frecuencia en unidades de longitud de onda [um]. Las bandas de absorción que aparecen en un espectro infrarrojo son producidas por interacciones de la radiación con vibraciones de los átomos o la rotación del sistema molecular. Para que aparezca una banda, la vibración producida por la interacción con la fuente de radiación debe producir un cambio en el momento dipolar. Si no ocurre este cambio en el momento dipolar, entonces no se producirá banda alguna. La intensidad de una banda de absorción infrarrojo depende de la magnitud del cambio en el momento dipolar durante la vibración, y será mayor donde haya más enlaces polares envueltos. Debido a que las frecuencias, intensidades y formas de los espectros de absorción específicas están determinadas por las masas relativas, radio atómico y número de coordinación de los átomos constituyentes, y por la distancia, ángulos, y fuerzas de los enlaces que los unen, nunca dos minerales entregan el mismo espectro. De esta manera, el espectro infrarrojo entrega información de la estructura cristalina y de las uniones como una propiedad única, de forma similar a los patrones de difracción de rayos X. Esta información se observa principalmente por los rasgos de absorción de cada espectro, los cuales cambian de forma, de profundidad con respecto al eje vertical, y su posición con respecto al eje horizontal (longitud de onda), lo cual indica zonas de energía generada por la vibración de ciertas moléculas y radicales como OH, H₂O, NH₄, CO₃ y enlaces de catión OH como Al-OH, Mg-OH y Fe-OH (Figura 3); (Hunt, 1971; Goetz *et al.*, 1982); (Páez, 2008).

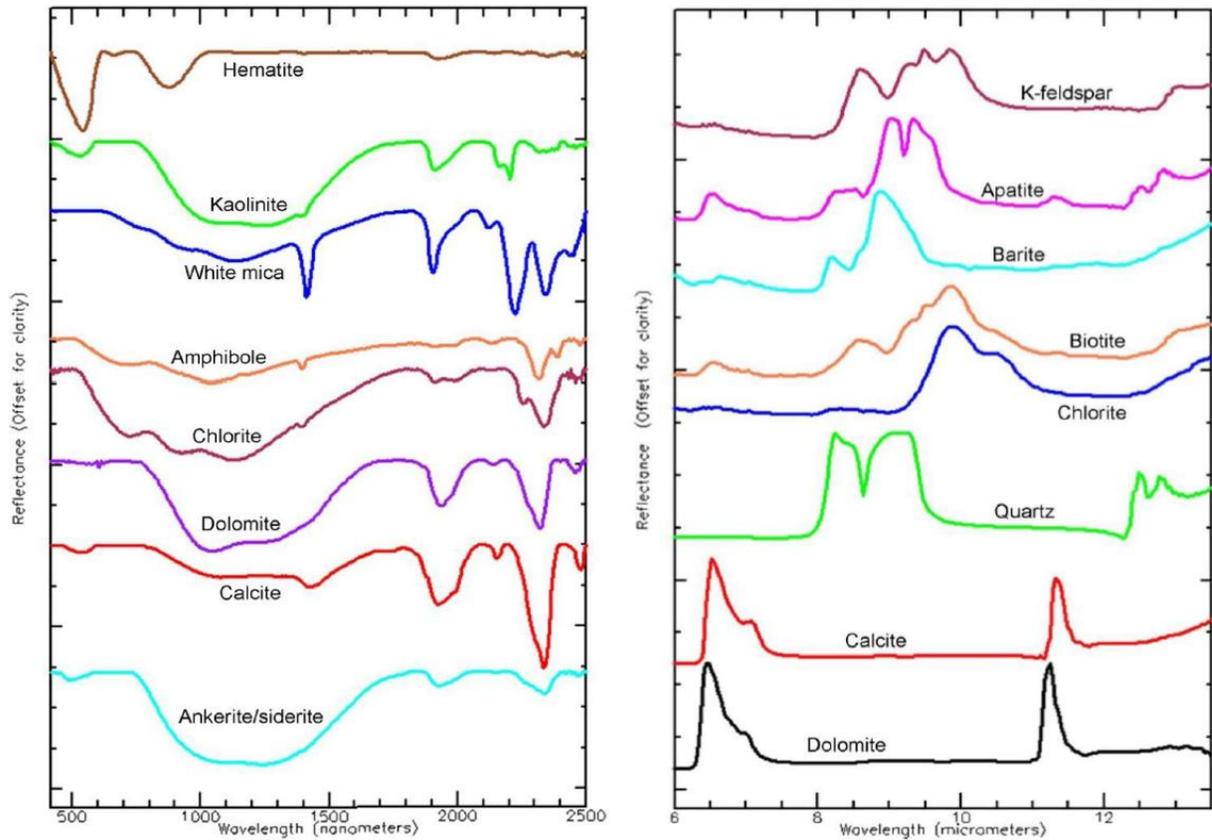


Figura 2: Ejemplo de espectros VNIR-SWIR y TIR, se observan distintos minerales con sus respectivas bandas características.

De esta manera es posible detectar variantes composicionales o sustitución de elementos en la molécula. Este fenómeno se observa como cambios significativos en la forma de absorción y desplazamientos respecto al eje horizontal. Estas variaciones en los rasgos de absorción serán los que determinarán que mineral es representativo del espectro observado, aunque por lo general, los espectros representaran la combinación de dos o más minerales.

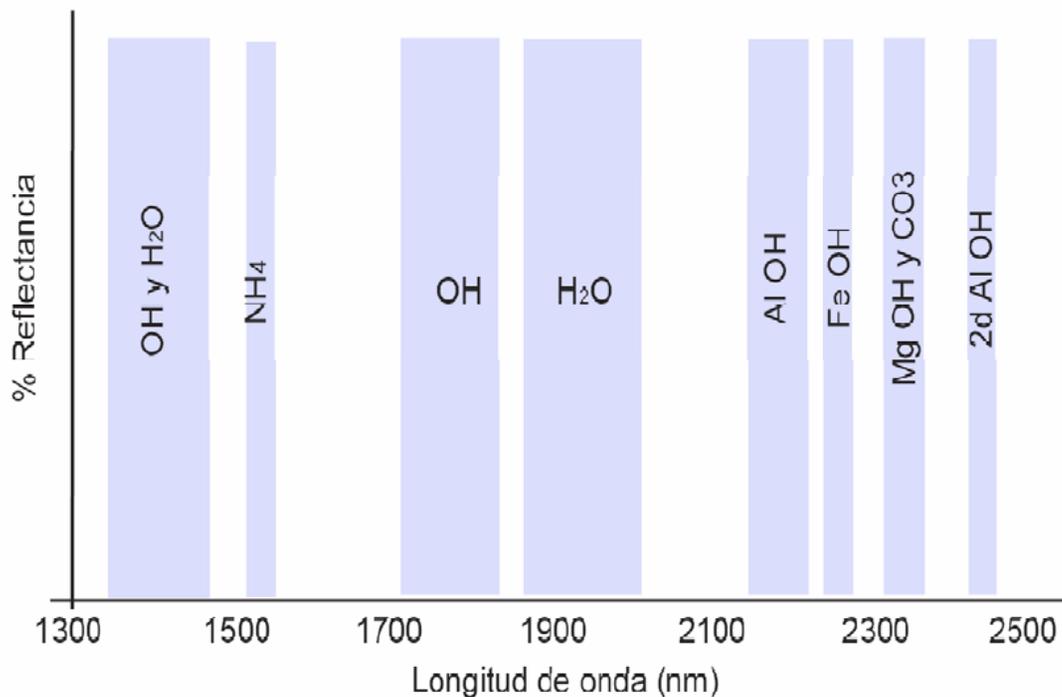


Figura 3: Campo de detección espectral SWIR donde se identifican patrones espectrales relacionados con la presencia de moléculas y radicales como OH, H₂O, AlOH, MgOH y CO₃. En esta figura se muestran las principales zonas de absorción y el enlace iónico que representan (Modificado de Herrmann *et al.*, 2001).

2.2.1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS

En los inicios de la década de 1940, los instrumentos de infrarrojo y las investigaciones estaban limitados a la región infrarrojo medio de 2 – 15 μm . Dado que este rango de frecuencia engloba la mayoría de las vibraciones fundamentales de elementos livianos como carbono, hidrogeno y oxígeno, la aplicación de espectroscopia creció rápidamente en materiales orgánicos. De esta manera las primeras descripciones de los principios de la espectroscopia infrarroja y diseño de instrumentos incluyeron principalmente ejemplos de materiales orgánicos.

Luego al inicio de la década de 1960, debido a mejoras en la instrumentación de escáneres automáticos y comerciales, la región infrarroja media se extendió a 300 cm^{-1} . Esta adición de la “región del cesio y bromuro” ($700\text{-}300\text{ cm}^{-1}$) a la región medio infrarrojo del espectro mejoró considerablemente la aplicación de espectroscopia infrarroja para el análisis de materiales inorgánicos (Miller *et al.*, 1960; Bentley *et al.*, 1968) y minerales (Moanke, 1962b, 1966; Lyon, 1963), ya que estos solo tienen bandas de absorción en la región de baja frecuencia bajo 700 cm^{-1} .

Un ímpetu adicional por los estudios infrarrojos de minerales ocurrió en la mitad de la década de 1960 debido a la extensión del infrarrojo medio a 200 cm^{-1} , y la

disponibilidad comercial de espectrómetros de infrarrojo lejano dispersivos convencionales y espectrómetros de Fourier.

Algunos estudios pioneros sobre las características espectrales en rangos de TIR (Thermal infrared 5-20 μm) de minerales silicatados no hidratados incluye a Lyon & Burns (1963), Lyon (1965) y Hunt & Salisbury (1974, 1975, 1976). Nash & Salisbury (1991) establecieron que los feldespatos alcalinos y la plagioclasa poseen características espectrales diagnósticas. Thompson y Wadsworth (1957) encontraron que existe una variación sistemática de las características espectrales de la plagioclasa en la región de longitud de onda 15,4 a 16,2 μm con el cambio de composición química.

Han existido sistemas de campo, aéreos y espaciales designados para capturar información geológica en el rango TIR, aunque son mucho menores comparado con el desarrollo de sensores a longitudes de onda V-SWIR. El primer sistema de imagen aérea a longitud de onda TIR para aplicaciones geológicas fue desarrollado en los 80s, así como el TIMS aéreo de 6 canales de la NASA (Khale *et al.* 1980) y el escáner con 6 canales TIR Australian Geoscan MK II (Winderler and Lyon, 1991). El primer satélite de alta resolución espacial con bandas de TIR fue ASTER, que comenzó sus operaciones a fines de 1990 (Rowan *et al.*, 2003). Estos sistemas están mejor descritos como “multi espectrales” ya que comprometen <10 bandas espectrales y de esta manera solo puede medir información mineralógica espectral general, como el total de SiO₂ (Niomiya *et al.* 2005). También ha habido sistemas hiperespectrales aéreos con 50 a 150 bandas de TIR, como el sistema aéreo de laser CO₂ (Whitbourn *et al.*, 1990). Esto permitió medir características espectrales diagnosticas específicas de minerales, y en algunos casos las composiciones químicas de minerales. En 1990, se desarrolló un FTIR (Fourier Transform Infra Red) portátil (Hook y Kahle, 1996; Korb *et al.*, 1996), el cual ha sido usado para recolectar mediciones de campo de TIR de muestras geológicas así como también para la calibración y la validación de los datos del sensor remoto.

En 2003, CSIRO comenzó el desarrollo del sistema de logueo de sondajes mediante longitud de onda TIR, llamado “TIRLogger”, para complementar el sistema V-SWIR HyLogger™ (Huntington *et al.*, 2006). El prototipo del TIRLogger™ estuvo listo para pruebas a fines del 2005 como un proyecto de investigación, colaborativo e industrial llamado “Development and implementation of Advanced Automated Core Logging Technology for Enhanced Mine Feasibility and Development in Western Australia” (MERIWA) (Cudahy *et al.*, 2009).

2.2.2. HYLOGGER-3

El sistema HyLogger de CSIRO mide reflectancia espectral en pixeles de 8 mm contiguos a lo largo del sondaje de forma rápida y no destructiva, además de capturar imágenes digitales a color de alta resolución (0,065 mm por pixel) de los sondajes en sus bandejas originales. El proceso de escaneo de una bandeja de sondajes de 6 secciones toma alrededor de 4 min, y teóricamente se podría escanear un máximo de alrededor de 700 m de sondaje al día aunque en la realidad el promedio es de alrededor de 300 m al día. No es necesaria preparación previa de las muestras, más que asegurarse que los sondajes estén limpios y secos.

El HyLogger consiste en cuatro componentes principales (Figura 4):

- Una mesa robótica x/y para la translación de la bandeja de sondajes/chip.
- Un láser perfilométrico que mide la altura del sondaje a 0,2 mm de resolución, el cual es usado para detectar quiebres y fracturas, y localizar porciones vacías que luego son enmascaradas.
- Tres espectrómetros acoplados que cubren el espectro electromagnético desde visible-near-infrared (VNIR) hasta shortwave-infrared (SWIR) (380 – 2500 nm) y thermal infrared (TIR) (6000-14500 nm) para determinar mineralogía.
- Cámara de alta resolución (linescan)

El HyLogger-3 posee una mesa que se mueve a 48 mm/seg. Está equipado con instrumentos que miden 3 características: reflectancia espectral VNIR /SWIR /TIR, imagen digital a color, y largo del sondaje. Produce una cobertura continua de estos tres parámetros a lo largo de un perfil uni-dimensional y está preparado para atravesar a lo largo de la parte media de cada sección de sondaje. Produce un arreglo de datos en bruto por cada bandeja. CSIRO desarrolló un software especializado en procesamiento, llamado "The Spectral Geologist" (TSG™), el cual toma los tres flujos de datos en bruto, los limpia así sea necesario, y los asigna en un ambiente donde pueden ser usados en conjunto para interpretación geológica.



Figura 4: Sistema HyLogger 3-8 ubicado en el AMTC de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile. Los espectrómetros y los controles electrónicos se encuentran en la sección azul superior. Debajo de esto, los sistemas de iluminación irradian sobre los bloques de calibración en el comienzo de la mesa de translación X-Y. Los sistemas de adquisición de datos, el control de la mesa X-Y y la unidad de energía se encuentran debajo de la mesa X-Y (M.C.Schodlok *et al.*, 2016).

2.2.2.1. Componentes de datos de HyLogger

2.2.2.1.1. Espectro

El HyLogger tiene tres espectrómetros, un espectrómetro de rejilla que detecta sílice para el rango VNIR [380, 1072] nm; un espectrómetro FTIR (transformada de fourier infrarroja) detector de InSb para el rango SWIR [1072, 2500]nm y un espectrómetro FTIR con un detector foto-conductivo de HgCdTe para él rango TIR [6000, 14500] nm. Funcionalmente el usuario puede tomar el VNIR y el SWIR como uno solo, dado que barren la misma superficie y su espectros están empalmados juntos al momento que el usuario los recibe. El espectrómetro de rango TIR se ubica alrededor de 100nm abajo del VNIR y SWIR. Los espectrómetros TIR y VNIR/SWIR están sincronizados con el software TSG. Los detectores de SWIR y TIR requieren enfriamiento con nitrógeno líquido.

Los espectrómetros VNIR/SWIR no miden reflectancia directamente, miden radiación no calibrada. En cada medición se incluye una medida de espectro de un "cuerpo negro", y una de espectro de teflón estándar (localizado al frente de la bandeja del sondaje). Estos son usados, junto con un archivo externo de calibración Spectralon Standar, para convertir radiación a reflectancia absoluta. El espectro VNIR y SWIR es radiométricamente y espectralmente corregido al momento de ser importando al TSG.

El espectrómetro de TIR tampoco mide reflectancia directamente. El espectro es convertido a reflectancia aproximada por el HyLogger usando calibración de espectro por cada bandeja. Este proceso es similar al del espectro VNIR/SWIR, aunque además esta designado para corregir la temperatura ambiente. Al importar, el TSG guarda la corrección aproximada del HyLogger y hace una corrección más rigurosa usando la calibración del espectro por cada bandeja en conjunto con cuerpo negro y medidas estándares de oro. (El ciclo de medida de cuerpo negro corre al inicio del día). Esta corrección convierte el espectro a radiación calibrada, y luego a reflectancia bidireccional. Inmediatamente después de la importación, TSG corre TSA (The Spectral Assistant) en el espectro del TIR. TSA modela un componente de diferencia de temperatura. (Entrega la diferencia de temperatura entre la muestra que está siendo medida y el background). Este componente es usado para completar la corrección de reflectancia del TIR.

El espectrómetro mide 12 espectros por segundo o un espectro por cada 4 mm a la velocidad estándar de 48 mm/seg. Sin embargo, la impronta espectral no es 4 mm; es alrededor de 12 mm a lo largo y 8 mm a lo ancho. Esto significa que hay una superposición considerable entre espectros vecinos. Para el HyLogger-3, dos espectros adyacentes se promedian juntos para mejorar el índice de "señal de ruido".

2.2.2.1.2. Imagen

El HyLogger tiene una cámara Basler piA1900-32gc para imágenes a color. Captura 12 cuadros por segundo, o uno cada 4 mm. Un cuadro es de alrededor de 120 mm de ancho y 6,5 mm de largo. El campo de visión de la cámara es casi siempre suficiente para los anchos de los sondajes. El exceso de largo (6,5 mm versus 4 mm) ayuda en el proceso de unión de los cuadros. La cámara posee una resolución de 10 pixeles por mm. Sumado al flujo de datos de imagen principal, un cuerpo negro y tres cuadros Teflon son medidos para la corrección posterior de imagen.

2.2.2.1.3. Altura de superficie

El HyLogger tiene un láser perfilométrico simple para medir la altura del sondaje en milímetros sobre la superficie de la mesa, a un ritmo de 768 mediciones por segundo o 64 mediciones por 4 mm de movimiento. El perfilómetro entrega un perfil a lo largo de

la dirección de recorrido. Normalmente el operador del HyLogger ingresa una altura de la bandeja de modo que la altura puede ser corregida posteriormente.

El perfilómetro es posicionado 100 mm al frente de espectrómetro VNIR/SWIR. Durante el escaneo, el objetivo del perfilómetro es parecido al de los espectrómetros. El uso más valioso del flujo de datos del perfilómetro es construir un indicador en donde no exista sondaje. Esto previene que los algoritmos de identificación/caracterización mineral interpreten erróneamente cuando existe poca o nula presencia de sondaje.

2.2.3. THE SPECTRAL GEOLOGIST (TSG)

Para la interpretación de los datos espectrales, CSIRO ha desarrollado un software llamado The Spectral Geologist (TSG™), el cual posee herramientas para el desarrollo de escalares para la caracterización completa de sondajes o chips. Una vez realizado el scanner de sondajes o chips, los datos son traspasados al software TSG. Estos datos son reformateados, y pre-procesados en una primera interpretación mineralógica la cual incluye un análisis de control de certeza y de calidad (QA/QC) (Huntington *et al.*, 2010).

La segunda etapa del análisis corresponde a un enmascaramiento semi-automático de los materiales no geológicos como secciones vacías, tacos de madera, bordes de caja, etc. Estos materiales podrían entorpecer los análisis y llevar a conclusiones erróneas. El proceso de enmascaramiento puede ser bastante rápido, a menos que sea necesaria una edición manual (Figura 5).

Una tercera etapa del análisis corresponde a refinar la interpretación mineralógica automatizada revisando errores estadísticos, considerando el contexto geológico del sondaje y asociaciones mineralógicas, y calculando escalares espectrales para rasgos espectrales como profundidades y longitudes de onda. Una característica importante consiste en que el usuario puede analizar los espectros interactivamente y simultáneamente con las imágenes de las muestras de donde proviene el espectro (Figura 6).

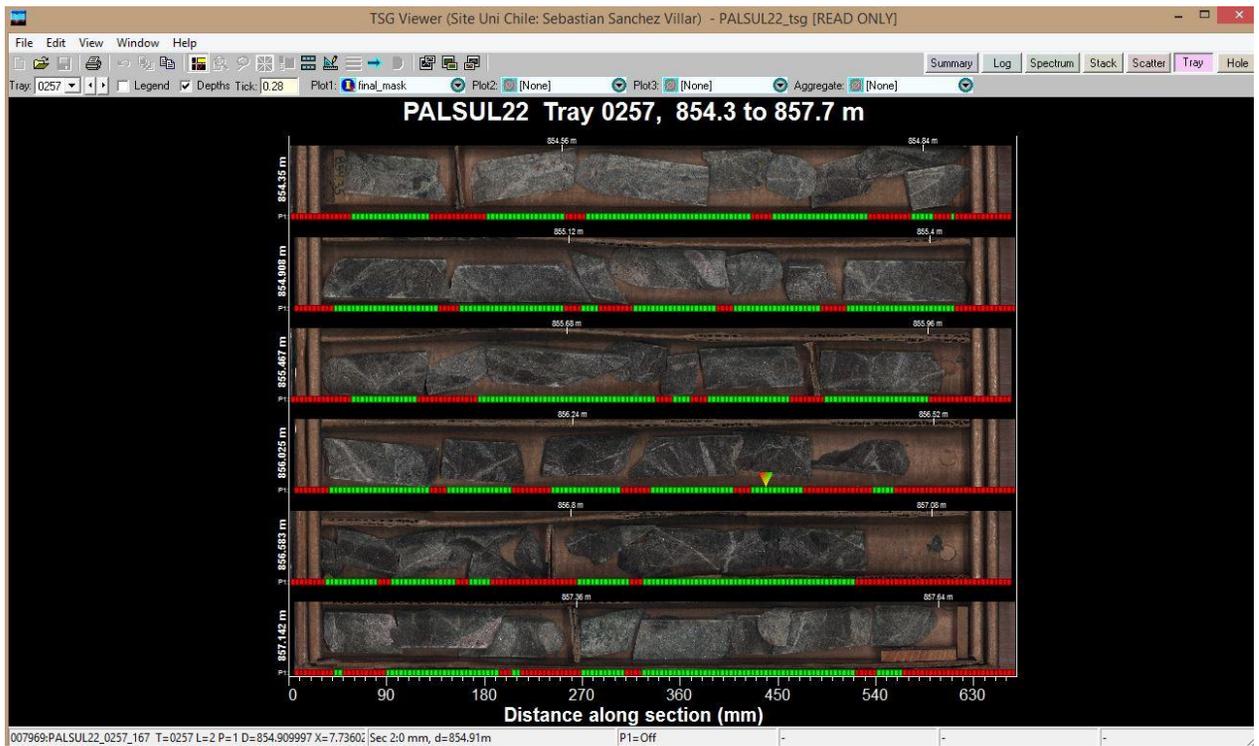


Figura 5: The Spectral Geologist, la imagen muestra los tramos enmascarados que no son considerados en el análisis automatizado. En verde los tramo utilizados y en rojo los tramos excluidos.

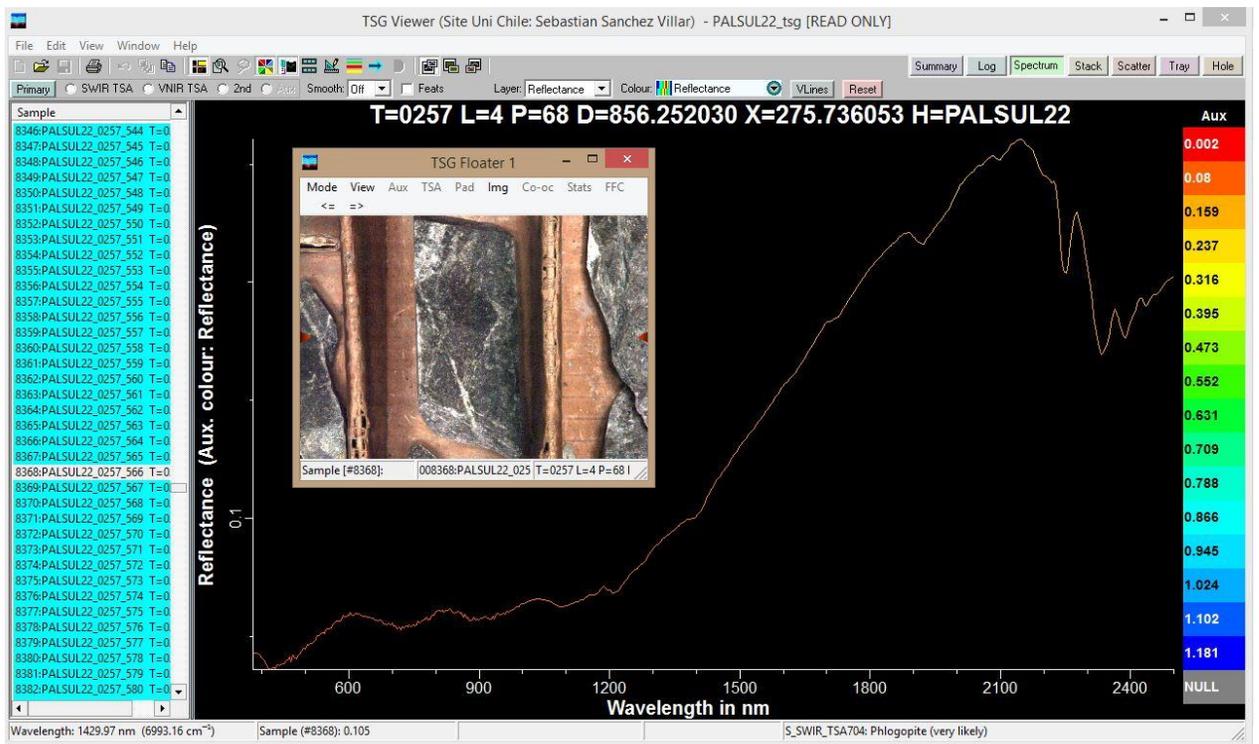


Figura 6: Interfaz de TSG™ donde se puede analizar el espectro simultáneamente con la imagen de la que proviene.

La interpretación mineralógica automatizada mostrada en la Figura 7 es llevada a cabo por un algoritmo llamado “The Spectral Assistant” (TSA™) (Berman *et al.*, 1999). Este algoritmo realiza una clasificación ajustando un espectro formado por espectros de referencia (2 espectros para SWIR, 3 espectros para el TIR, aunque se pueden aumentar así sea conveniente) tomados de una librería de alrededor de 500 espectros. El usuario también puede limitar los pesos y los errores para refinar la interpretación. Este método no es 100% correcto todo el tiempo, sin embargo, con una cantidad suficiente de datos, se puede obtener resultados relativamente objetivos y de manera rápida sobre rocas de caja, regolitos y mineralogía de alteración. El proceso es dependiente de los espectros de referencia, por lo que a veces es necesario utilizar librerías a escala distrital o de depósito. Los porcentajes obtenidos se calculan con respecto a los minerales que se detectados y se cierra en 100%.

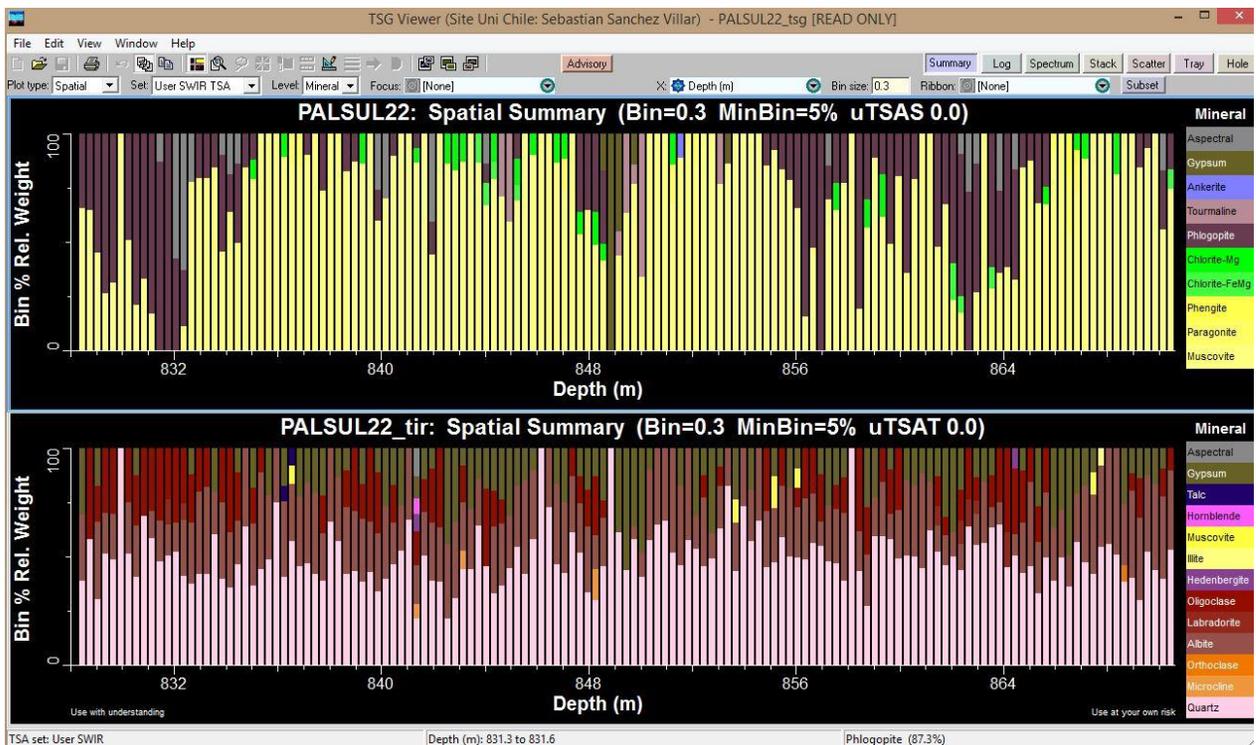


Figura 7: Mineralogía derivada por TSG del escaneo espectral del sondaje PALSUL22 del yacimiento Los Sulfatos. Los intervalos son de 0,3 m y no se consideran los pesos menores a 5%.

3. MARCO GEOLÓGICO

3.1. GEOLOGÍA REGIONAL

El distrito de cobre-molibdeno de Río Blanco-Los Bronces está localizado ~45 km al noreste de Santiago, a elevaciones de 3000 a 4800 m sobre el nivel del mar en la Cordillera de los Andes de Chile central, en la franja de metalogénica del Mioceno

medio a Plioceno temprano (Figura 8). Volcanismo continental tholeítico a calco-alkalino durante el Eoceno tardío y el Mioceno temprano (~36-20 Ma) en una cuenca extensional de tras arco N-S dio origen a las formaciones Los Pelambres, Abanico, y Coya Machalí. En el mio-plioceno, la evolución magmática entre las latitudes 31° y 35° S puede describirse en dos etapas principales (Sillitoe and Perelló, 2005; Perelló *et al.*, 2009). (1) Basaltos tholeiíticos a calco-alkalino hasta rocas volcánicas dacíticas a riolíticas erupcionadas de estratovolcanes y complejos de domo (Formación Farellones) entre el Mioceno temprano a tardío (~18-15, posiblemente 6 Ma), y plutones granodioríticos y pórfidos de cobre emplazados entre ~12 y 8 Ma. (2) Formación de los pórfidos de Río Blanco-Los Bronces y el Teniente durante el Mioceno tardío y el Plioceno temprano (~7,5-4,5 Ma) seguido por intrusiones postmineral de diques lamprófidos (4-3 Ma) en el Teniente (Maksaev *et al.*, 2004; Deckart *et al.*, 2005).

Río Blanco-Los Bronces ocurre al este de la intersección del ridge de Juan Fernandez y la fosa de Chile, en el límite entre dos segmentos tectónicos Andinos mayores: el segmento de *flat-slab* en el cual el ángulo de subducción ha decrecido significativamente desde el Mioceno medio y carente de volcanismo activo, y la Zona Volcánica Sur en la cual el ángulo de subducción es pronunciado (Serrano *et al.*, 1996). La subducción del *ridge* de Juan Fernández, que inició durante el Mioceno medio, causó un aplanamiento progresivo del ángulo de subducción en del segmento de *flat-slab*, migración volcánica, deformación cortical, engrosamiento cortical, levantamiento y erosión (Stern, 1989; Skewes and Holmgren, 1993). La formación de Río Blanco-Los Bronces está asociada temporalmente con los cambios tectónicos regionales que acompañaron la subducción del ridge de Juan Fernández (Skewes and Stern, 1994a).

En los principales pórfidos de cobre-molibdeno y depósitos de cluster en la franja, (Los Pelambres-El Pachón, Río Blanco-Los Bronces, y el Teniente), la mineralización está íntimamente relacionada con stocks multifase y diques de cuarzo monzonita, cuarzo monzodiorita, granodiorita, y cuarzo diorita porfírica. Estas intrusiones altamente oxidadas y medio a alto K-calco-alkalinas fueron emplazadas en rocas ígneas cenozoicas, así como también en el complejo de sill máfico de El Teniente (Skewes *et al.*, 2002). Brechas hidrotermales son el mayor componente mineral en Río Blanco-Los Bronces, así como ocurre en volúmenes más pequeños en Los Pelambres-El Pachón y El Teniente (e.g., Serrano *et al.*, 1996; Camus, 2003; Cannell *et al.*, 2005; Perelló *et al.*, 2009). Diatremas tardías a postminerales en Río Blanco-Los Bronces y El Teniente parecen haber destruido mineralización preexistente (Irrarrazabal *et al.*, 2014).

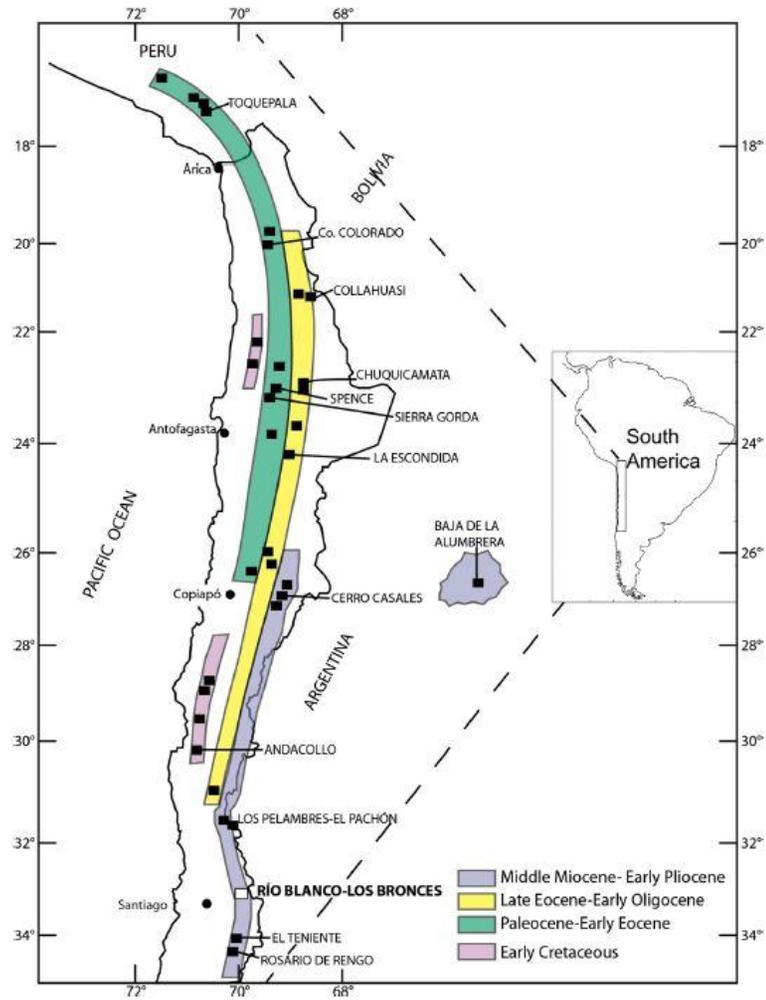


Figura 8. Franjas metalogénicas en el centro-norte de Chile (Deckart *et al*, 2014c)

3.2. GEOLOGÍA DISTRITAL

En base a los tipos de roca, cambios estructurales, y edades, se pueden definir tres dominios geológicos en el distrito. Esto incluye el Bloque Los Piches-Ortiga en el oeste, el Bloque San Manuel-El Plomo en el centro, y el bloque Río Blanco-Los Bronces en el este (Figura 9); (Toro *et al.*, 2012).

3.2.1. BLOQUE LOS PICHES ORTIGA (14,8-12,3MA)

Este bloque contiene las evidencias de actividad hidrotermal más antiguas identificadas en el distrito. Posee un rumbo N-S y mide 8 x 2 km en superficie. En la parte suroeste del bloque un fuerte y amplio metasomatismo Na-Ca-Fe (actinolita-tremolita-scapolita-clorita-epidota-apatita-biotita y pirita-calcopirita local) afectó las rocas volcánicas e intrusivas. El metasomatismo afectó también brechas tardi-magmáticas

contemporáneas. Hacia el oeste, un fuerte metasomatismo potásico con débiles vetillas de biotita tempranas y vetillas tipo A (Gustafson & Hunt, 1975; Gustafson & Quiroga, 1995), ocurrieron en facies de cuarzo monzonita del batolito de San Francisco. Brechas con cemento de cuarzo-turmalina-sericita-pirita cortan los stocks de cuarzo monzonita. Un graben estructural está presente al oeste del área de Ortiga, donde se encuentra preservado un lithocap silicatado con alteración argílica avanzada (cuarzo, pirofilita, alunita, caolinita, y pirita). Vetas asociadas con cuarzo-baritina-alunita-caolinita-especularita-siderita, y conteniendo enargita-tennantita-tetrahedrita/freibergita-bornita-calcopirita, están presentes 3 km al este del prospecto Los Pilches (S.Barassi, C.Castro, y C.Walker, no publicado, reporte para Compañía Minera Disputada de Las Condes, 2004; J.C. Toro, reporte para Anglo American Chile Ltda., 2012).

3.2.2. BLOQUE SAN MANUEL – EL PLOMO (10,8-7,7MA)

Al este de los piches ortiga, estructuras NW, que se extienden por 6 km, definen un corredor de ~3 km de ancho que contiene el bloque de San Manuel-El Plomo. La roca caja ha sido afectada por metamorfismo de contacto, donde pórfidos de cuarzo monzonita del batolito de San Francisco han intruido las rocas volcánicas y volcanoclásticas de las Formaciones Abanico y Farellones. Se definen dos centros hidrotermales: San Manuel y el Plomo. Asociaciones de alteración que contienen biotita hidrotermal en El Plomo, y biotita-feldespato potásico con calcopirita-bornita diseminada en San Manuel afectan las andesitas y se ha superpuesto a las asociaciones vistas anteriormente. Brechas con cemento de turmalina-sericita orientadas N-NW, contienen calcopirita-pirita diseminada y cortan las intrusiones porfídicas y las rocas volcánicas y volcanoclásticas de San Manuel y El Plomo. Una asociación de clorita-magnetita-epidota-calcita superpone las brechas tardi-magmáticas en El Plomo y San Manuel. Una asociación de caolinita-illita-sericita-montmorillonita con calcopirita y pirita diseminada afecta todas las unidades ya mencionadas. Existe una baja a moderada concentración de cobre y molibdeno en ambas áreas (0,1-0,5% Cu; C.Sprohnlé, no publicado. reporte para Anglo American Chile Ltda, 2007). En el Plomo, edades U-Pb desde $10,8 \pm 0,1$ a $10,77 \pm 0,1$ Ma (Toro *et al.*, 2012), determinadas para las primeras fases porfídicas (pórfido cuarzo monzonítico), son ligeramente más antiguas que las medidas $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ obtenida de sericita de las brechas de turmalina ($10,6 \pm 0,2$ Ma) y de biotita secundaria de la andesita de $10,1 \pm 0,1$ Ma (Deckart *et al.*, 2009). En San Manuel, edades U-Pb determinadas para el feldespato porfírico de $10,2 \pm 0,3$ Ma son considerablemente más antiguas que edades Re-Os obtenidas de molibtenita, determinada para el más joven de los eventos hidrotermales ($8,36 \pm 0,06$ Ma) y edad $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ obtenida de biotita secundaria del pórfido cuarzo monzonítico ($7,7 \pm 0,1$ Ma) (Deckart *et al.*, 2009).

3.2.3. BLOQUE RÍO BLANCO - LOS BRONCES - LOS SULFATOS (8,2-4,3 MA)

El Bloque Río Blanco-Los Bronces-Los Sulfatos comprende los principales sistemas magmático-hidrotermales del distrito y contiene la mayor parte de la mineralización económica reconocida actualmente. Estructuras N-NW, extendiéndose por cerca de 10 km, definen un corredor mineralizado de ~2 km de ancho. Emplazamientos de enjambre de diques, brechas y mineralización dentro del bloque parecieran haber seguido fallas de basamento profundas orientadas N-NW que definieron el corredor estructural Río Blanco-Los Bronces (Silva *et al.*, 2009). Foliación desarrollada en fenocristales de plagioclasas y biotita hidrotermal, vetas de cuarzo subparalelas, y fracturas centimétricas sigmoidales de anhidrita proporcionaron evidencia para el carácter sintectónico de la actividad hidrotermal. Entre 20% y 30% del cobre está asociado a rocas ígneas y brechas hidrotermales. El relleno de las brechas incluye, polvo de roca, turmalina, biotita, clorita, especularita y magnetita. El cemento de la brecha gradada verticalmente desde cuarzo-turmalina-especularita-sericita-kaolinita-pirita-calcopirita en niveles someros a cuarzo-biotita-feldespato potásico-magnetita-calcopirita-bornita en niveles profundos (Vargas *et al.*, 1999). Asociaciones hidrotermales tienen relaciones espaciales con diorita multifásica, cuarzo monzonita y diques porfídicos dacíticos. Relaciones de corte sugieren que el colapso del sistema hidrotermal coincide con el emplazamiento de varios cuerpos subvolcánicos y el desarrollo de conductos de diatrema. Diques dacíticos y andesíticos y brechas locales con cemento de cuarzo-turmalina-pirita-calcopirita emplazados en las diatremas representan la actividad hidrotermal más joven del bloque. Eventos tardíos, generalmente asociados a fallas extensionales NE, comprenden vetas de cuarzo-pirita-tennantita-enargita, galena, esfalerita, pirita-calcopirita, yeso-anhidrita, ankerita y dolomita con sericita, illita, caolinita, o halos de clorita-epidota.

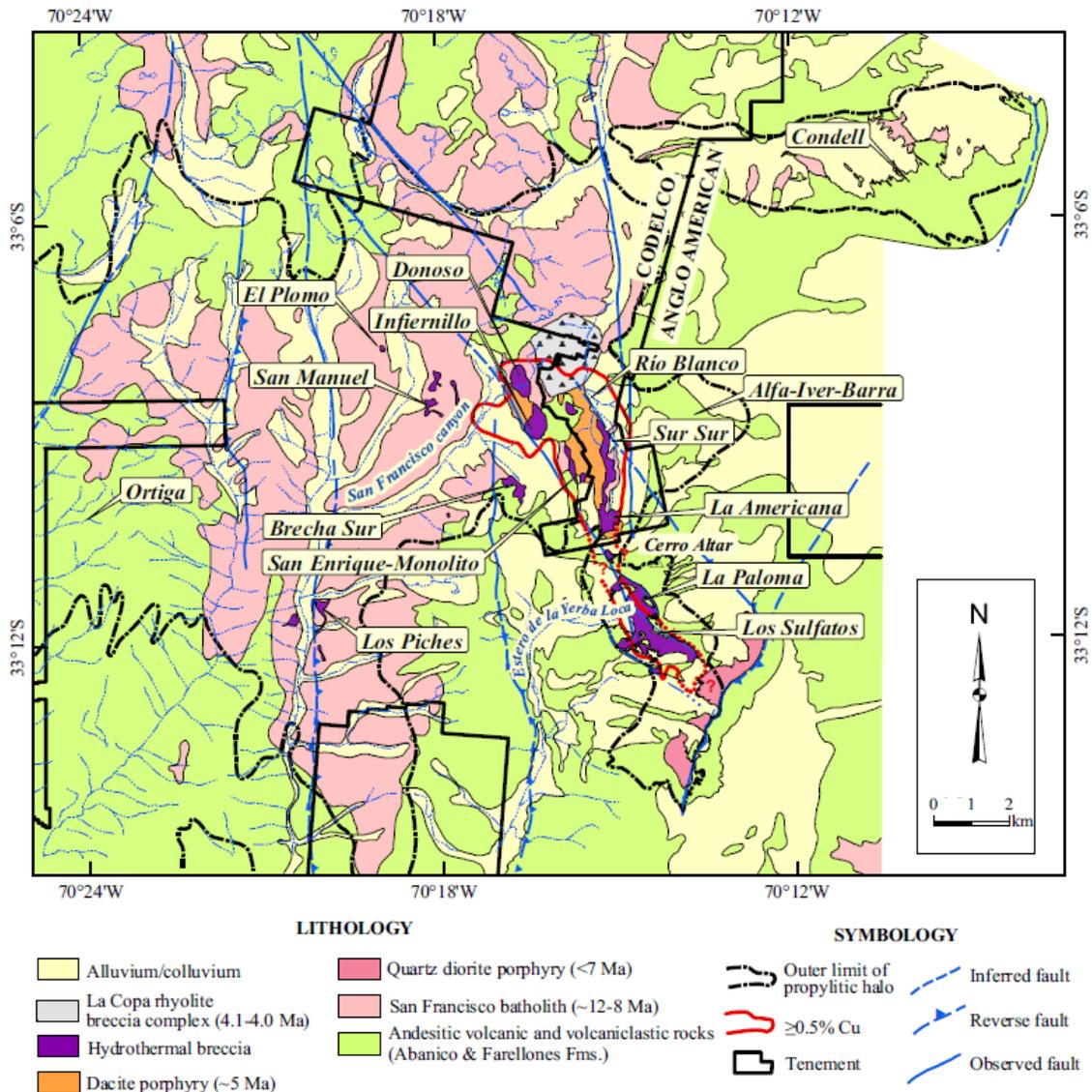


Figura 9. Geología simplificada del distrito Rio Blanco-Los Bronces. Muestra la ubicación de los principales depósitos y prospectos (Irrazabal *et al.*, 2014).

3.3. GEOLOGÍA DEL DEPÓSITO

Los Sulfatos comprenden un extenso y multifásico complejo de brecha de cemento ígneo/hidrotermal, con al menos dos centros separados de pórfidos de cobre, uno en Los Sulfatos y otro en La Paloma (Figura 10). La mineralización ocurre en un corredor N-NW de 6 km de largo. Rocas volcánicas y volcanoclásticas de la formación Abanico y Farellones, subhorizontales a plegadas, afectadas por alteración propilítica en superficie, subyace el área de Los Sulfatos. El batolito San Francisco instruye estas unidades volcánicas y volcanoclásticas. Una asociación de biotita hidrotermal \pm feldespato potásico con cobre presente en vetillas EB-, A-y B-afecta fuertemente el lado sur del stock de Los Sulfatos y las rocas volcánicas en profundidad (Toro *et al.*, 2012).

3.4. UNIDADES DE LOS SULFATOS (ZAMORANO y PABLO, 2013)

3.4.1. ROCA CAJA

3.4.1.1. Andesita

Corresponde a la roca de caja. Unidades de rocas de dominio volcánico de textura porfírica, de composición intermedia. Fenocristales de plagioclasas orientadas y piroxenos en masa fundamental con plagioclasas y material felsítico intersicial de aspecto recristalizado, con biotita, clorita, illita y turmalina. Tiene vetas tempranas hasta tardías y varios grados de alteración.

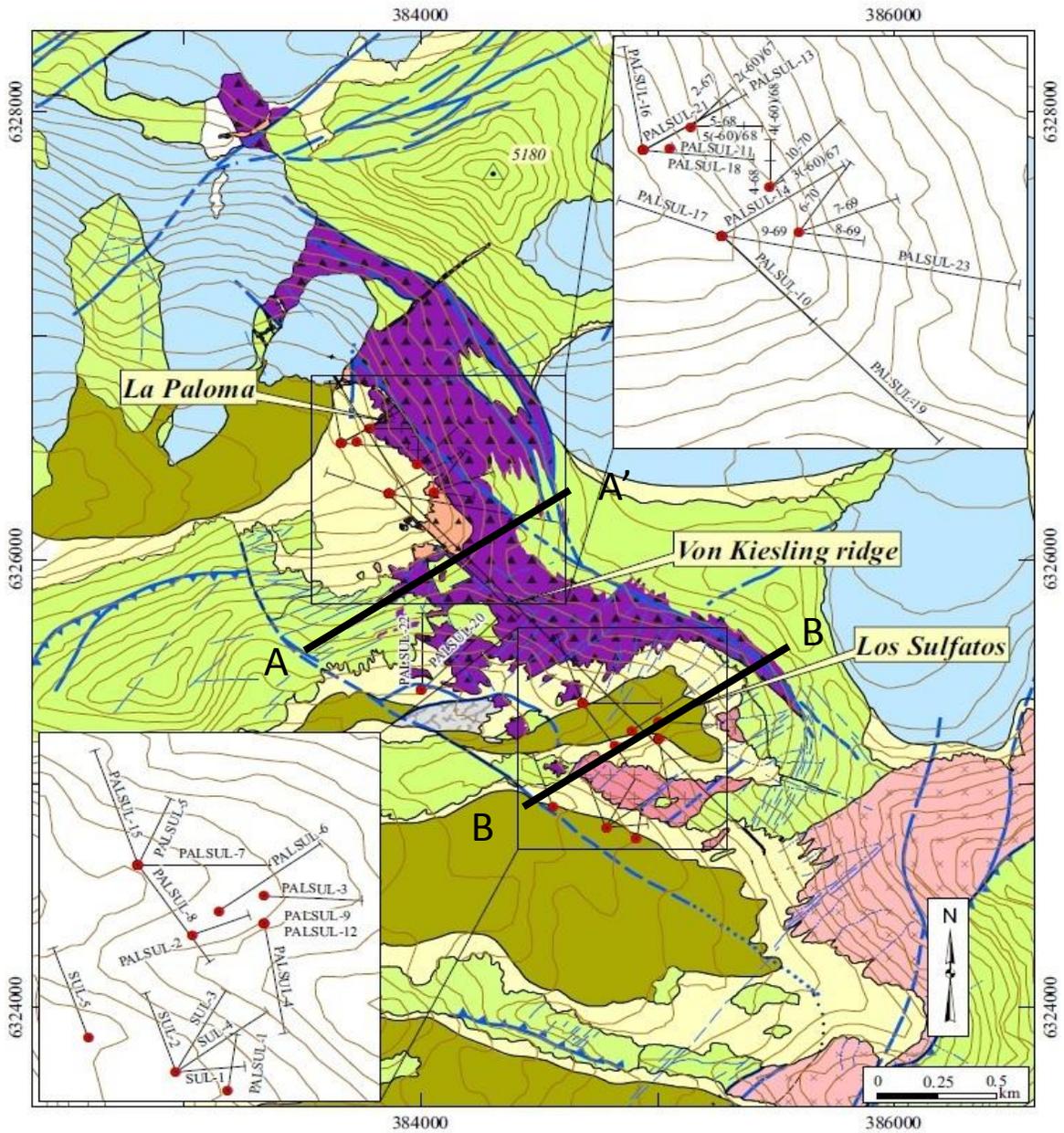
3.4.1.2. Cuarzo monzonita fina (QMF)

Corresponde a roca de caja. Roca plutónica fanerítica de textura equigranular a hipidiomórfica inequigranular, de grano medio (3-0,5 mm). Fenocristales de plagioclasa, anfíbol, biotita y masa fundamental afanítica con ojos de cuarzo. Alteración potásica tardimagmática afecta principalmente a la fase temprana de anfíbol y está en equilibrio con biotita magmática.

3.4.2. PÓRFIDO

3.4.2.1. Pórfido Intermineral Principal (PIP)

Roca intrusiva de textura porfírica de composición diorítica a granodiorítica, que exhibe vetas tempranas, de tipo A-, B- y/o EB-. Tiene hasta 95% de fenocristales de textura y apariencia variable debido al cambio en la pervasividad de alteración potásica, sericítica y albítica. Corresponde a un pórfido de plagioclasas, biotita y feldespatos potásicos. El color de la roca es variable entre gris y rosado, alteración potásica con parches color café (biotización). Posee algunos tintes verdosos debido a sericitización.



LITHOLOGY

Area not mapped	Dacite dike (late/postmineral)	Drill hole
Glacier	Tourmaline-dominated, magmatic-hydrothermal breccia	Section
Alluvium/colluvium	Los Sulfatos granodiorite porphyry complex	Observed fault
Lacustrine deposit	La Paloma igneous/magmatic-hydrothermal breccia	Inferred fault
Moraine	Andesitic volcanic rocks	Reverse fault
Dacite porphyry (postmineral)		Second-order fault

Figura 10. Mapa geológico de superficie, con las secciones escogidas (modificado de Irrazabal et al., 2010).

3.4.2.2. Pórfido Intermineral Tardío (PIT)

Roca porfírica dacítica a riódacítico con ausencia de vetas tempranas. Roca plutónica leucocrática con textura porfírica. Tiene entre 65%-90% fenocristales de plagioclasa con alteración variable a sericita (gris, blanca o verde) y argílica (especialmente cuando forman clastos en la BXT). Alteración potásica leve o ausente en la masa fundamental. Los escasos anfíboles están alterados a biotita secundaria. El color de la roca es variable entre gris a crema verde dependiendo de la alteración. Tiene algunos tintes verdosos asociados a sericitización. Puede contener mineralización de calcopirita y/o bornita, en vetilleos C-, D- y E, y puede presentar mineralización de calcopirita diseminada.

3.4.2.3. Pórfido Postmineral (PPM)

Roca porfírica dacítica con ausencia de mineralización de sulfuros. Roca leucocrática de color gris claro blanco y rosado. Aproximadamente 50%-80% fenocristales de plagioclasas, feldespatos, albita y cuarzo. Presenta alteración débil a arcillas, sericita, clorita y calcita. Escasas vetillas tipo D, con mineralización de pirita y menor calcopirita (Leyes siempre menor a 0,1% CuT).

3.4.3. BRECHAS

3.4.3.1. Brecha Ígnea o Magmática (BXI o BXM)

Brecha relacionadas al evento potásico, brechas generadas por el emplazamiento de cuerpos subvolcánicos con sobreimposición potásica y en menor medida biotítica.

3.4.3.2. Brecha de Turmalina (BXT)

Brecha hidrotermal (tipo caótica a craquelamiento) cuyo componente de matriz principal corresponde a turmalina con proporciones variables de polvo de roca y anhidrita. Posee clastos de PIP pero principalmente de PIT subredondeados a angulosos y algunos clastos de otras brechas y roca de caja. Alterada principalmente a sericita y argílica en los clastos (fenocristales y masa fundamental). Los clastos a veces tienen alteración de turmalina semi-pervasiva.

3.4.3.3. Brecha de Biotita (BXB)

Una brecha de matriz de biotita hidrotermal con clastos de la roca caja y PIP. Clastos subredondeados con alteración cuarzo-sericita, potásica con sectores de biotita sobreimpuesto.

3.4.3.4. Brecha Polvo de Roca (BXPR)

Corresponde a una brecha caótica con clastos redondeados, polimíctica, y matriz de polvo de roca generalmente de oscuro a gris.

3.4.3.5. Brecha Hidrotermal (BXH)

Brecha con clastos de roca caja, PIP, PIT y otras brechas, con matriz compuesta de turmalina, anhidrita, dolomita y yeso.

3.5. PARAGÉNESIS DE ALTERACIÓN Y MINERALIZACIÓN

La historia hidrotermal empieza con el emplazamiento de pulsos subvolcánicos de composición qzo-diorita, qzo-monzonita a monzonita, sobre un background andesítico de las formaciones Abanico y Farellones. A lo menos 3 pulsos (Figura 11) fueron acompañados por alteración potásica – feldespato potásico y/o albita y/o silicificación- y alteración biotítica secundaria, con una importante contribución de mineralización de cobre caracterizada por calcopirita y/o bornita. El primer sub-evento, o primeros pulsos fueron acompañados por una profusa biotitización de la roca de caja – volcánica intermedia- y menor alteración potásica, dando origen a un intenso oscurecimiento de la roca, el que fue acompañado por una débil mineralización de calcopirita. Los posteriores pulsos tempranos, dieron origen a la formación de grandes cuerpos de brechas magmáticas (y en menor medida brechas de biotita). Las primeras fueron acompañadas de una intensa alteración potásica (feld-k-albita sílice-biotita) con fuerte mineralización de calcopirita y/o bornita de preferencia diseminada y en menor medida en vetillas tipo A – se cree que este evento es el que conlleva el mayor aporte de mineralización de cobre, desde el punto de vista de volumen versus ley. Los cuerpos de brechas de biotita, corresponden a craquelamientos, y en forma muy disminuida a brechas locales, con rellenos de biotita hidrotermal y poco contenido de cobre en calcopirita. Casi terminando el evento temprano, ocurre un episodio de anhidrita. Este corresponde a anhidrita cristalina a traslúcida que ocurre en forma de vetillas tipo *stockwork*, con contenidos menores de bornita y calcopirita, diseminadas. La ocurrencia estaría circunscrita a la envolvente potásica.

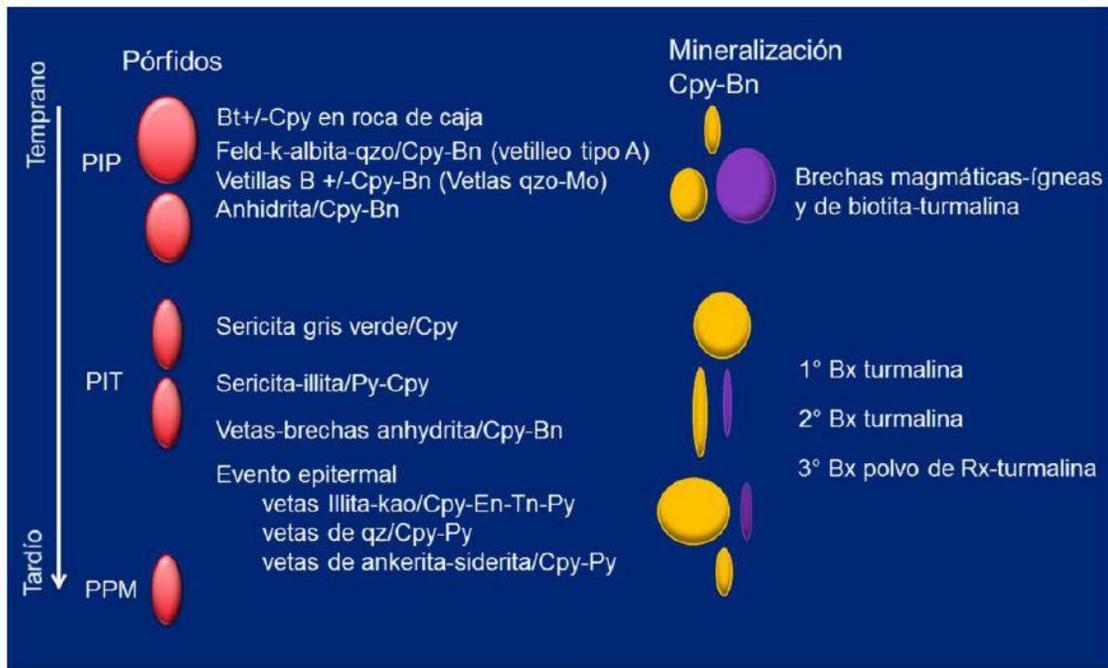


Figura 11. Evolución magmática hidrotermal Los Sulfatos. El tamaño de los círculos indica la magnitud de los procesos (Zamorano y Pablo, 2013).

La evolución del sistema continúa con el emplazamiento de una serie de pulsos, de composición cuarzo-diorita a cuarzo-monzonita, que al parecer no fueron afectados por la alteración potásica. Los pulsos dieron origen a cuerpos de brecha de contacto, pero carecieron de alteración potásica, como el mencionado anteriormente. Sin embargo, su emplazamiento fue acompañado por un importante evento de sericita gris-verde con mineralización diseminada de cobre en calcopirita. Este evento se superpone, en parte, al evento anterior re-movilizando cobre y re-depositándolo como calcopirita. Es considerado el primer fenómeno de hidrólisis en el sistema. Desde el punto de vista mineralización versus volumen, este episodio es considerado el segundo de mayor importancia.

Posteriormente al episodio de sericita 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 superpuestos unos sobre otros, son observados en los sondeos, al interior del túnel y en la superficie. Los primeros cuerpos corresponden a los cuerpos de mayor tamaño, y en la medida que evoluciona el sistema los nuevos cuerpos disminuyen en tamaño y en componente hidrotermal, dando paso a la formación de cuerpos de brechas de turmalina de polvo de roca. Estos cuerpos, los cuales poseen forma de embudo invertido, tienen dimensiones que alcanzan por sobre los 3,4 km de largo (NNW-SSE), 1,1 km de ancho (ENE-WSW), y casi 0,9 km en el sector sur. Verticalmente pueden alcanzar 1 km soportados por centros con orientación NNE-SSE.

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

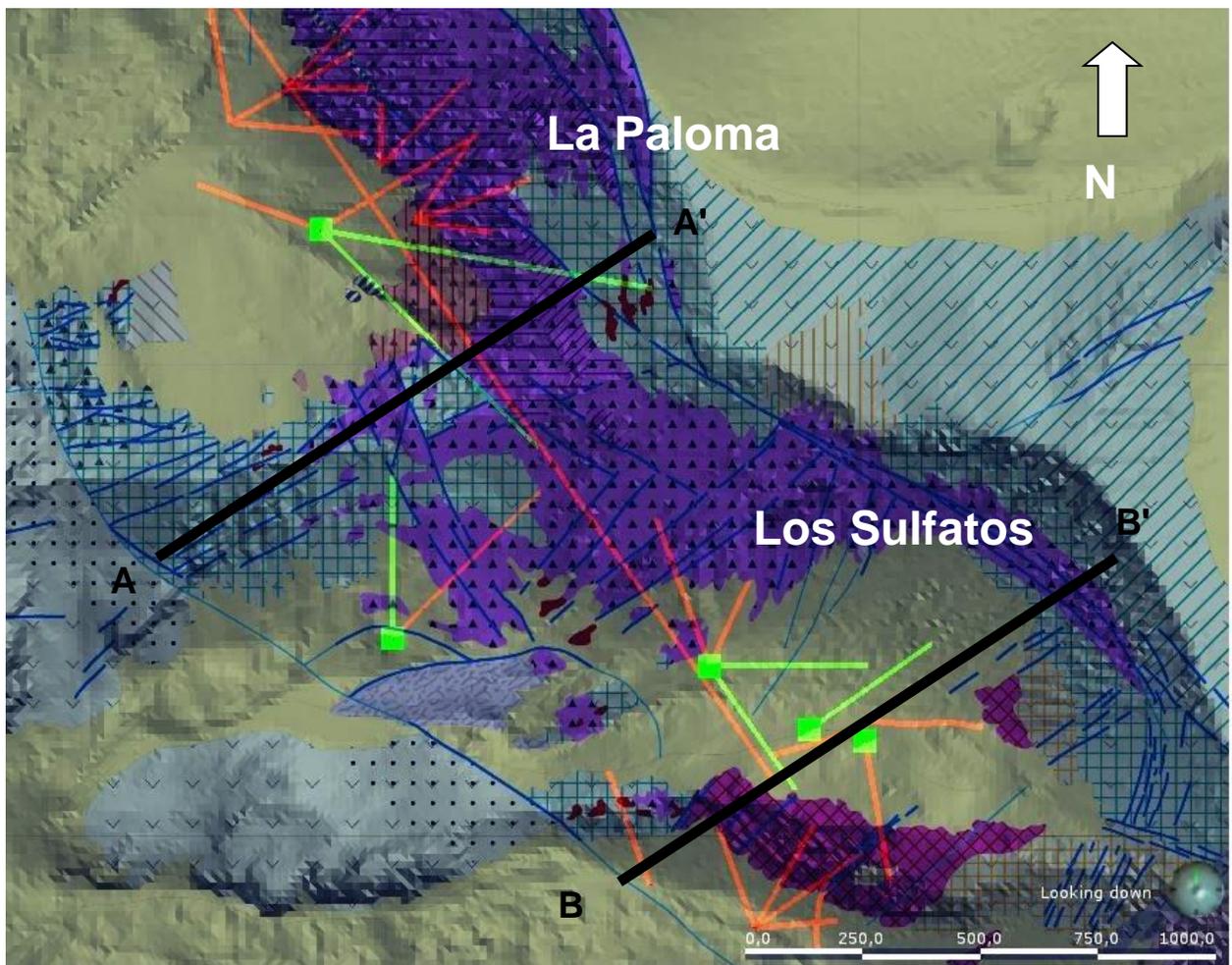
Finalmente ocurre un evento epitermal controlado por estructuras NE a EW. Este evento comienza como un sistema de alta sulfuración y paulatinamente transita hacia uno de baja sulfuración. Lo anterior es evidenciado en tres sub-eventos de rellenos de vetas y vetillas: El primero corresponde a vetas de Cpy y/o Py con halos de kaolinita-illita; un segundo corresponde a vetas de cuarzo blanco con menor calcopirita, y finalmente un sub-evento de calcopirita-ankerita+/-siderita. 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 claridad a una parte de la brecha de turmalina y roca circundante, generando craquelamientos y muy localmente, brechización en la roca. Este evento correspondería al tercer evento de importancia en términos de ley respecto al volumen.

4. METODOLOGÍA

4.1. SELECCIÓN DE SONDAJES

Se escogieron dos secciones paralelas (secciones AA' y BB', Figura 12), cuya disposición es elegida de modo de representar el sector de La Paloma (Sección AA') y el sector de Los Sulfatos (Sección BB'). Los tramos a analizar son escogidos en profundidad, bajo los 600 m, de modo de caracterizar las alteraciones más profundas, en este caso alteración potásica y sericítica. Son elegidos 4 sondajes por sección (Tabla 1 y Tabla 2); (Figura 12) de modo de poseer la mayor variabilidad con respecto a litología y alteración.

Estos sondajes son descritos macroscópicamente desde los 600 m hasta fin de pozo en la bodega de Colina de Anglo American. Para efectos del mapeo se desarrolla una tabla de mapeo acorde a las características del yacimiento especificadas en el protocolo de mapeo de ANGLOAMERICAN Los Sulfatos (ANEXO I, Imagen 1).



LITHOLOGY

Area not mapped	Tourmaline-dominated, magmatic-hydrothermal breccia	Drill hole
Glacier	Los Sulfatos granodiorite porphyry complex	Section
Alluvium/colluvium	La Paloma igneous/magmatic-hydrothermal breccia	Observed fault
Lacustrine deposit	Andesitic volcanic rocks	Inferred fault
Moraine		Reverse fault
Dacite porphyry (postmineral)		Second-order fault
	Dacite dike (late/postmineral)	

Figura 12: Geología simplificada del yacimiento Los Sulfatos. Se muestran las secciones es escogidas, los sondajes seleccionados (verde) y los sondajes no seleccionados (rojo)

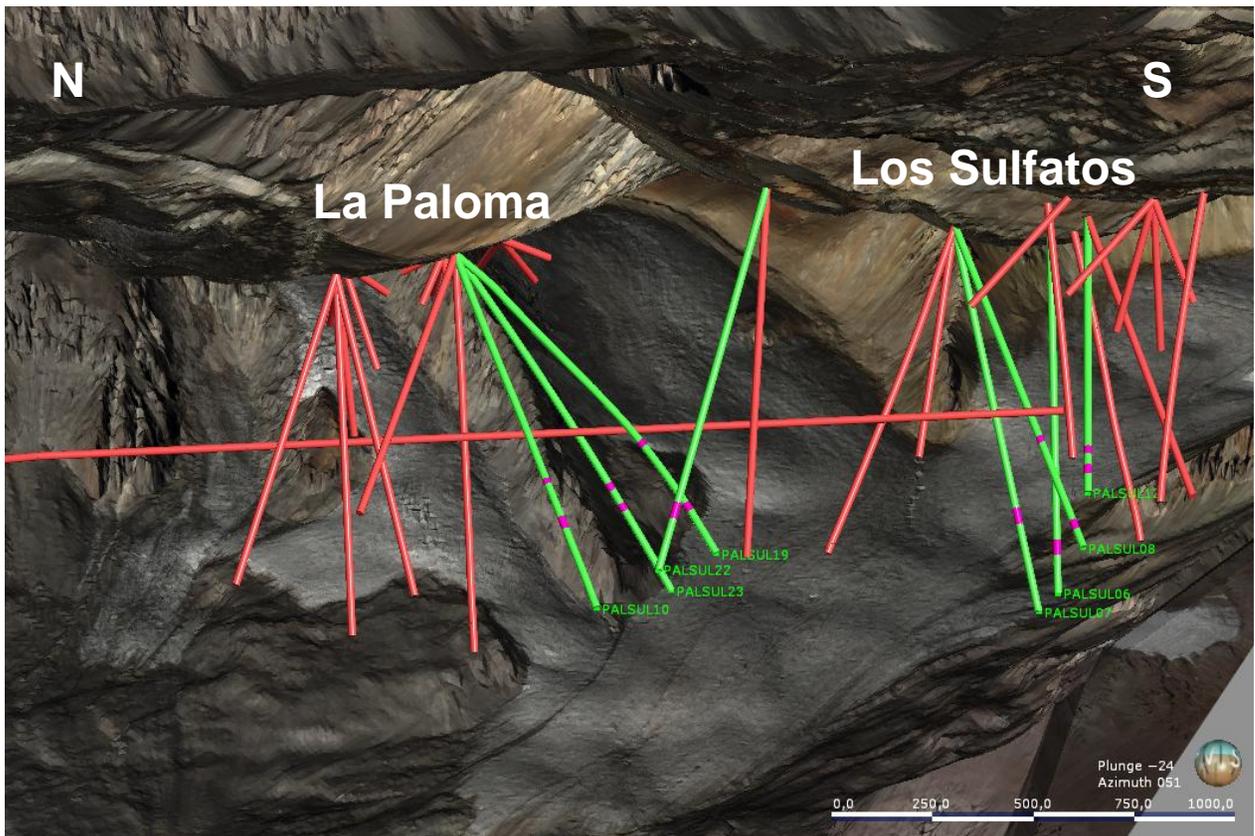


Figura 13: Sondajes de tramos no seleccionados (rojo), sondajes seleccionados (verde) y tramos seleccionados (fucsia).

4.2. ANÁLISIS HYLOGGER

De los 8 sondajes se seleccionaron 350 m de sondaje, divididos en 18 tramos representativos (Tabla 1, Tabla 2 y Figura 13). Estos tramos se escogieron tomando en cuenta litología, alteración, grado de alteración, leyes, mineralización de mena, calidad del tramo e importancia. Fueron enviados a análisis HyLogger-3 en el AMTC de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile. Los datos obtenidos por el HyLogger-3 fueron automáticamente procesados por el software The Spectral Geologist el cuál realiza una interpretación automática de los datos enmascarando los tramos no relevantes para la interpretación (tacos, espacios vacíos, etc.). Luego se procedió a revisar los datos obtenidos para enmascarar tramos que no habían sido descartados por el análisis automático.

4.2.1. ANÁLISIS MUSCOVITA

Se realizó un escalar para la determinación de la ubicación del peak de la banda del Al-OH (2190 nm - 2220 nm) de la muscovita en el eje horizontal de longitud de onda. El detalle de los parámetros utilizados se observa en la Figura 14.

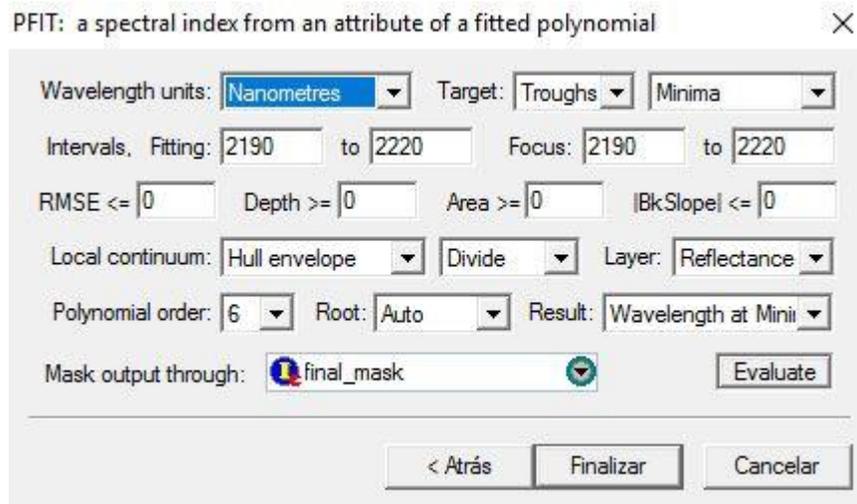


Figura 14: Parámetros utilizados para la determinación del peak de la banda del Al-OH.

Para el análisis solo se utilizaron los datos donde existía un porcentaje relativo mayor al 50% de muscovita.

4.3. ANÁLISIS DE DIFRACCIÓN RAYOS X

Se seleccionaron 39 pulpas (Figura 15) (Tabla 1 y Tabla 2) de modo de caracterizar todos los tramos escogidos. Las pulpas representan compósitos de 3 m. Se realizó un análisis cuantitativo de difracción de rayos X en el departamento de Ingeniería en Minas de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile.

4.4. CORTES TRANSPARENTES Y PULIDOS

Se realizaron 18 cortes transparentes-pulidos estándar (Figura 16), uno por cada tramo representativo (Tabla 1 y Tabla 2), a los cuales se les hizo una descripción litológica y de alteración enfocado a la mineralogía. Se obtuvo un corte por cada tramo representativo.

4.5. ANÁLISIS QUÍMICO MULTI-ELEMENTO

La composición de la roca es determinada mediante el análisis químico por agua regia, ICP-OES e ICP-MS de las pulpas ya existentes y correspondientes a los tramos seleccionados.

4.6. COMPARACIÓN DE DATOS

En el caso de petrografía, se considera que los minerales observados en los cortes caracterizan los tramos de los que fueron adquiridos. Luego estos minerales se comparan con los obtenidos por el HyLogger en el mismo tramo.

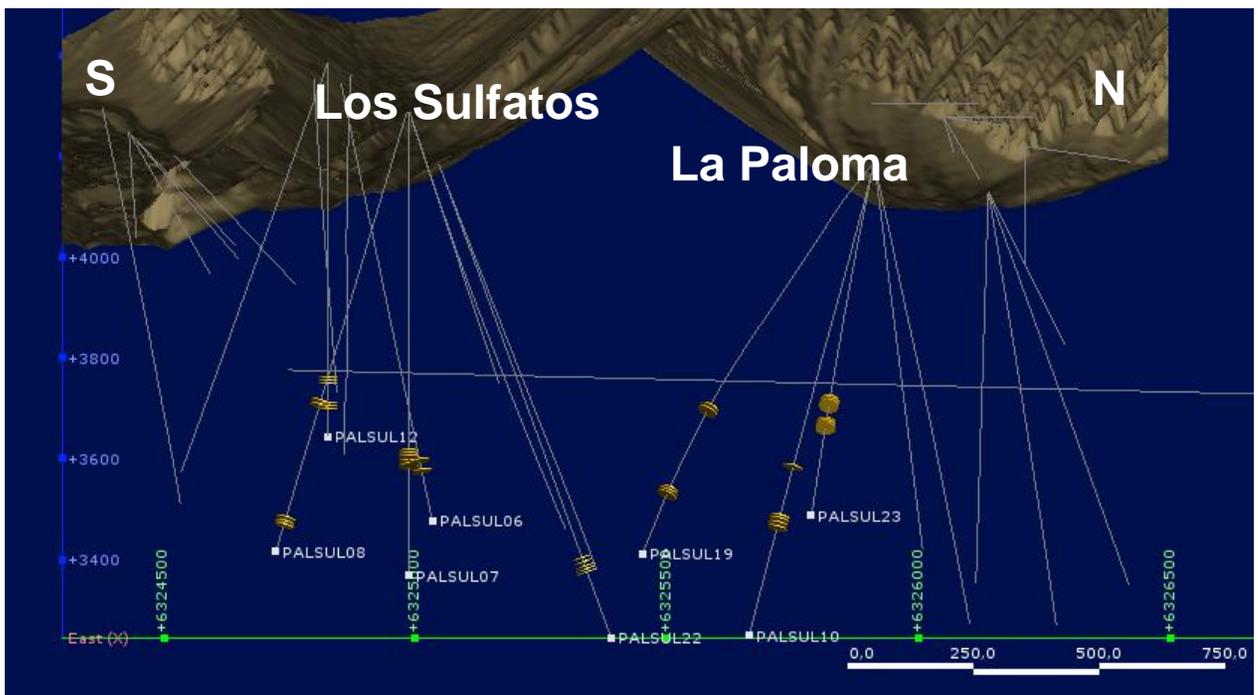


Figura 15. Ubicación de pulpas dentro del yacimiento (color mostaza).

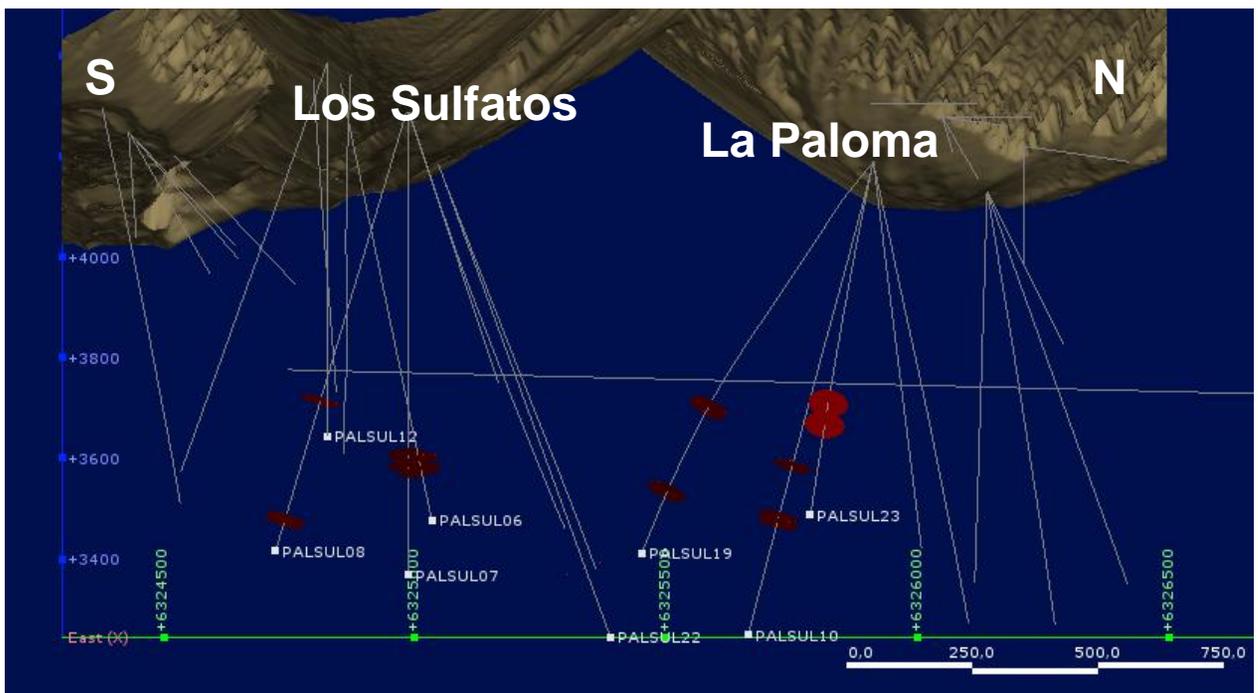


Figura 16. Ubicación de cortes transparentes y pulidos dentro del yacimiento (color rojo).

Para el análisis XRD, cada muestra de pulpa está compuesta a 3 m de sondaje, de este modo, para hacer la comparación, se compositan los datos entregados por el HyLogger a 3 m, y se compararan directamente los minerales obtenidos por XRD y HyLogger en los mismos tramos representativos.

Para la geoquímica se realizaron *boxplot* que grafican la concentración de los elementos Al, K, Na, Ca, Fe, Mg y S según las alteraciones potásica, biotítica y sericítica, de modo de observar la concentración de elementos mayores en las diferentes alteraciones y compararlos con los minerales obtenidos en estas. Se escogieron estos elementos dado que se encuentran en mayor concentración en los minerales que se obtuvieron en este estudio. Los compósitos de cada muestra corresponden a 15 m y se utilizaron todas las muestras bajo los 650 m de profundidad para la realización de los *boxplot*.

Para la comparación de alteración se desarrolla una clasificación automatizada de alteración utilizando la mineralogía obtenida por el HyLogger y XRD. Dado que existe una preponderancia en cuarzo, albita y muscovita, y bajo porcentaje de otros minerales de asociación (microclina, ortoclasa, biotita), la clasificación utilizando los datos HyLogger se realiza por medio de la aparición de minerales indicadores. Se considera alteración potásica si es que se detecta microclina u ortoclasa, de no detectarse estos minerales se pasa a la flogopita para la alteración potásica-biotítica. Por último de no detectarse ninguno de estos minerales la muestra se considera como alteración sericítica o indeterminada si es que no se encuentra muscovita.

Para la clasificación utilizando los datos XRD, se considerará como alteración potásica si se encuentra feldespatos potásicos en proporción mayor a 5%, de no ser así se compara el porcentaje entre flogopita y sericita, la que fuese mayor determina la alteración biotítica o sericítica, respectivamente. Ambas tienen que cumplir la condición de porcentaje mayor a 5%. De no cumplirse esta condición en ninguno de los minerales indicadores, se considera como alteración indeterminada.

Posteriormente se comparan estos resultados con los mapeos existentes realizados en este estudio y por Anglo American (Mapeo simplificado).

Por último se realiza un modelo de alteración en LeapFrog™ utilizando los datos obtenidos por HyLogger y se compara con el modelo geológico existente.

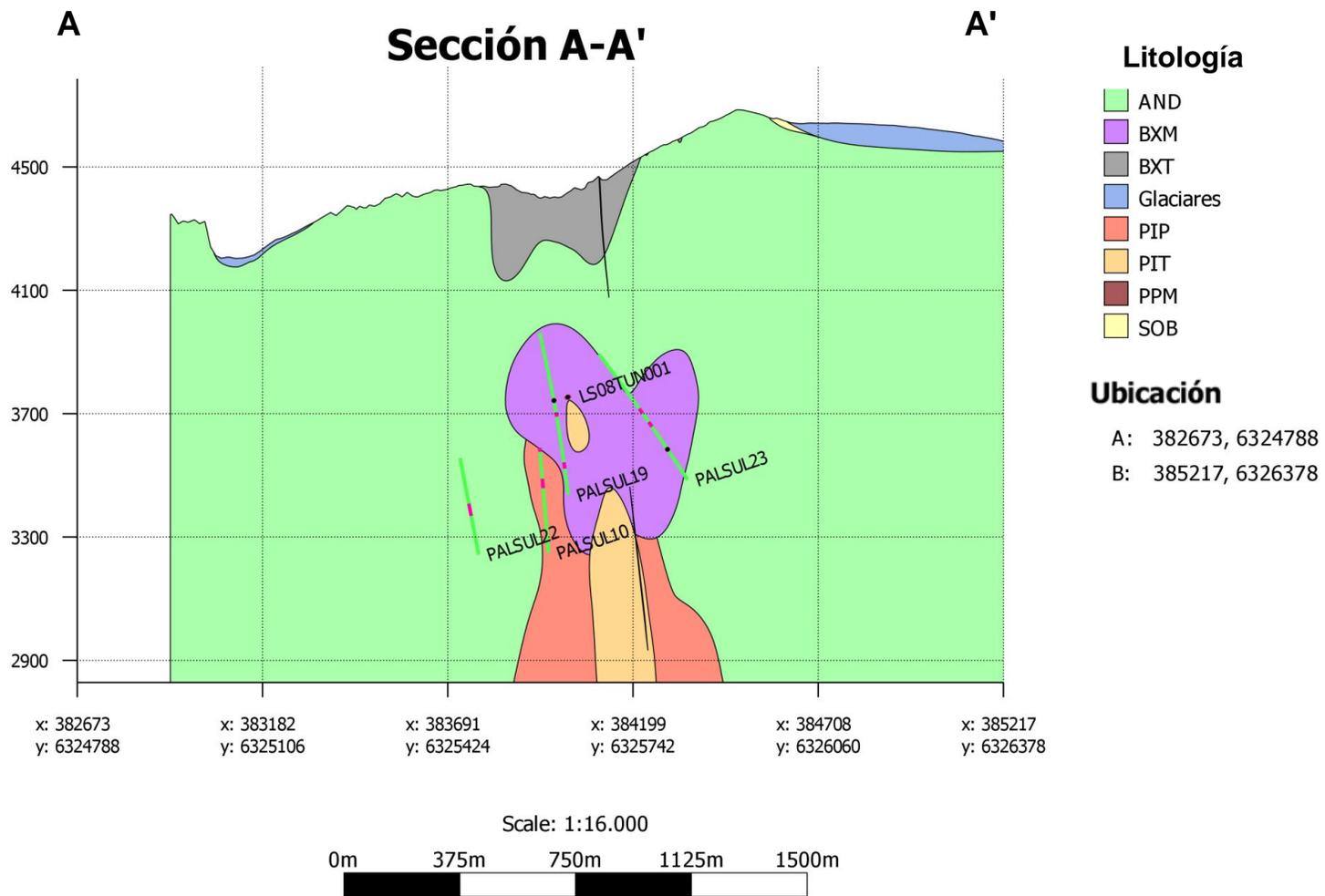


Figura 17: Sección A-A' con Litología mostrando la ubicación de los sondajes (verde) y los tramos (fucsia).

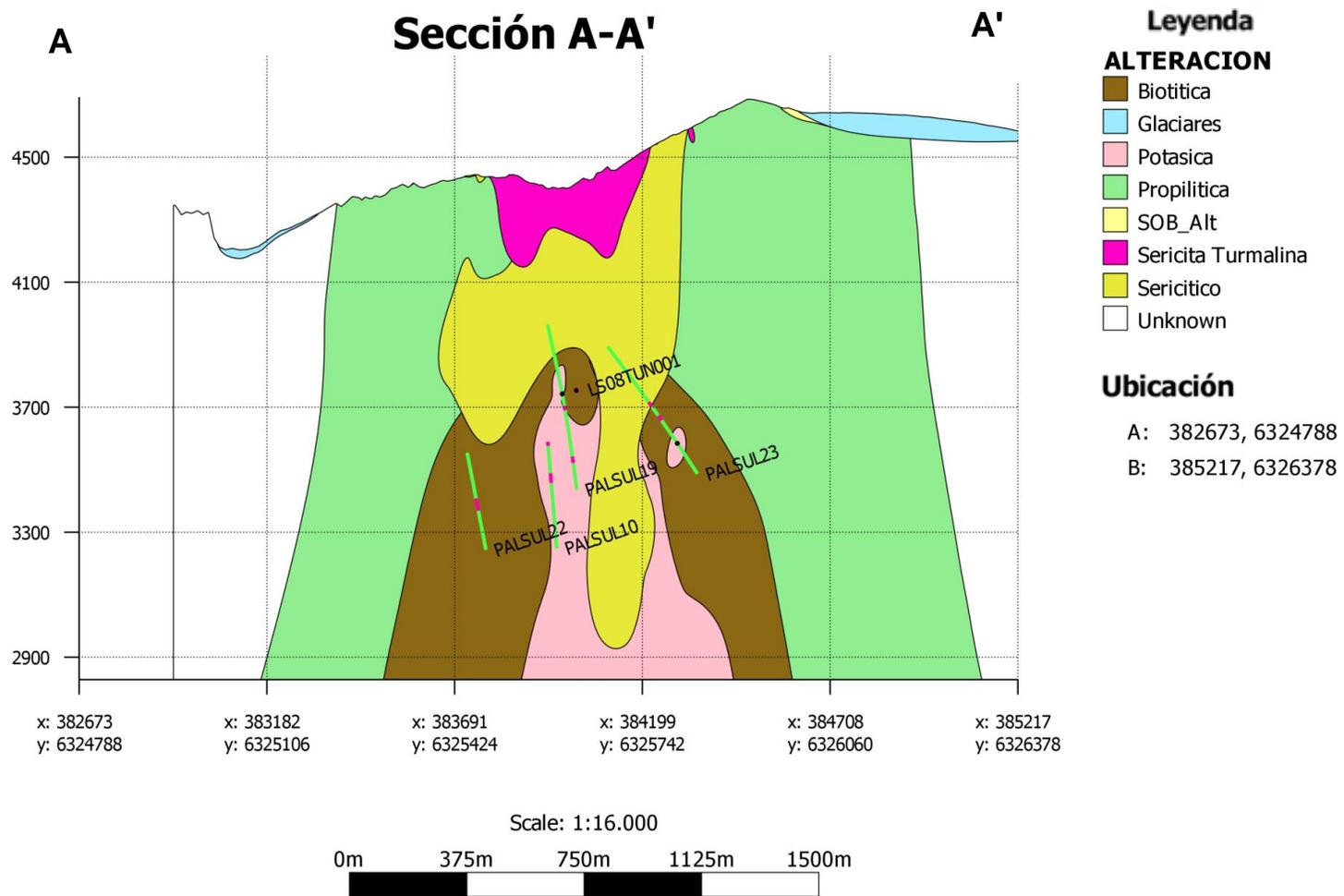


Figura 18: Sección A-A' con Alteración mostrando la ubicación de los sondajes (verde) y los tramos (fucsia).

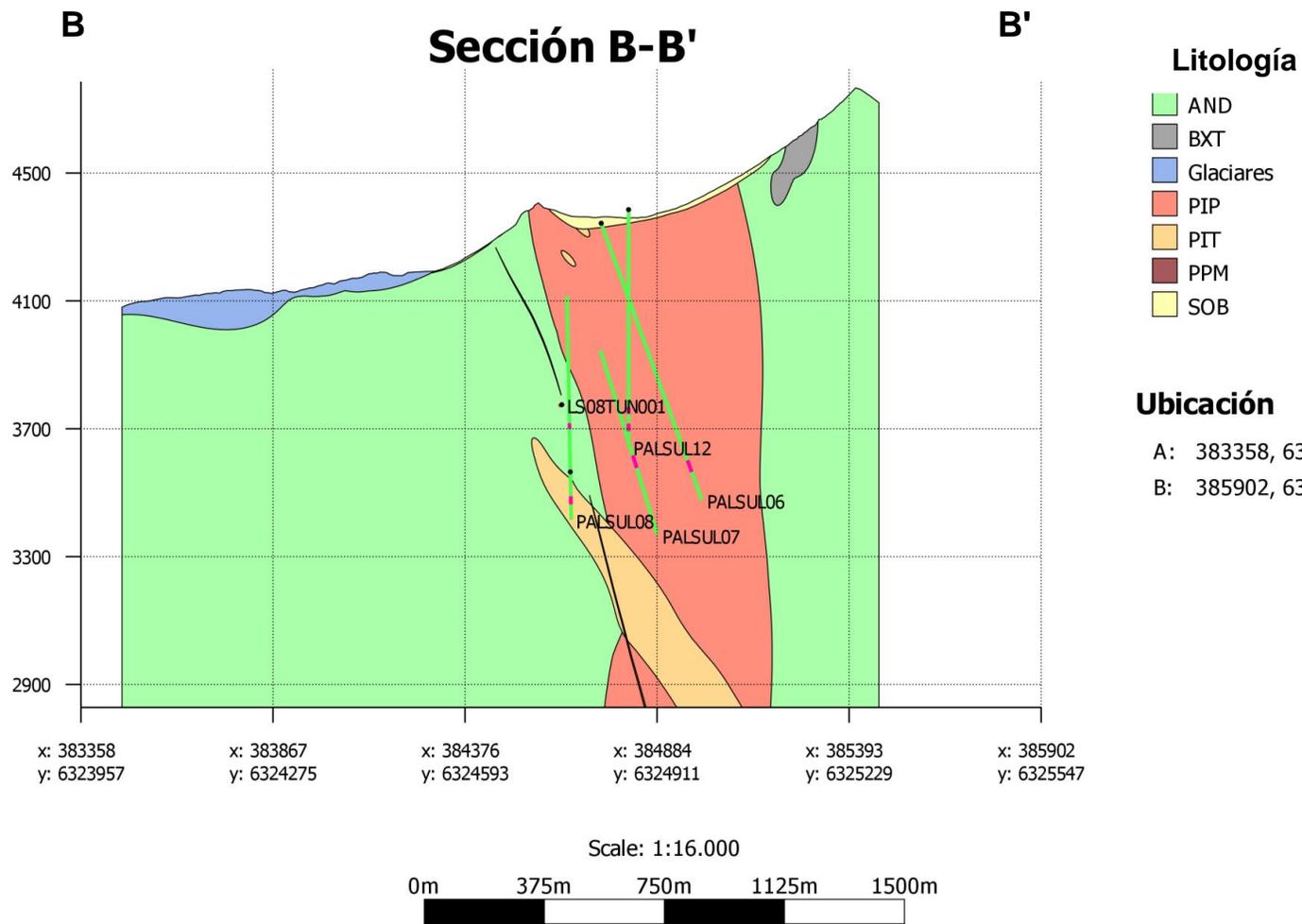


Figura 19: Sección B-B' con Litología mostrando la ubicación de los sondajes (verde) y las muestras (fucsia).

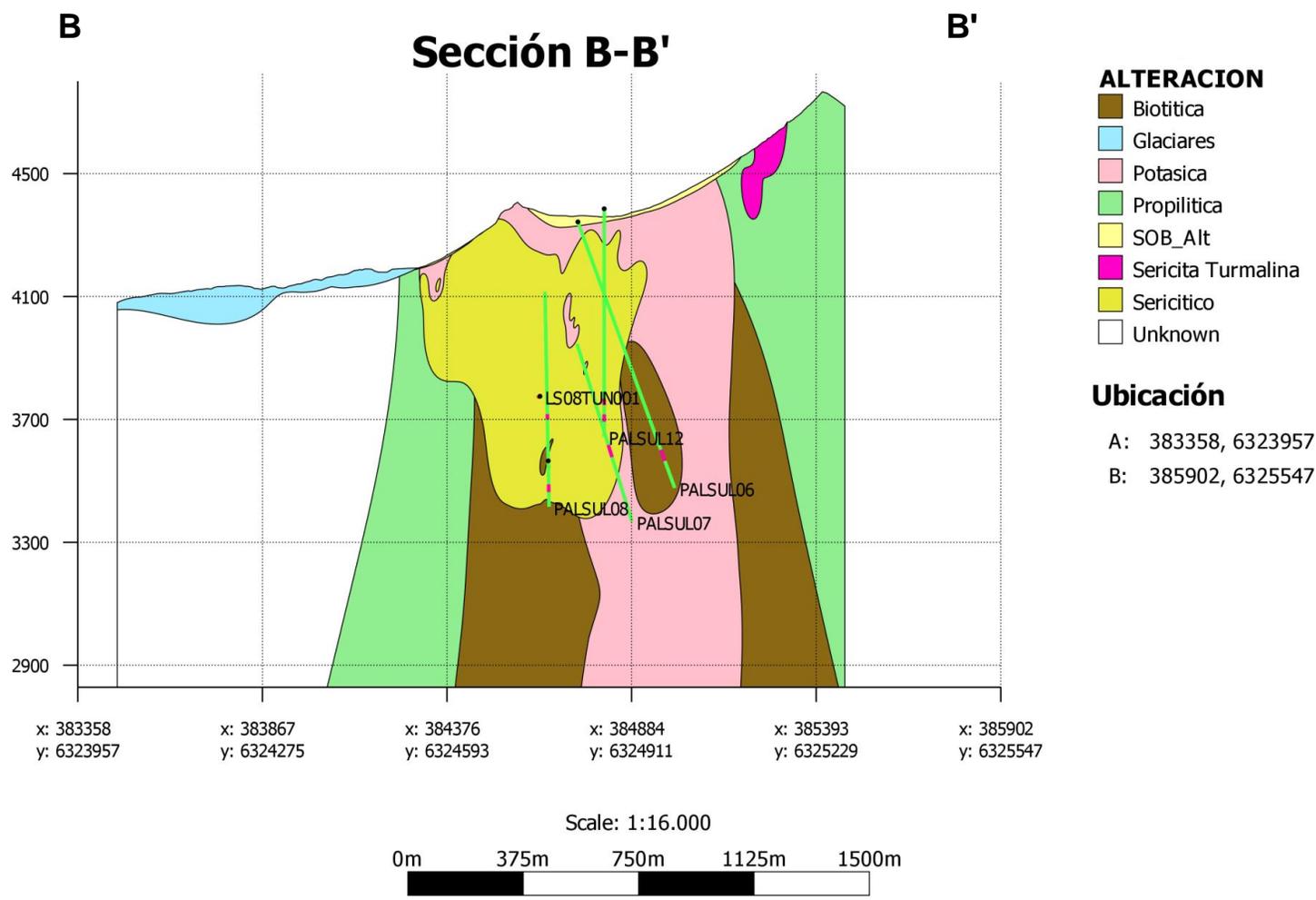


Figura 20: Sección B-B' con Alteración mostrando la ubicación de los sondajes (verde) y los tramos (fucsia).

Tabla 1: Tramos representativos y pulpas elegidas para los sondeos de la sección AA' mostrando litología, alteración y ley de Cu.

SECCIÓN AA'	Tramos elegidos						Pulpas		
	Desde [m]	Hasta [m]	Total[m]	Litología	Alteración	Ley %	Desde[m]	Hasta[m]	Código
PALSUL19	668,15	687,75	19,6	BXM	K	1,2	672	675	SLB13578
							681	684	SLB13583
	866,8	892,2	25,4	BXM	Bt	2,152	870	873	SLB13659
							876	879	SLB13661
						882	885	SLB13663	
PALSUL23	690,55	712,4	21,85	BXM-BB	Bt-Anh	2,7	693	696	SLB14502
							699	702	SLB14504
							705	708	SLB14506
	750,9	772,75	21,85	AND	Bt-K	1,03	753	756	SLB14527
						759	762	SLB14529	
						765	768	SLB14531	
PALSUL10	638,9	655,25	16,35	BXM	K temprana	0,87	645	648	SLB06006
	747,15	763,25	16,1	BXM	K	1,91	750	753	SLB06047
							756	759	SLB06049
	763,25	779,05	15,8	AND	K	1,98	765	768	SLB06052
774							777	SLB06055	
PALSUL22	828,3	847,85	19,55	AND	Bt	1,78	831	834	SLB14948
							840	843	SLB14951
	847,85	871,05	23,2	AND	Bt mayor alb	1,96	849	852	SLB14954
							855	858	SLB14956
						861	864	SLB14960	

Tabla 2: Tramos representativos y pulpas elegidas para los sondeos de la sección BB' mostrando litología, alteración y ley de Cu

SECCIÓN BB'	Tramos elegidos						Pulpas		
	Desde [m]	Hasta [m]	Total[m]	Litología	Alteración	Ley %	Desde[m]	Hasta[m]	Código
PALSUL06	789	808	19	PIP	K	0,4	795	798	SLB04802
	808	827,17	19,17	PIP	Bt	0,4	816	819	SLB04809
PALSUL07	718,95	739,15	20,2	PIP	SER	0,45	720	723	SLB05146
							726	729	SLB05148
							732	735	SLB05150
	739,15	760,45	21,3	BXM	Bt	0,68	741	744	SLB05155
						750	753	SLB05158	
PALSUL08	610,65	626,65	16	PIT	SER	0,55	612	615	SLB05472
							621	624	SLB05477
	852,2	865,9	13,7	AND	SER	0,54	858	861	SLB05568
	865,9	879,4	13,5	AND	Bt	0,45	867	870	SLB05571
						873	876	SLB05573	
PALSUL12	619,2	638,1	18,9	PIP	K	0,69	621	624	SLB10027
							627	630	SLB10029
							633	636	SLB10031
	668	693,9	25,9	PIP	SER Gris-Verde	0,93	672	675	SLB10046
							678	681	SLB10049
						684	687	SLB10051	

5. RESULTADOS

En el siguiente capítulo se presentan los resultados de importancia para el estudio. Los datos presentados han sido obtenidos de las muestras, cortes transparentes y pulpas, del presente estudio.

5.1. MAPEO DE SONDAJES

A continuación se presentan los resultados del mapeo de sondeos realizados en este estudio y por Geología de Anglo American.

5.1.1. Mapeo estudio: Sección A-A'

En la sección A-A' se observaron principalmente litologías de BXM, AND y BB con algunas ocurrencias de BXT en el sondeo PALSUL19 y PIT y PIP en el sondeo PALSUL10. Con respecto a las alteraciones se tiene potásica y biotítica principalmente, con ocurrencia de sericita-turmalina en el sondeo PALSUL19. Para la elección de tramos se considera solo BXM y AND, con alteraciones potásica y biotítica.

5.1.2. Mapeo estudio: Sección B-B'

En la sección B-B' se observaron principalmente litologías de PIP y PIT, con algunas ocurrencias de BXM en el sondeo PALSUL07 y AND en el sondeo PALSUL08. La alteración principal es sericitica con algunas ocurrencias de biotítica y potásica. Para la toma de muestras se consideran las litologías PIP, PIT y AND principalmente con alteraciones sericitica, biotítica y potásica.

El mapeo de alteración realizado en este estudio se puede observar en la Figura 38 y Figura 39.

5.1.3. Mapeo Anglo American: Sección A-A'

En la sección A-A' se observaron principalmente litologías BXM y AND, con algunas ocurrencias de PIT, PIP, BXT y PPM en el sondeo PALSUL10. Las alteraciones corresponden a potásica, biotítica, sericita, sericita turmalina y una ocurrencia de argílica en el sondeo PALSUL10. Para efectos de la toma de muestras solo se considera las litologías BXM y AND, con alteraciones potásicas y biotítica.

5.1.4. Mapeo Anglo American: Sección B-B'

En la sección B-B' se observó litología BXM, PIP, PIT, AND y una ocurrencia de BXT. Las alteraciones son principalmente sericita, biotítica y potásica. Para efecto de toma de muestras se considera principalmente litología PIP en los sondeos PALSUL06

y PALSUL12, PIT en los sondajes PALSUL07 Y PALSUL08 y AND en el sondaje PALSUL08.

El mapeo de alteración realizado por Anglo American se puede observar en la Figura 38 y Figura 39.

El detalle del mapeo realizado por Anglo American se encuentra en el ANEXO II.

5.2. DESCRIPCIONES MINERALES

A continuación se presentan los minerales y su ocurrencia observados por medio de descripción macroscópica y microscópica.

5.2.1. Cuarzo

El cuarzo se presenta microcristalino junto con plagioclasas y feldespato potásico y en vetas en las AND y en BXM. En las muestras PIP y PIT, se observa dentro de la masa fundamental y de tamaño mayor, aunque también se observan intercrecimientos de cuarzo secundario. También se encuentran vetas de cuarzo en estas litologías (Figura 21 y Figura 22).

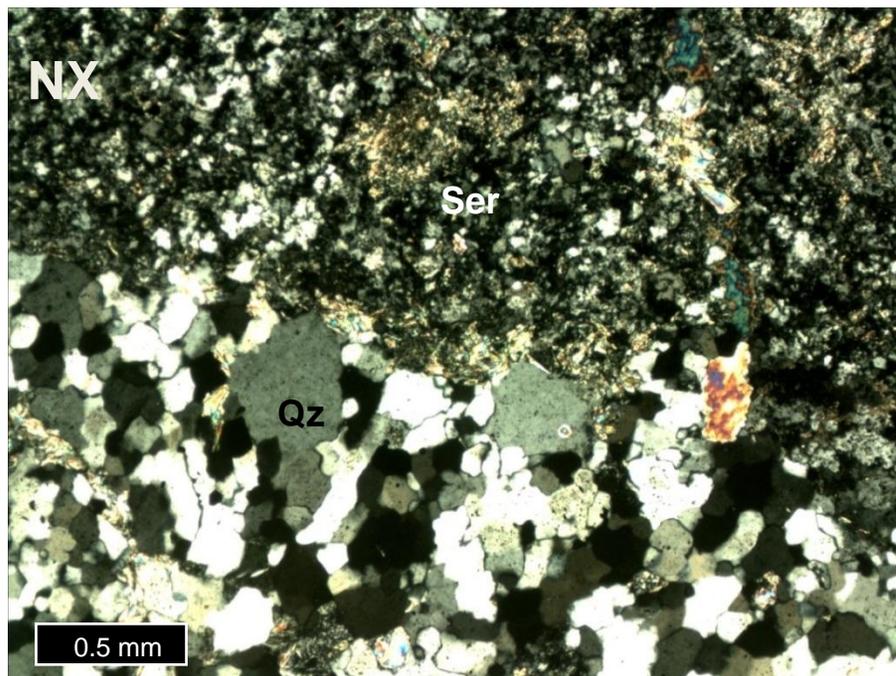


Figura 21: Fotomicrografía del corte SLB13571_CT correspondiente a la litología BXM. Se observa el cuarzo como agregado microcristalino y veta.

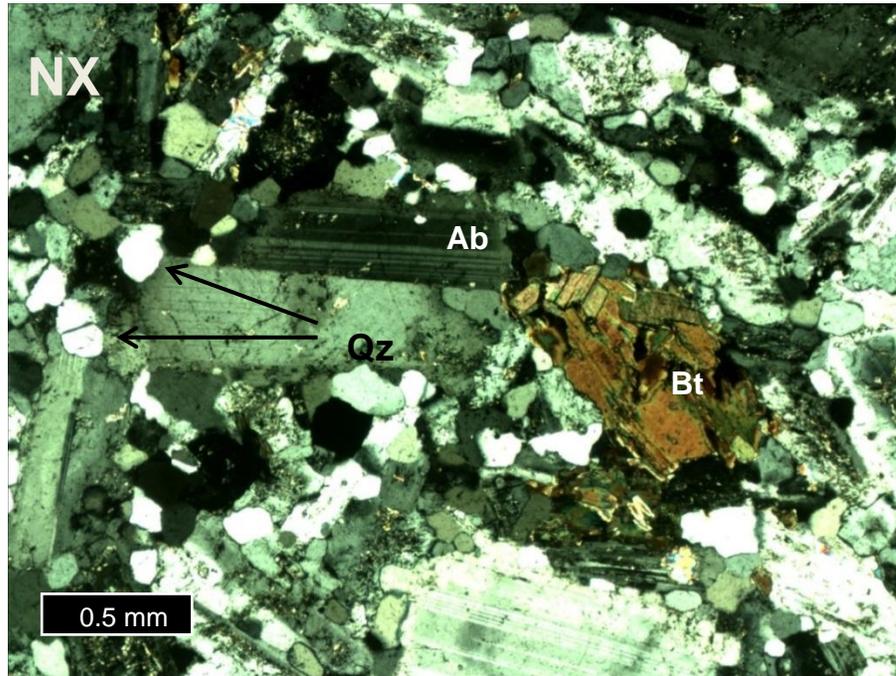


Figura 22: Fotomicrografía de la muestra SLB04802_CT correspondiente a litología PIP. Se observa el cuarzo como parte de la masa fundamental y como crecimiento intersticial.

5.2.2. Albita

Albita se presenta microcristalino junto con cuarzo y feldespato potásico en las litologías AND y BXM. En la litología PIT y PIP se presenta como parte de la masa fundamental con cristales de alrededor de 2 mm a 1 mm. (Figura 23). Alterada principalmente por sericita.

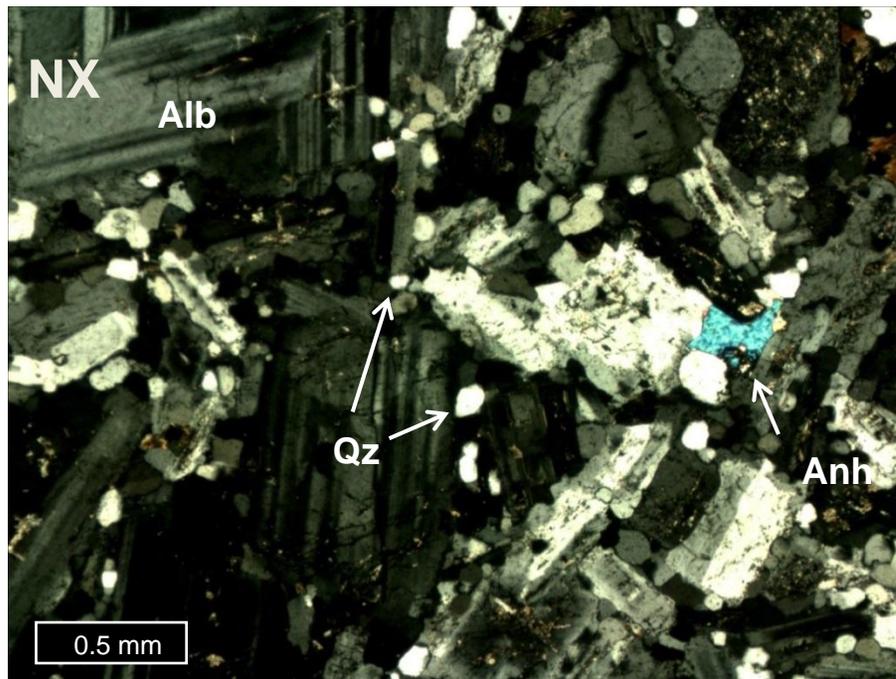


Figura 23: Fotomicrografía de la muestra SLB04809_CT correspondiente a la litología PIP. Se observa la albita como cristales tabulares de alrededor de 2 mm. Además se observa ortoclasa alterada por sericita.

5.2.3. Feldespato potásico

El feldespato potásico se presenta principalmente en litologías AND y BXM. Se observa como halo de vetillas de cuarzo pero también como vetas. En muestras de PIP y PIT forma parte de la masa fundamental con cristales de alrededor de 0,4 mm a 1 mm (Figura 25). En particular los cortes transparentes del sondaje PALSUL10 muestran un porcentaje mayor que los demás cortes, ocurriendo principalmente como vetas y halo de vetas. En general se encuentra alterada por sericita.

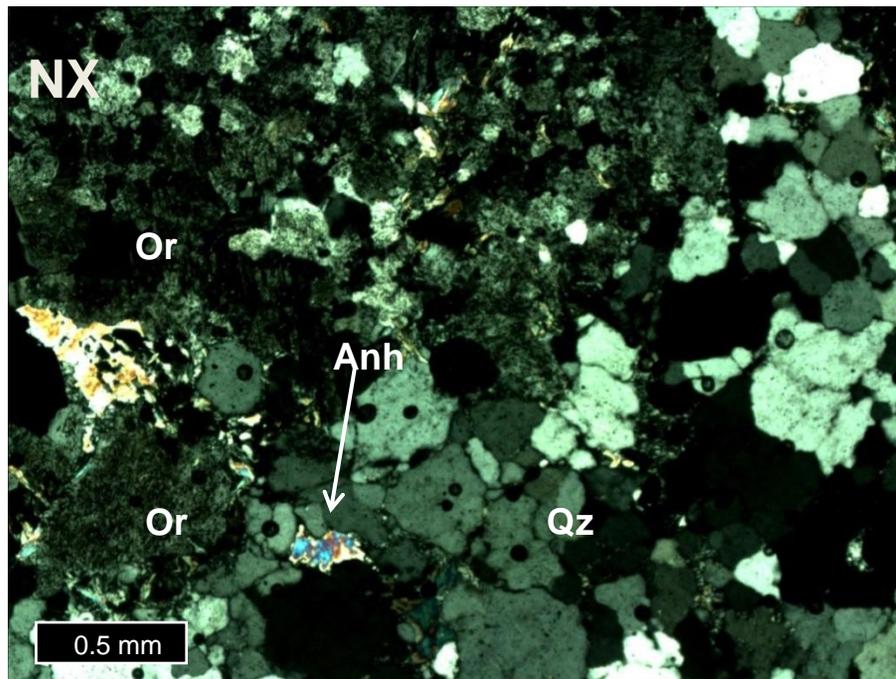


Figura 24. Fotomicrografía de la muestra SLB06052_CT del sondaje PALSUL10, correspondiente a AND con alteración potásica. Se puede observar una veta de cuarzo con halo de feldespato potásico.

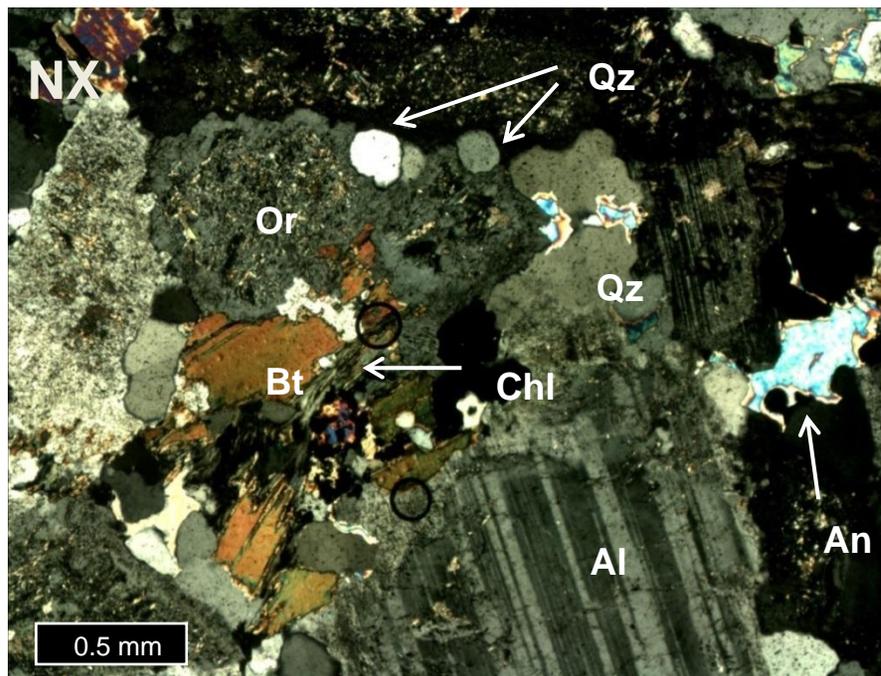


Figura 25: Fotomicrografía de la muestra SLB10028_CT correspondiente a litología PIP. Se observan cristales de ortoclasa de alrededor de 1 mm.

5.2.4. Biotita (Flogopita)

Se observa biotita primaria principalmente en las muestras de litología PIP como se muestra en la Figura 25. Además se observa biotita secundaria en las litologías AND y BXM. (Figura 25 y Figura 26). Esta biotita secundaria es la que diferenciará un tramo con alteración biotítica o sericitica, ya que en algunos se observa mayor porcentaje de biotita y en otros mayor porcentaje de sericita.

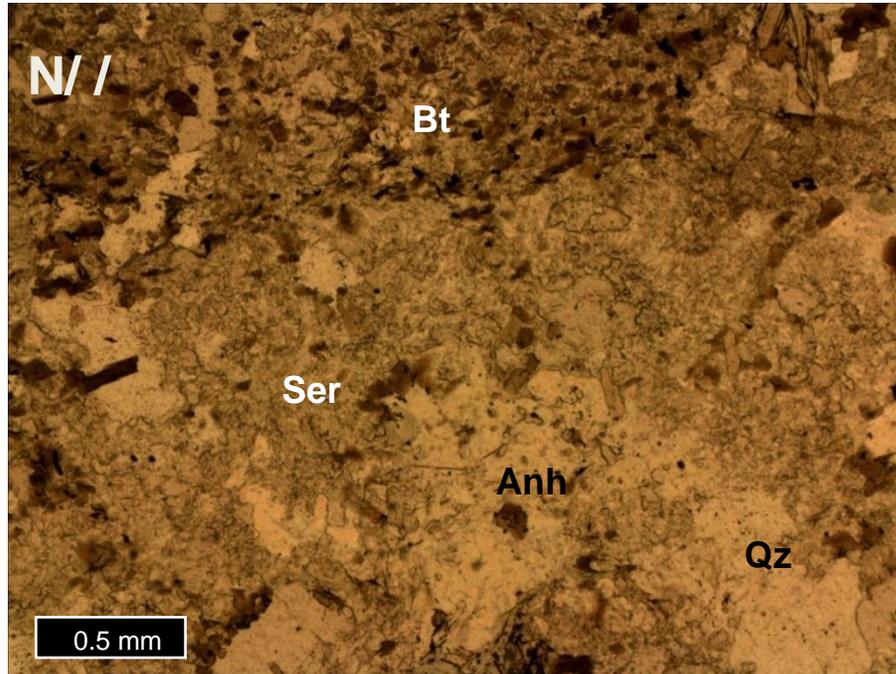


Figura 26: Fotomicrografía de la muestra SLB05568_CT correspondiente a litología AND. Se observa cristales de biotita secundaria de alrededor de 0,2mm.

5.2.5. Muscovita (Sericita)

Ocurre principalmente microcristalino afectando de forma penetrativa las muestras en distintos grados. Altera principalmente a plagioclasas y feldespatos. Además se observa como halo de vetas de cuarzo. El grado de alteración es variable entre los sondajes, siendo mayor en el PALSUL7 y el PALSUL12 donde prácticamente borra todo vestigio de la mineralogía anterior (Figura 27).

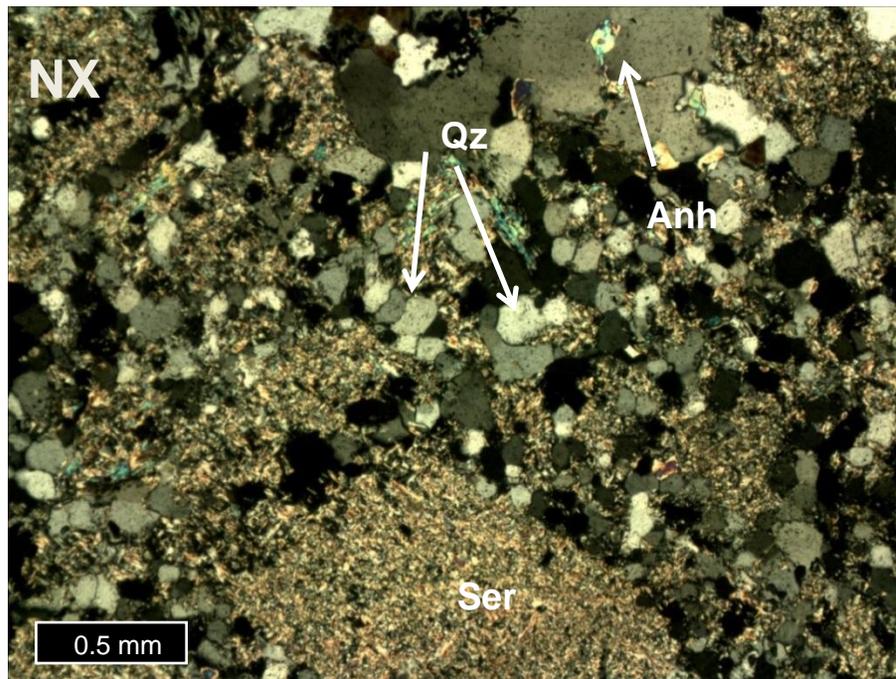


Figura 27: Fotomicrografía de la muestra SLB10094_CT correspondiente a litología PIP. Se observa sericita afectando plagioclasas y/o feldespatos a los cuales aún se les puede reconocer la forma.

5.2.6. Clorita

La clorita se presenta secundaria alterando principalmente las biotitas como se observa en la Figura 25.

5.2.7. Anhidrita

Se observa principalmente como intercrecimientos como se muestra en la Figura 27, pero también en vetillas. Además se puede encontrar en vetas de hasta 1 cm de ancho como se observa en la Figura 28.

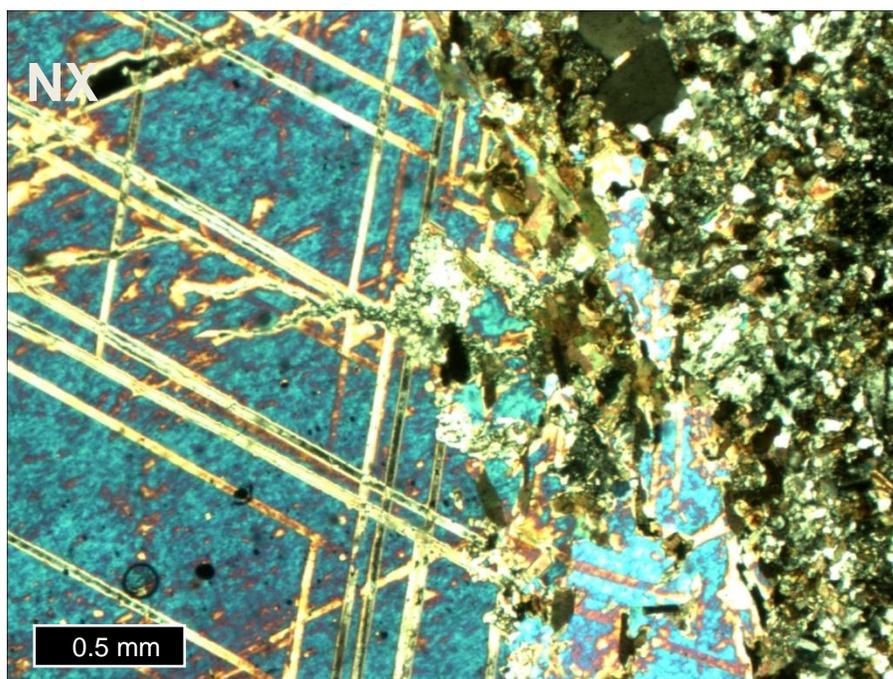


Figura 28: Fotomicrografía de la muestra SLB05571_CT. Corresponde a una veta anhidrita.

5.2.8. Otros

Además se pudo observar en diversos cortes otros minerales como caolinita y carbonatos. Estos se presentaban principalmente en fracturas y parecieran ser alteraciones posteriores.

5.3. DIFRACCIÓN DE RAYOS X CUANTITATIVA

En los gráficos siguientes se presenta un resumen de los datos obtenidos por el análisis de difracción de rayos X. El detalle de los resultados por sondaje se encuentra en el ANEXO III.

En muestras de sondaje de la sección A-A' se determinó ocurrencia cuarzo, albita, microclina, ortoclasa, flogopita, muscovita, clorita, yeso anhidrita, caolinita y calcopirita. Con mayor preponderancia se encuentran cuarzo, albita, muscovita y anhidrita (Figura 29).

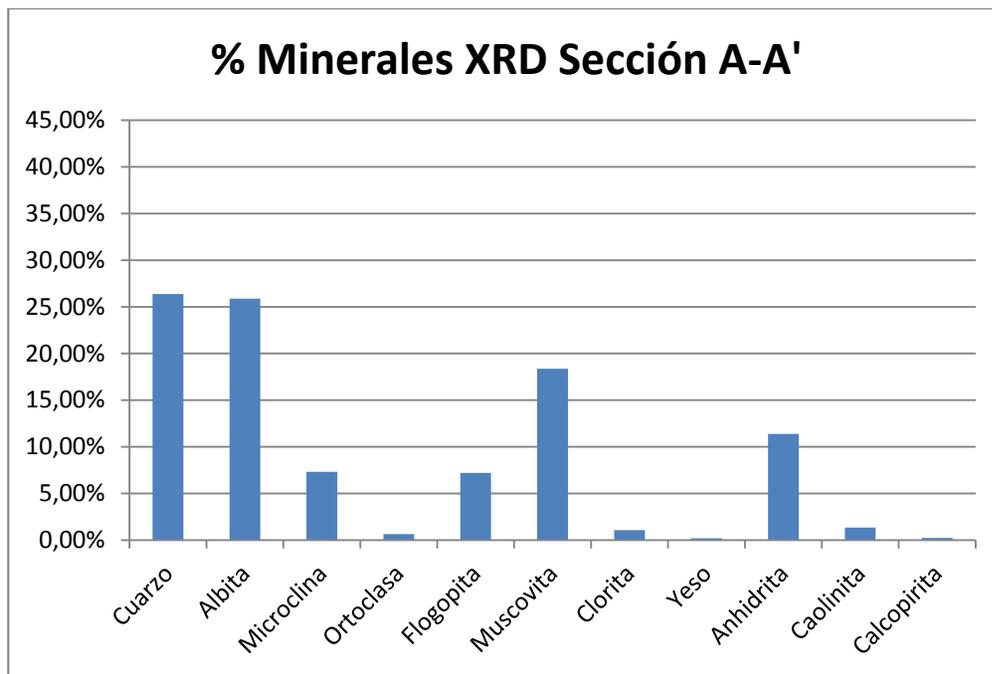


Figura 29: Resumen de porcentajes de minerales obtenidos en la sección A-A' mediante análisis de difracción de rayos X cuantitativo.

En muestras de sondaje de la sección B-B' se obtuvo cuarzo, albita, ortoclasa, flogopita, muscovita, clorita, yeso anhidrita, caolinita y calcopirita. Con mayor preponderancia se encuentran cuarzo albita y muscovita (Figura 30).

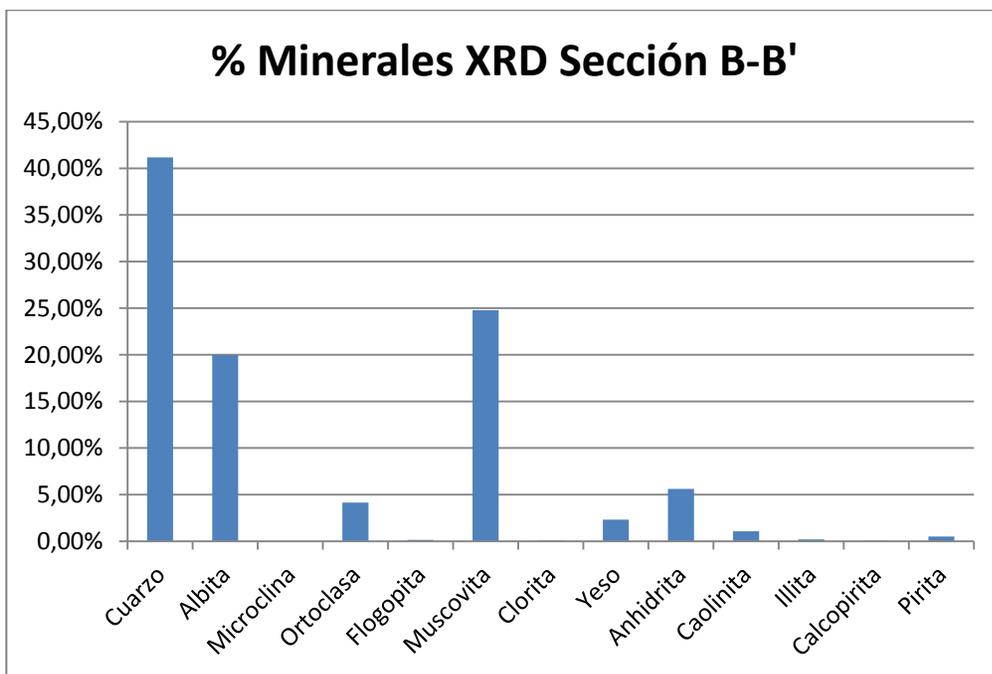


Figura 30: Resumen de porcentajes de minerales obtenidos en la sección B-B' mediante análisis de difracción de rayos X cuantitativo.

Se observa una diferencia en ambas secciones en el porcentaje de cuarzo y muscovita, dado que la sección B-B' presenta mayor porcentaje de estos minerales. Además se observa la ausencia de microclina y flogopita en la sección B-B'.

5.4. HYLOGGER-3

A continuación se presenta un resumen de los resultados obtenidos por el análisis mineralógico obtenido por HyLogger. Estos datos fueron procesados por el software The Spectral Geologist (TSG). El detalle de los resultados por sondaje HyLogger se encuentra en el ANEXO III.

. La mineralogía para el rango de espectro TIR se encontró principalmente cuarzo, albita, microclina, ortoclasa, labradorita, oligoclasa, illita, muscovita y yeso.

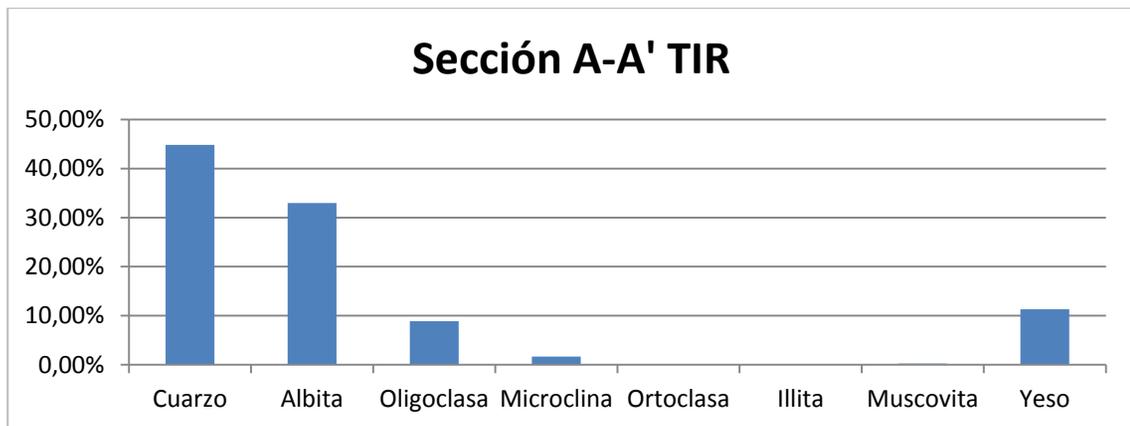


Figura 31: Porcentaje relativo de minerales obtenidos por análisis en el rango TIR en los tramos de la Sección A-A'

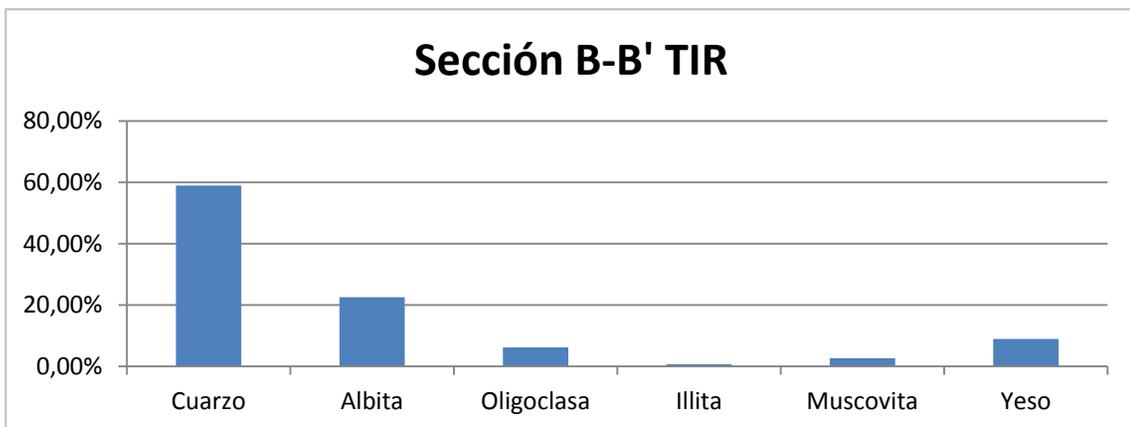


Figura 32: Porcentaje relativo de minerales obtenidos por análisis en el rango TIR en los tramos de la Sección B-B'.

La mineralogía obtenida para el rango de espectro SWIR fue muscovita, fengita, turmalina, clorita, flogopita, ankerita, caolinita y yeso

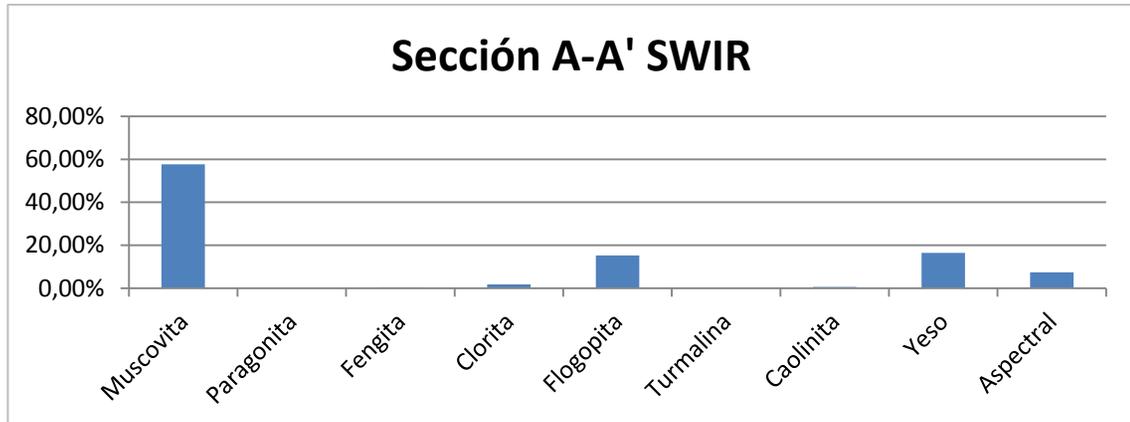


Figura 33: Porcentaje relativo de minerales obtenidos por análisis en el rango SWIR en los tramos de la Sección A-A'.

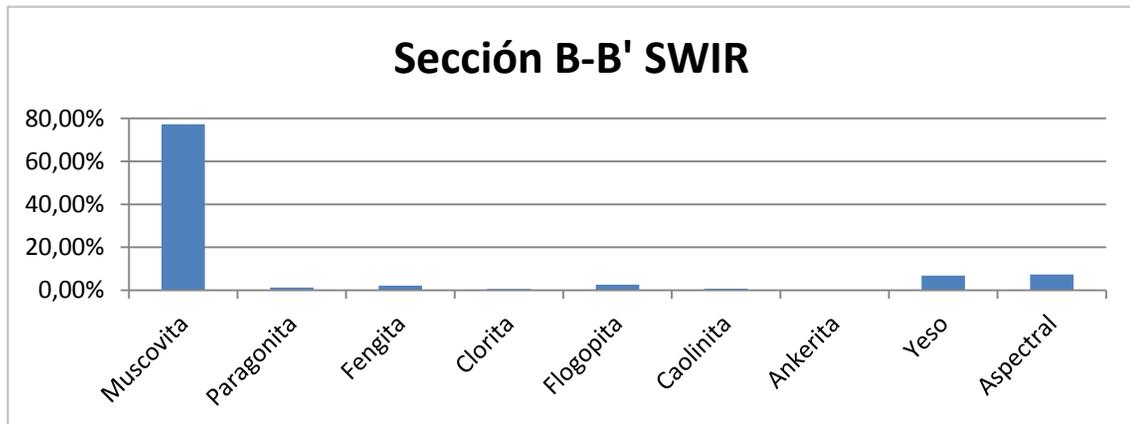


Figura 34: Porcentaje relativo de minerales obtenidos por análisis en el rango SWIR en los tramos de la Sección B-B'.

Se observa una diferencia en el rango TIR con respecto al feldespato potásico, donde en la sección A-A' existe en mayor porcentaje. También se observa en el rango SWIR un mayor porcentaje de flogopita en la sección A-A' y mayor porcentaje en de muscovita en la sección B-B'.

En la siguiente tabla se puede observar de forma paralela los resultados obtenidos por tramo utilizando el HyLogger y XRD.

Tabla 3. Comparación mineralógica entre el análisis HyLogger y XRD de los sondajes de la sección A-A'. Los minerales diferentes para cada método se encuentran en negrita.

SECCIÓN AA'	Tramos elegidos					
	Desde [m]	Hasta [m]	Litología	Alteración	HyLogger-3	XRD
PALSUL19	668,15	687,75	BXM	K	Qz-Alb- Olg -Ms-Gp	Qz-Alb- Mc - Ms- Phl - Chl -Gp-Anh
	866,8	892,2	BXM	Bt	Qz-Alb- Or -Ms-Phl- Chl-Gp	Qz-Alb-Ms- Phl- Chl-Gp-Anh- Kln
PALSUL23	690,55	712,4	BXM-BB	Bt-Anh	Qz-Alb-Mc- Olg -Ms- Phg- Chl -Phl-Gp	Qz-Alb-Mc- Ms-Phl-Anh
	750,9	772,75	AND	Bt-K	Qz-Alb-Mc- Olg -Ms- Chl-Phl- Kln -Gp	Qz-Alb-Mc- Ms-Phl-Chl- Anh
PALSUL10	747,15	763,25	BXM	K	Qz-Alb-Mc- Olg - Ms- Phl -Kln-Gp	Qz-Alb-Mc- Ms-Anh-Kln
	763,25	779,05	AND	K	Qz-Alb- Olg - Ms-Phl-Gp	Qz-Alb- Or - Mc -Ms-Phl- Gp-Anh- Kln
PALSUL22	828,3	847,85	AND	Bt	Qz-Alb- Olg -Ms- Chl -Phl-Gp	Qz-Alb-Ms- Phl-Anh
	847,85	871,05	AND	Bt- alb	Qz-Alb- Olg -Ms- Tur -Phl-Gp	Qz-Alb-Phl- Ms- Chl -Anh- Kln

Tabla 4. Comparación mineralógica entre el análisis HyLogger y XRD de los sondajes de la sección B-B'. Los minerales diferentes para cada método se encuentran en negrita.

SECCIÓN BB'	Tramos elegidos					
	Desde [m]	Hasta [m]	Litología	Alteración	HyLogger-3	XRD
PALSUL06	789	808	PIP	K	Qz-Alb- Olg -Ms-Kln	Qz-Alb- Or-Phi -Ms-Kln
	808	827,17	PIP	Bt	Qz-Alb- Olg -Ms-Kln- Gp	Qz-Alb- Or -Ms
PALSUL07	718,95	739,15	PIP	SER	Qz-Alb-Ms- Pg-Phg-Gp	Qz-Alb- Phi -Ms
	739,15	760,45	BXM	Bt	Qz-Alb-Ms- Pg-Phg-Gp	Qz-Alb-Ms-Gp-Anh
PALSUL08	610,65	626,65	PIT	SER	Qz-Alb-Ms- Pg-Phg-Gp	Qz-Alb-Ms-Gp
	852,2	865,9	AND	SER	Qz-Alb- Olg -Ms- Phi -Gp	Qz-Alb-Ms-Anh- Kln
	865,9	879,4	AND	Bt	Qz-Alb- Olg -Ms-Gp	Qz-Alb-Ms- Chi -Anh
PALSUL12	619,2	638,1	PIP	K	Qz-Alb-Ms- Phi -Gp	Qz-Alb-Ms-Gp
	668	693,9	PIP	SER Gris-Verde	Qz-Alb-Ms-Gp	Qz-Alb-Ms- III -Gp

5.5. Geoquímica Multi-elemento

A continuación se presentan *boxplot* que grafican las concentraciones de los elementos Al, K, Na, Ca, Fe, Mg y S según la alteración potásica, biotítica y sericitica. Estos muestran que los elementos Al, Na, K y Mg se encuentran en mayor concentración en las alteraciones potásica y biotítica. Con respecto al Ca en concentración similar con un leve aumento en las alteraciones biotítica y sericitica. Por último el Fe y el S se encuentran en mayor concentración en la alteración sericitica.

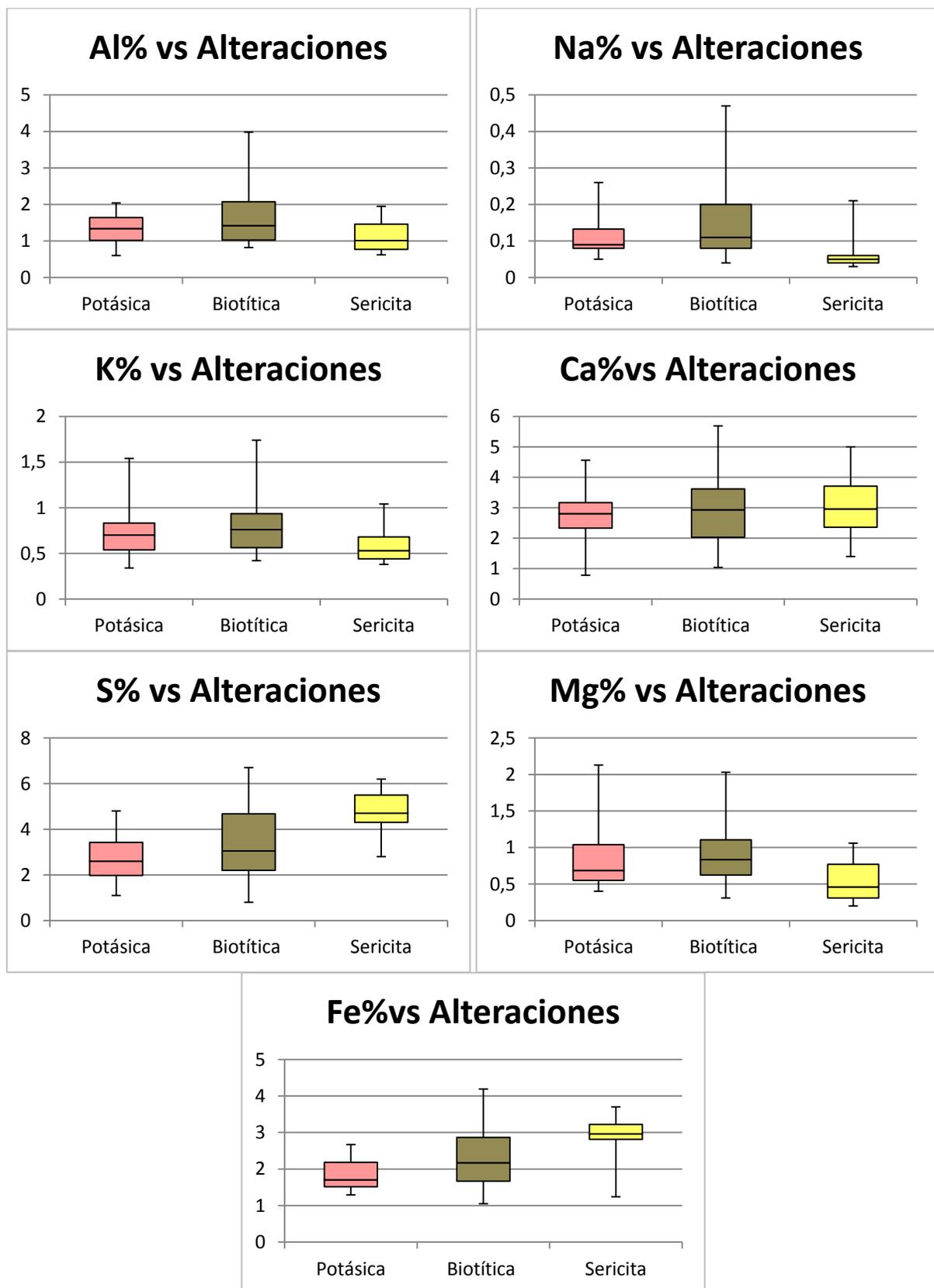


Figura 35. *Boxplot* que grafican las concentraciones de los elementos Al, K, Na, Ca, Fe, Mg y S según las alteraciones potásica, biotítica y sericítica.

5.6. ANÁLISIS MUSCOVITA

A continuación se presentan los resultados del análisis del peak en la banda Al-OH (2190 nm – 2220 nm) para la sección A-A' y B-B'.

La sección A-A' presenta longitudes de onda entre los 2196 nm y los 2211 nm con un promedio de 2204 nm.

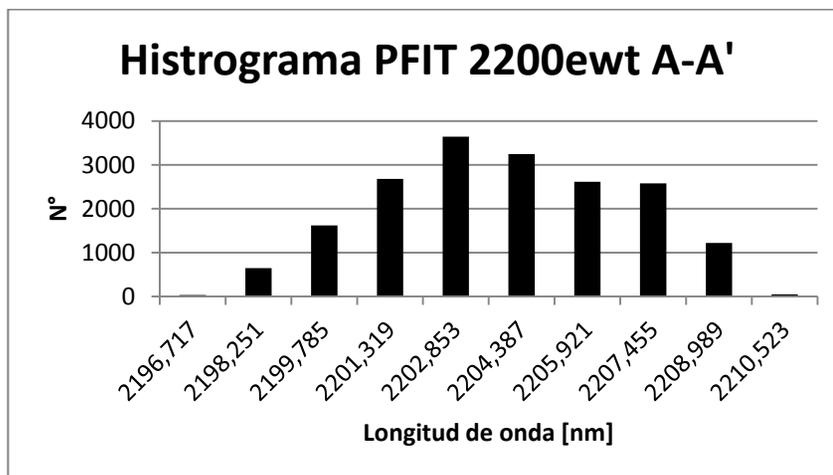


Figura 36: Histograma de los resultados del escalar PFIT 2200ewt para la ubicación del peak de la banda Al-OH para la sección A-A'.

La sección B-B' presenta longitudes de onda entre los 2196 nm y los 2211 nm con un promedio de 2203,6 nm.

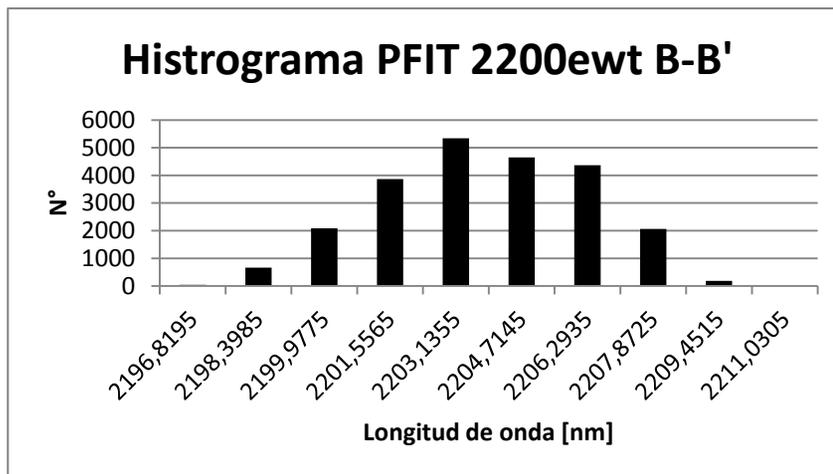


Figura 37: Histograma de los resultados del escalar PFIT 2200ewt para la ubicación del peak de la banda Al-OH para la sección B-B'.

El detalle por sondaje de los resultados de los peak se encuentra en el ANEXO III.

5.7. CLASIFICACIÓN DE ALTERACIONES

A continuación se muestran cuadros comparativos de las alteraciones obtenidas por HyLogger, XRD, el mapeo de este estudio y el Mapeo de Anglo American.

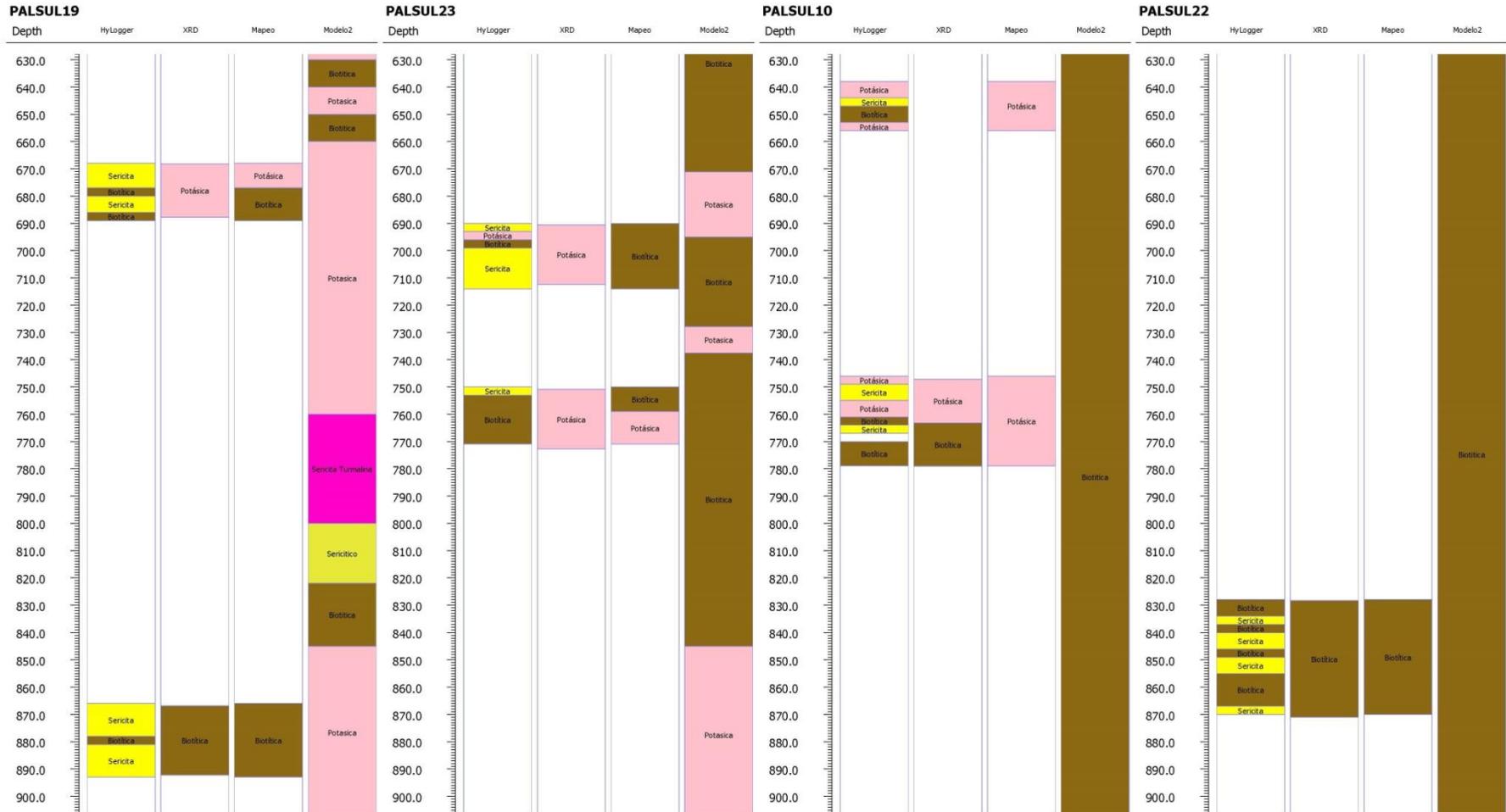


Figura 38. Clasificación de alteración HyLogger, XRD y mapeo en este estudio comparado con el modelo existente para la sección A-A'.

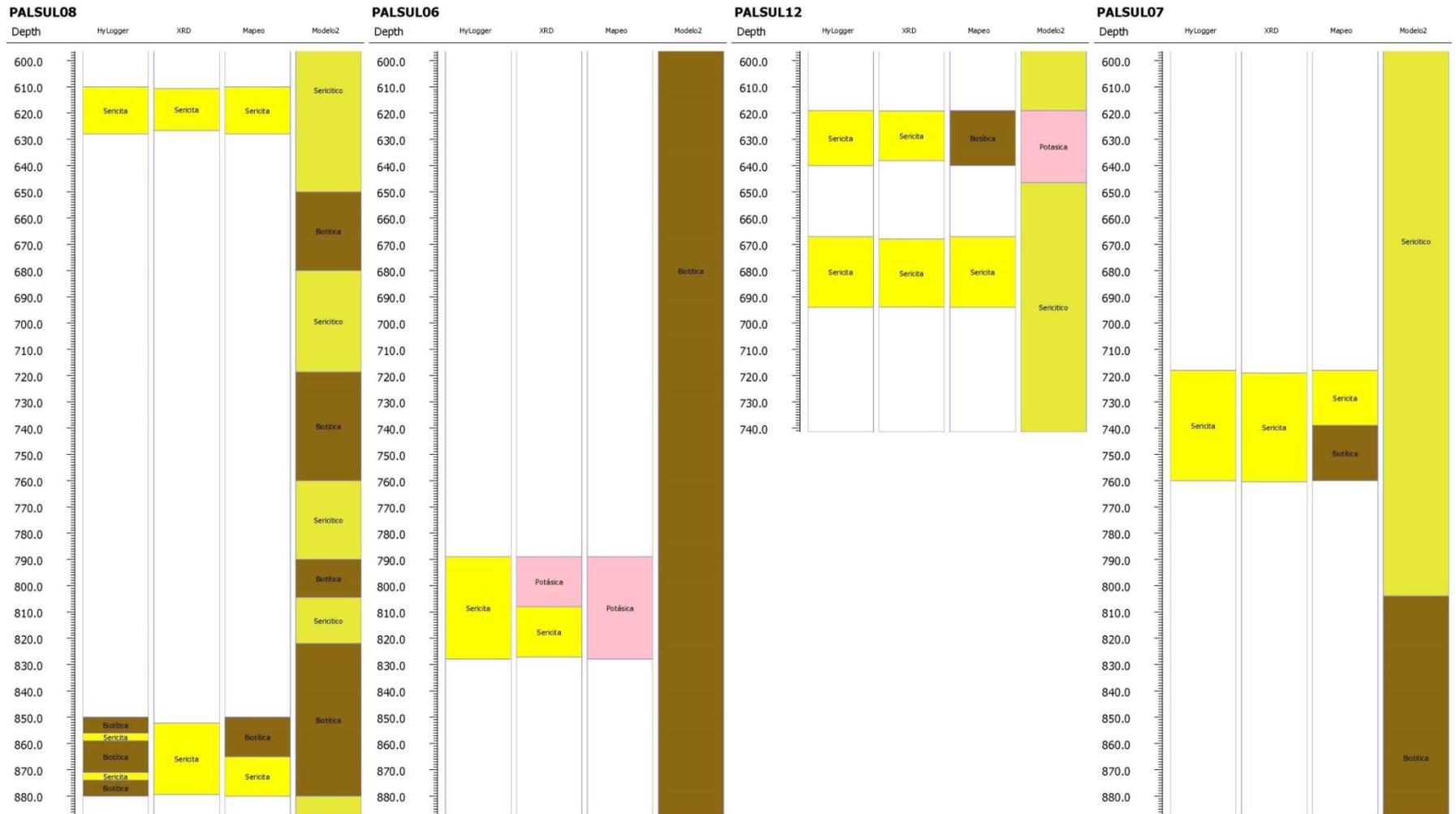


Figura 39. Clasificación de alteración HyLogger, XRD y mapeo en este estudio comparado con el modelo existente para la sección B-B'.

5.8. MODELO DE ALTERACIÓN

A continuación se presenta el modelo de alteración obtenido por HyLogger y una comparación de la sección WGS84 N6325781,1 E383849,09 Z3504,5691 con respecto al modelo existente.

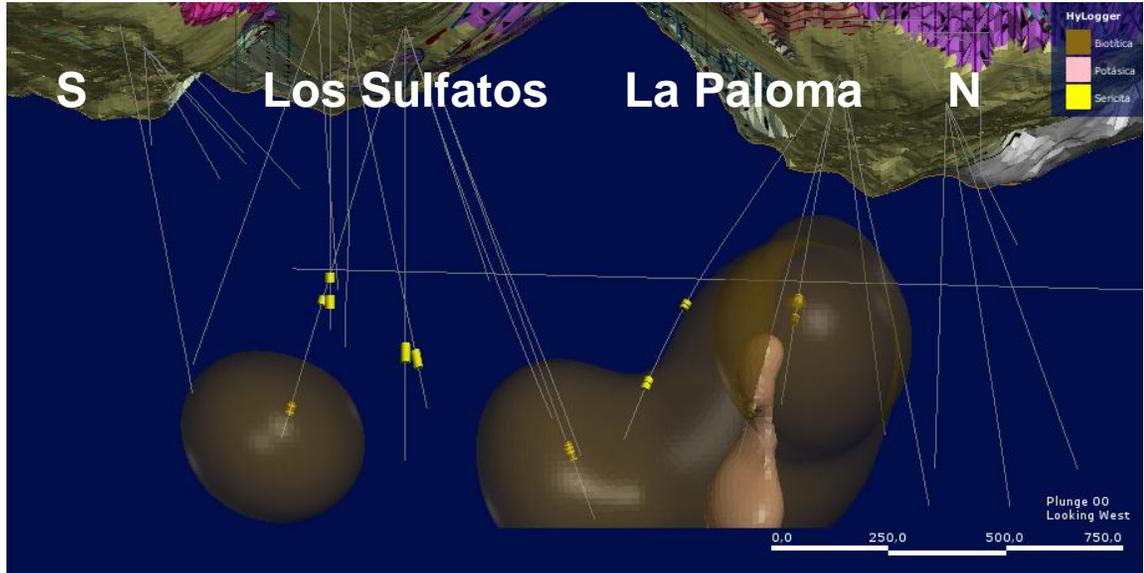


Figura 40. Modelo de alteración realizado con la clasificación obtenida por HyLogger. Se pueden observar las envolventes de alteración potásica y biotítica.

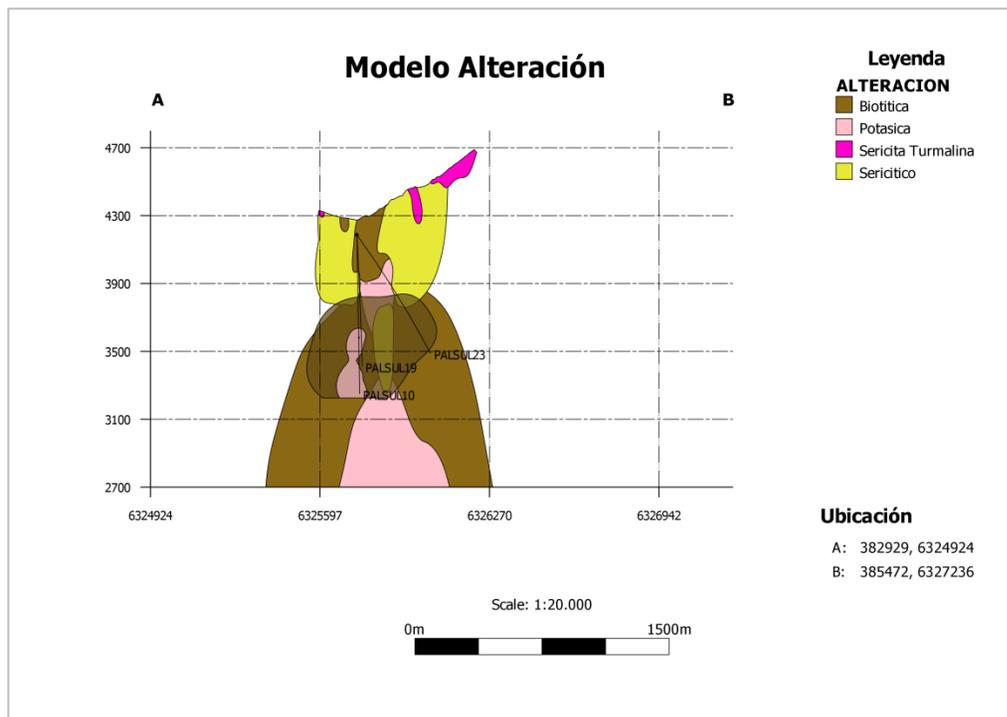


Figura 41. Modelo de alteración comparado con el modelo existente en la sección WGS84 N6325781,1 E383849,09 Z3504,5691 correspondiente al sondaje PALSUL10.

6. DISCUSIONES

6.1. Comparación mineralógica

6.1.1. Petrografía

Se puede observar que la mineralogía encontrada en los cortes transparentes se correlaciona con la mineralogía obtenida por el análisis HyLogger. Los principales minerales observados son cuarzo, albita, muscovita (sericita) y anhidrita, este último aparece en el HyLogger como yeso. Otros minerales de menor presencia que se observan en ambos procedimientos son la ortoclasa, microclina, clorita, biotita (flogopita en HyLogger) y carbonatos.

Existen muestras de cortes donde se observa una alteración potásica biotítica mayor. Estas muestras tienden a ser AND o BXM con alteración biotítica. Esto se condice con los datos de HyLogger los cuales muestran un aumento de la flogopita para estos tramos. Se puede observar un ejemplo de esto en la Figura 42 y Figura 43, las cuales muestran el corte transparente SLB14948_CT y los porcentajes relativos en el rango SWIR del sondaje PALSUL22 respectivamente. En este caso se observa un contraste entre el porcentaje de flogopita y muscovita lo cual es igualmente observado en el corte transparente.

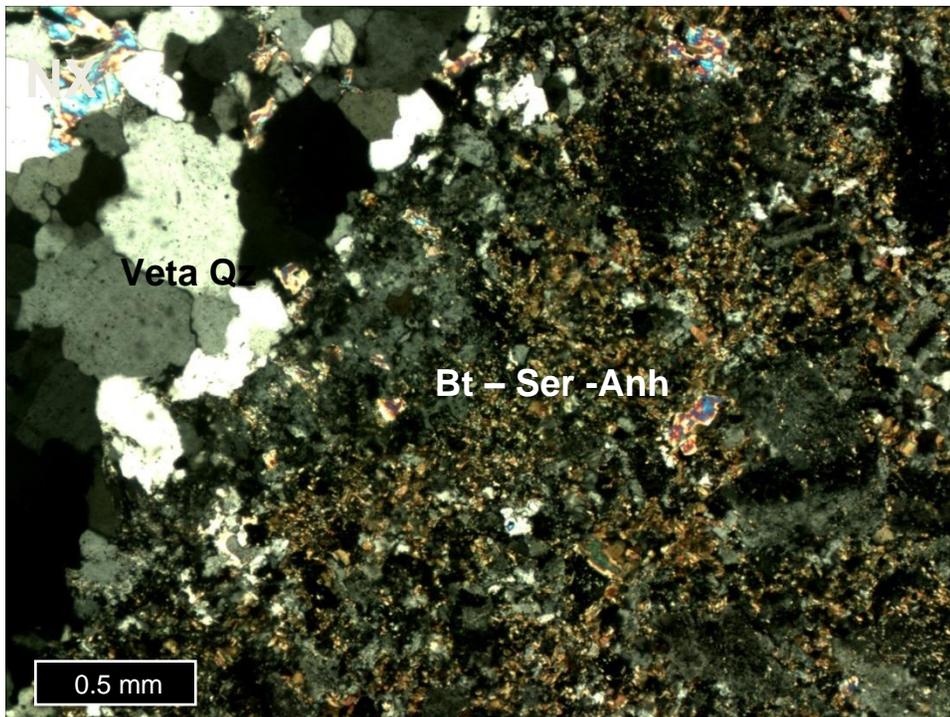


Figura 42. Fotomicrografía del corte SLB14948_CT, la cual muestra alteración biotítica y en menor medida sericitica.

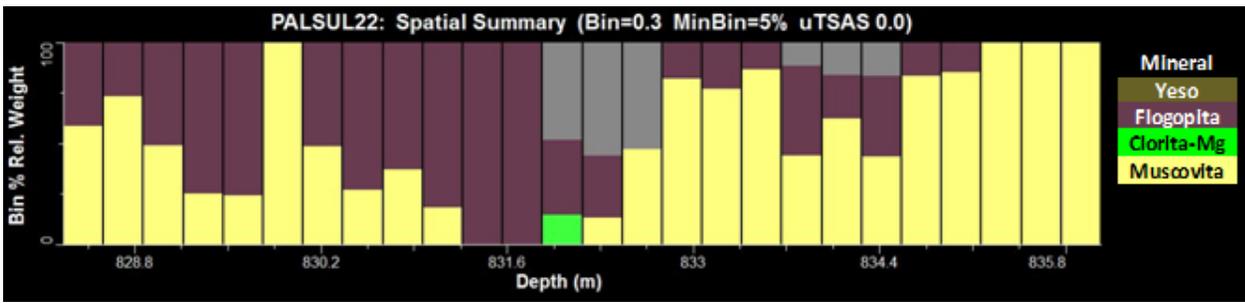


Figura 43. Gráfico de pesos relativos en porcentajes de la mineralogía SWIR del sondaje PALSUL22 vs profundidad, en el metraje donde se obtuvo el corte transparente SLB14948_CT. Se observa un porcentaje mayor de biotita en comparación a la muscovita (Sericitita). Este tramo corresponde a andesita con alteración biotítica.

Con respecto a la sección B-B' predomina la alteración sericítica, lo cual se ve reflejado en el HyLogger donde se observa un porcentaje en peso alto de muscovita (Figura 44). Se puede observar una diferencia entre los porcentajes relativos de muscovita en sondajes con distintos grados de alteración sericítica.

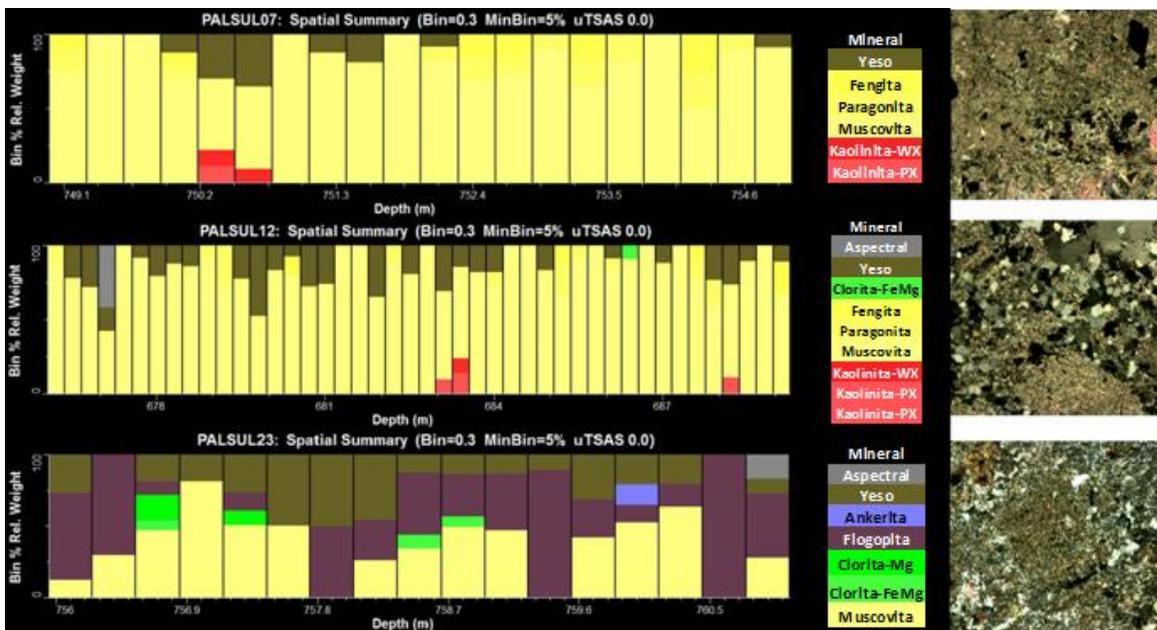


Figura 44: Gráficos de porcentajes relativos de minerales SWIR, de los sondajes PALSUL23, PALSUL12 Y PALSUL07, junto al corte transparente que representa el tramo. Se puede observar la diferencia de muscovita en los distintos sondajes lo cual se condice con la intensidad de la alteración.

Con respecto al feldespato potásico, los únicos cortes que presentaron este tipo de mineral fueron los de los sondajes PALSUL10 (Figura 45) y el PALSUL12 (Figura 46). Los resultados obtenidos por HyLogger confirman la presencia de feldespato potásico en el sondaje PALSUL10 (Figura 47), no así en el sondaje PALSUL12 donde el feldespato potásico está ausente. Esto puede deberse a que el HyLogger solo detecta los minerales en la superficie del sondaje o a que el porcentaje de feldespato potásico

era muy bajo para la detección. Otra discrepancia obtenida en los datos corresponde al sondaje PALSUL23, en el cual el feldespato potásico es detectado por el Hylogger, pero no en los cortes transparentes. Esto debido a que corte transparente fue obtenido en un metraje donde el feldespato potásico no fue detectado por el HyLogger.

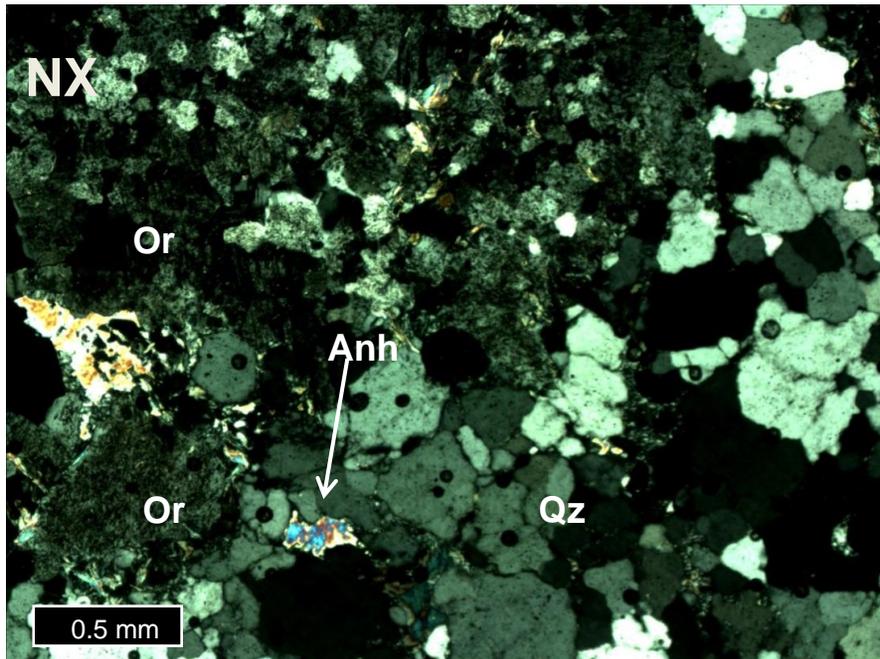


Figura 45. Fotomicrografía de la muestra SLB06052_CT del sondaje PALSUL10 que muestra la presencia de feldespato potásico.

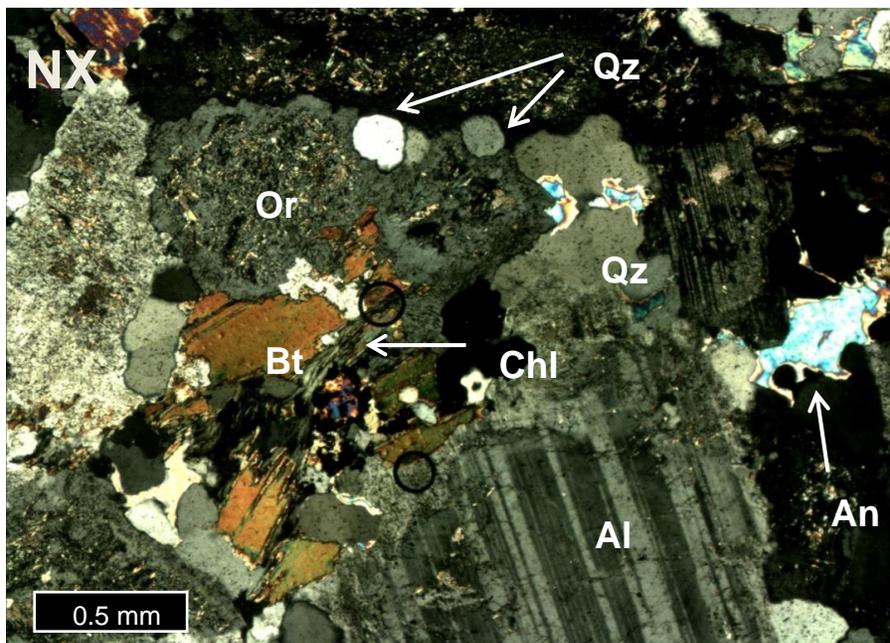


Figura 46. Fotomicrografía de la muestra SLB 10028_CT del sondaje PALSUL12 que muestra la presencia de feldespato potásico

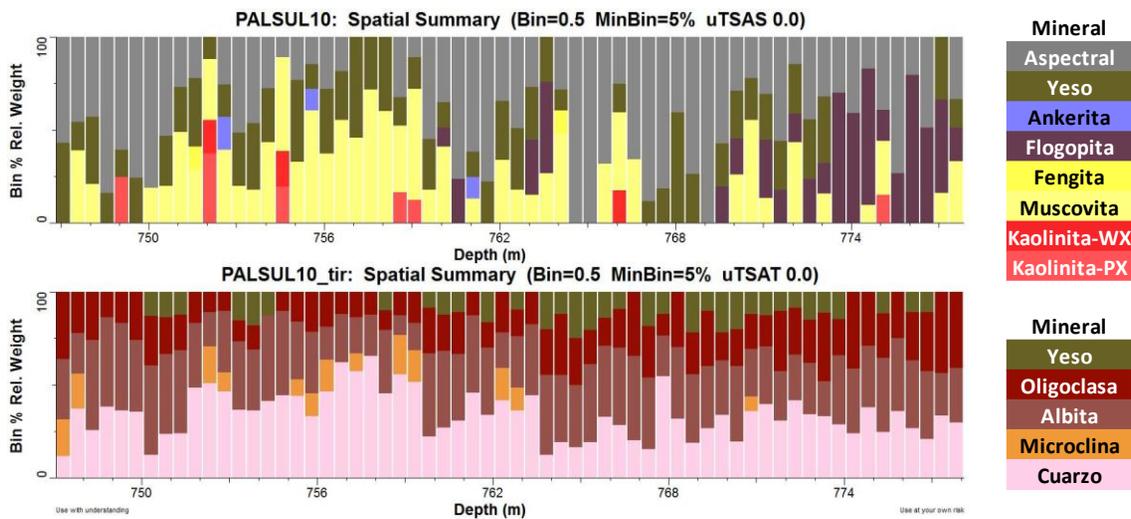


Figura 47. Resultados del HyLogger para el sondaje PALSUL10, muestra el contenido de feldespato potásico.

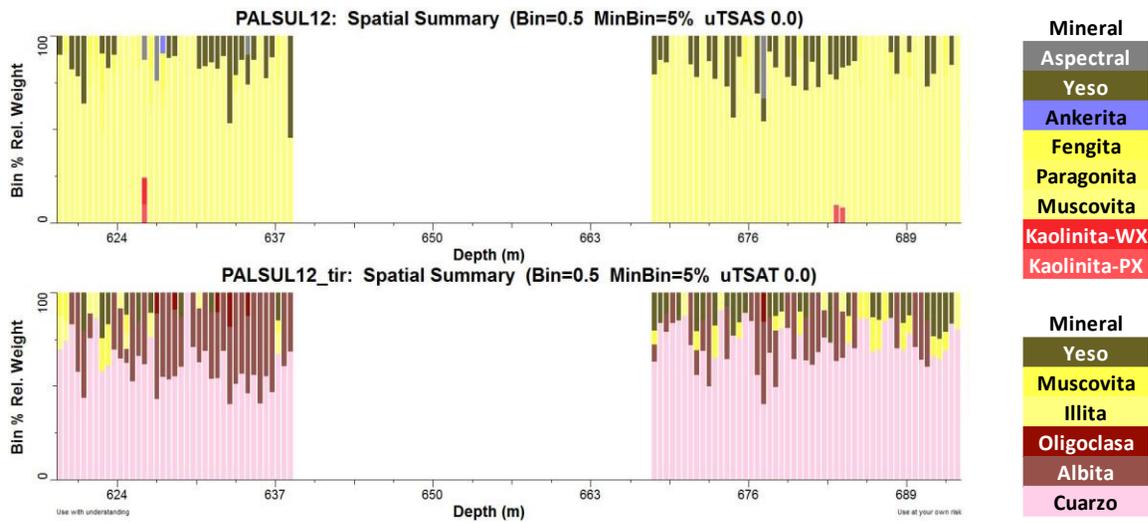


Figura 48. Resultados HyLogger para el sondaje PALSUL12, se observa la ausencia de contenidos de feldespato potásico.

Las discrepancias aumentan cuando el porcentaje relativo de los minerales es menor a 30% aproximadamente.

6.1.2. XRD

Se observa una buena correlación con la mineralogía obtenida por ambos métodos de detección mineral. En ambos casos existe una preponderancia de cuarzo, albita y muscovita (sericita) en la mayoría de las muestras. Para los casos de minerales en menor proporción existen diferencias en cuanto a la detección de minerales. Estos minerales corresponderían a microclina, ortoclasa, flogopita, anhidrita, clorita entre otros. Estos errores pueden deberse al bajo porcentaje de estos minerales en la roca.

Esto se debe a que el algoritmo TSA (Berman *et al.*, 1999) genera una aproximación del espectro obtenido ponderando tres minerales para TIR y dos minerales para SWIR. De este modo si se tiene un bajo porcentaje de cierto mineral este no será tomado en consideración para la aproximación y por lo tanto no será “detectado”. Para la turmalina y oligoclasa, no están disponibles las referencias para cuantificar usando XRD en la base de datos, y por esto es que no son tomados en cuenta.

6.1.3. Geoquímica

Estudiando los *boxplot* de concentraciones de elementos mayores se observa mayor concentración de Na, Al, Mg y K en las muestras con alteraciones potásica y biotítica lo cual se condice con los minerales encontrados por el HyLogger para estas alteraciones: flogopita, ortoclasa, muscovita y clorita. Para el caso del Ca se tiene un porcentaje similar dentro ambas alteraciones. Esto puede deberse a que el mayor aporte de Ca lo entrega la anhidrita el cual está presente de forma similar en todos los sondajes. Con respecto al Fe y S, estos elementos son mayormente encontrados en minerales como bornita, calcopirita y piritita, los cuales no pueden ser detectados por el HyLogger. Su mayor concentración en la alteración sericitica podría deberse a mayor mineralización de calcopirita y piritita en esta alteración. Las observaciones se realizaron utilizando información de los sondajes desde los 650 m de profundidad hasta el final del sondaje. Esto debido a que los tramos por sondaje eran de alrededor de 35 m y no cubrían la suficiente cantidad de muestras. Para obtener un mejor resultado utilizando geoquímica se necesitaría una mayor cantidad de metros analizados por HyLogger.

6.2. Comparación de alteración

Se compararon las alteraciones obtenidas por HyLogger y XRD con los mapeos realizados en este estudio, y el existente de AngloAmerican. Estos mapeos son similares con algunas leves diferencias, principalmente en la alteración potásica y biotítica.

La caracterización de alteración automatizada del HyLogger se correlaciona de buena manera con ambos mapeos. Las principales diferencias corresponden a la alteración potásica, esto debido a que la forma de discriminar esta alteración fue por medio de la detección de feldepatopotásico el cual aparece intermitentemente en los tramos escogidos (Figura 47). Se observa además en el mapeo HyLogger intercalaciones de alteración sericitica sobre las alteraciones potásicas y biotíticas (ej. Figura 49). Esto es debido a la sobre imposición de alteraciones. El método utilizado con el software detecta los minerales pero no discrimina si son primarios o secundarios. Para esto se podrían realizar escalares que determinen propiedades espectrales discriminadores, como cambios en la composición y cristalinidad. Para efecto de mapeo podría disminuirse el detalle con que se hace la clasificación, pero eso quedará a criterio del geólogo.

PALSUL10

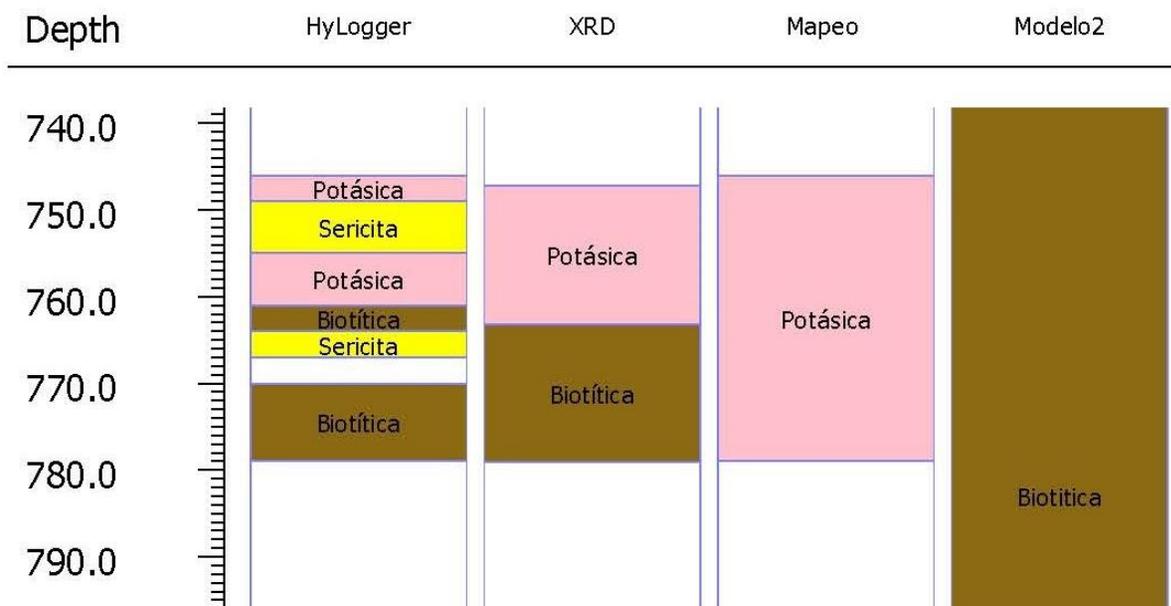


Figura 49: Comparación de clasificación de alteración utilizando los distintos métodos. De izquierda a derecha, HyLogger, XRD, mapeo estudio y modelo AngloAmerican.

6.2.1. Modelo de alteración

Dado los pocos metros de sondaje con los que se realizó el modelo de alteración en Leapfrog™, este quedó ocupando solo algunas áreas. Al contrastar estas áreas con el modelo existente, se observan similitudes principalmente en la alteración biotítica y sericitica. Dado que la alteración potásica determinada por HyLogger se encuentra principalmente en el PALSUL10 (Figura 49) se formó un volumen de alteración potásica alrededor de este tramo. Existe un contraste entre el volumen de alteración potásica entre el modelo con datos HyLogger y el existente. Esta diferencia también existe en la comparación de alteración por tramo. Esto puede deberse a una interpretación errónea del geólogo el cual no pudo observar los minerales de forma macroscópica, los cuales sí pudieron ser detectados por el HyLogger.

6.3. Caracterización mineralógica

6.3.1. Alteración Potásica

La alteración potásica en las distintas litologías queda determinada por cuarzo, albita, biotita (flogopita) ± feldespato potásico. Esta alteración se encuentra sobreimpuesta por sericitica la cual está presente como alteración de feldespato potásico. Además existe un evento de anhidrita que está presente como vetas y crecimientos intersticiales.

6.3.2. Sericita gris verde

El modo de caracterización de la alteración sericita gris verde fue realizado por medio del espectro de la muscovita. Para determinar si existía alguna diferencia composicional entre la muscovita de Los Sulfatos y La Paloma, en particular con respecto al contenido de Al, se utilizó el peak del espectro en el rango de 2190 nm y 2220 nm de longitud de onda, donde menores longitudes de onda corresponderán a mayores contenidos de aluminio (Tappert *et al.*, 2013). En el sector de La Paloma las longitudes de onda varían entre los 2196 nm y los 2211 nm con un promedio de 2204 nm, exceptuando el sondaje PALSUL10 en que el promedio está cercano a los 2206 nm. Esto último es debido a que el sondaje PALSUL10 tiene contenidos de caolinita el cual también tiene un peak espectral en la banda de Al-OH y tiende a ser de mayor longitud de onda que la muscovita. En el sector de los Sulfatos las longitudes de onda varían entre los 2196 nm y los 2211 nm con un promedio de 2203,6 nm. De acuerdo a estos resultados no se puede obtener una diferencia significativa entre los sondajes de uno u otro sector, por lo que la muscovita habría sido mineralizada en condiciones similares.

6.4. Guía mineralógica de alta Ley

En los Sulfatos hay sondajes donde se promedian leyes de 11% (Irrázaval *et al.*, 2010) por lo que en el caso de este yacimiento la “alta ley” es considerada sobre 2% de Cu. Los tramos se escogieron de manera de diferenciar un sector con “baja ley” (alrededor del 1%) de uno de alta ley. Se observaron algunos indicadores, como son la desaparición de la oligoclasa al aumentar la ley de algunos sondajes (Figura 50 Figura 51 Figura 52 y Figura 53). Además se observa una correlación entre el porcentaje relativo de cuarzo y la ley de Cu (Figura 54) en el sondaje PALSUL19. Aunque se observan una correlaciones, estas no son completamente concluyentes dado que existen sondajes donde no se cumplen.

Por otro lado, los Sulfatos presenta una ley alrededor de 0,5% y la Paloma tiene una ley de alrededor de 1,5%. Estas zonas poseen distintas alteraciones y grados de alteración los cuales son detectados por HyLogger (mayor preponderancia de feldespato potásico y flogopita en La Paloma y de sericita en Los Sulfatos), lo cual refleja el cambio de Ley. De esta manera el HyLogger puede determinar cambios en asociaciones mineralógicas pero solo de manera robusta y no cuando los cambios (por ejemplo de Ley de Cu en La Paloma) son más finos.

Se recomienda realizar un estudio más acabado de los espectros para determinar si es que existe alguna característica espectral que pueda determinar las diferencias de ley.

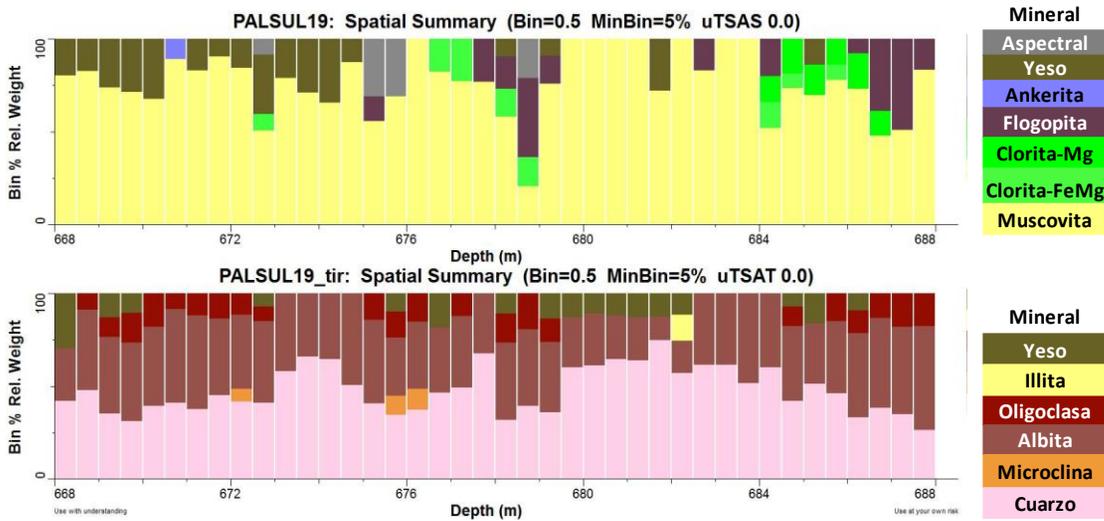


Figura 50. Resultados obtenidos por HyLogger del tramo 668 m a 687 m. Zona de baja Ley.

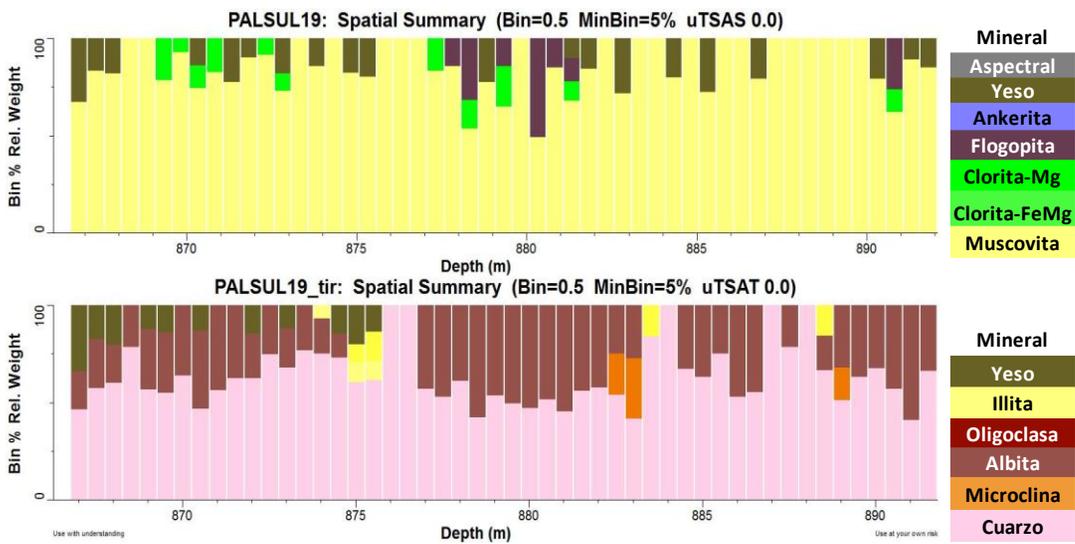


Figura 51. Resultados obtenidos por HyLogger del tramo 866 m a 892 m. Zona de alta Ley.

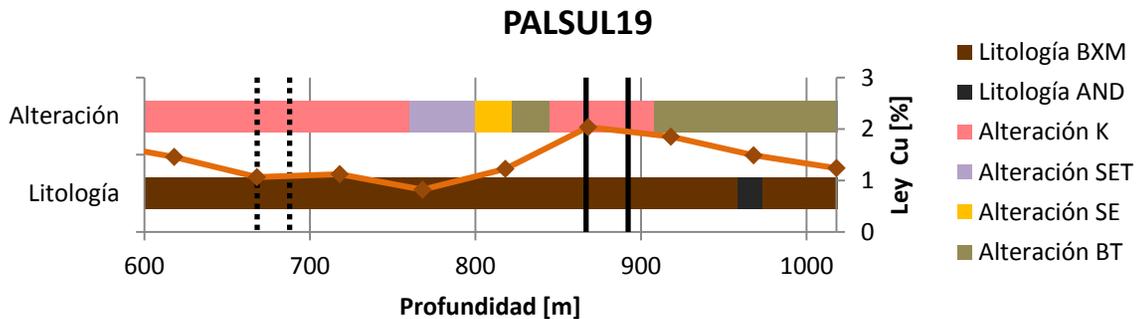


Figura 52. Gráfico que muestra la clasificación de litología y alteración y la evolución de la ley según profundidad del sondaje PALSUL19. La zona delimitada punteada es el tramo escogido de baja ley y la zona delimitada continua es el tramo escogido de alta ley.

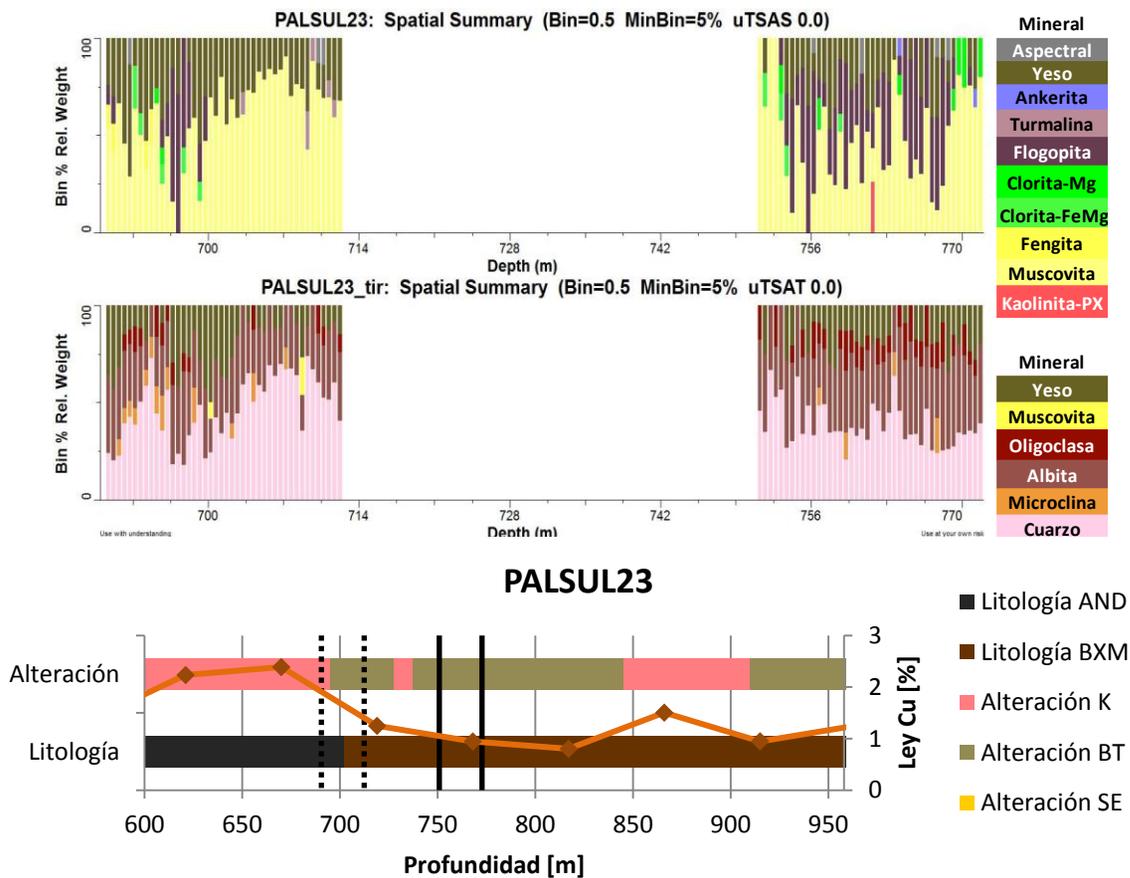


Figura 53. En la parte superior se encuentran los resultados obtenidos por HyLogger del sondaje PALSUL23. En la parte inferior se muestra un gráfico con la litología, alteración y ley según la profundidad del sondaje PALSUL23.

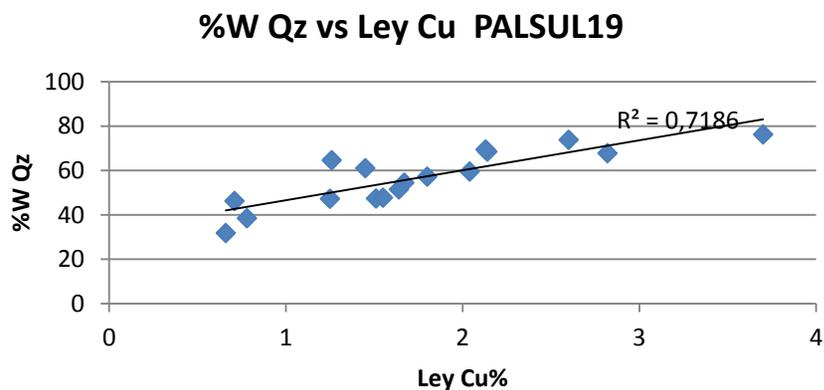


Figura 54. Gráfico de correlación entre el porcentaje relativo de cuarzo y la ley de cobre en el sondaje PALSUL19.

7. CONCLUSIONES

Validación mineralógica

Los resultados mostraron correlación con otras formas de caracterización mineral como petrografía, XRD y geoquímica. Las limitaciones encontradas corresponden a una menor detección cuando los minerales se encuentran en bajo porcentaje en la muestra. Además el HyLogger realiza un escaneo superficial de los sondajes lo cual puede sesgar el análisis. La ventaja del sistema HyLogger es que, a diferencia de los otros métodos, la caracterización se hace de manera continua y no discreta, lo cual permite una mayor cobertura para análisis. Dado que el sistema entrega pesos relativos entre los minerales entregados, se hace necesaria la validación con otros métodos de detección mineral.

Validación de alteraciones y modelo

El sistema HyLogger y el método de clasificación de alteración muestran buena correlación con los realizados por Anglo American y XRD. Además la metodología en estudio permite una comparación entre alteraciones primarias y secundarias, a pesar de que el HyLogger detecta los minerales pero no discrimina si son primarios o secundarios. Para esto se podrían realizar escalares que determinen propiedades espectrales discriminadores. Se obtendrá mejor resultado si se realiza una combinación de métodos de caracterización mineral para una mejor clasificación.

Estas diferencias en las alteraciones son la razón de los contrastes obtenidos entre el modelo realizado con HyLogger y el modelo existente. Aunque de todas maneras se obtiene una buena correlación.

Caracterización mineralógica

Si bien existe una superposición de alteraciones, se logró establecer una asociación mineralógica para la alteración potásica, la cual corresponde a $Qz - Alb - Phg \neq Feld-k$.

Con respecto al caso de la sericita, se caracterizó la composición con respecto al Al la cual fue de composición intermedia, pero no se encontraron diferencias sustanciales entre los sectores de La Paloma y Los Sulfatos.

HyLogger

Se concluye que el sistema HyLogger y el software TSG, asociado a otros métodos de caracterización mineral, constituyen una herramienta rápida y eficaz para la obtención de datos semi-cuantitativos. Usando la metodología se logró realizar una

caracterización mineral, una clasificación de alteración y un modelo de alteraciones. De esta manera, utilizando los datos del sistema, se puede obtener una visualización rápida de alteraciones para complementar el modelamiento. Por otra parte, el valor y utilidad de los espectros obtenidos por HyLogger puede aumentar considerablemente dependiendo del análisis que se haga de los mismos. Esto deja una ventana abierta a continuar los estudios basados en la espectroscopia infrarroja aplicados a geología.

8. BIBLIOGRAFÍA

BARASSI S., CASTRO C. and WALKER Y C. 2004 no publicado, reporte para Compañía Minera Disputada de Las Conde.

BENTLY, F. F. 1968. Infrared spectra and characteristic frequencies-700-300 cm⁻¹. Interscience, New York. 779 pp.

BERMAN, M. 1999. Algorithms and software for the automated identification of minerals using field spectra or hyperspectral imagery. Proc. of the 13th Int. Conf. on Applied Geologic Remote Sensing, Vancouver 1: 222-232.

CAMUS, F. 2003. Geología de los sistemas porfíricos en los Andes de Chile: Santiago, Chile. Servicio Nacional de Geología y Minería: 267.

CANNELL, J. 2005. Geology, mineralization, alteration, and structural evolution of the El Teniente porphyry Cu-Mo deposit. Economic Geology 100: 979–1003.

CLARK, R. N. 1999, Chapter 1: Spectroscopy of Rocks and Minerals, and Principles of Spectroscopy, En: Manual of Remote Sensing, Volume 3, Remote Sensing for the Earth Sciences, New York, (A.N. Rencz, ed.) John Wiley and Sons. pp 3- 58.

CUDAHY, T.J., HEWSON, R.D., CACCETTA, M.S., ROACHE, A., WHITBOURN, L.B., CONNOR, P., COWARD, D., MASON, P., YANG, K., HUNTINGTON, J.F. and QUIGLEY M.A. 2009. Drill Core Logging of Plagioclase Feldspar Composition and Other Minerals Associated with Archean Gold Mineralization at Kambalda, Western Australia, Using a Bidirectional Thermal Infrared Reflectance System. Reviews in Economic Geology 16: 223-235.

DECKART, K. 2005. Magmatic and hydrothermal chronology of the giant Río Blanco porphyry copper deposit, Central Chile: Implications of an integrated U-Pb and ⁴⁰Ar/³⁹Ar database. Economic Geology 100: 905–934.

ESTEP-BARNES, P. 1977. Infrared Spectroscopy. En: ZUSSMAN J. Physical Methods in Determinative Mineralogy. 2^a ed. England. Academic Press. pp. 529-603.

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

GUSTAFSON, L.B., and HUNT, J.P. 1975. The porphyry copper deposit at El Salvador, Chile. Economic Geology 70: 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* 90: 2–16.

HAEST, M., CUDAHY, T., LAUKAMP, C., and GREGORY, S. 2012 Quantitative Mineralogy from Infrared Spectroscopic Data. I. Validation of Mineral Abundance and Composition Scripts at the Rocklea Channel Iron Deposit in Western Australia. *Economic Geology* 107(2): 209-228.

HERRMANN, W., BLAKE, M., DOYLE, M., HUSTON, D., KAMPRAD, J., MERRY, N., and PONTUAL, S. 2001. Short Wavelength Infrared (SWIR) Spectral Analysis of Hydrothermal Alteration Zones Associated with Base Metal Sulfide Deposits at Rosebery and Western Tharsis, Tasmania, and Highway-Reward, Queensland. *Economic Geology* 96(5): 939-955.

HOOK, S.J. and KAHLE, A.B. 1996. The micro-Fourier transform interferometer (mFTIR)—a new field spectrometer for acquisition of infrared data of natural surfaces. *Remote Sensing of Environment* 56: 172–181.

HUNT, G.R., SALISBURY, J.W., y LENHOFF, C.J. 1971. Imágenes espectrales del infrarrojo visible y del infrarrojo cercano de minerales y rocas: III. Oxidos e hidróxidos: *Modern Geology*, v. 2: 195-205.

HUNT, G.R. and SALISBURY, J.W. 1974. Mid-infrared spectral behavior of igneous rocks: Cambridge, Mass., U.S. Air Force Cambridge Research Laboratories Technical Report AFCRL-TR-74-0625.

HUNT, G.R. and SALISBURY, J.W. 1975. Mid-infrared spectral behavior of sedimentary rocks: Cambridge, Mass., U.S. Air Force Cambridge Research Laboratories Technical Report AFCRL-TR-75-0356.

HUNT, G.R. and SALISBURY, J.W. 1976. Mid-infrared spectral behavior of metamorphic rocks: Cambridge, Mass., U.S. Air Force Cambridge Research Laboratories Technical Report AFCRL-TR-76-0003

HUNTINGTON, J., WHITBOURN, L., MASON, P., BERMAN, M., and SCHODLOK, M. C. 2010. HyLogging—Voluminous industrial-scale reflectance spectroscopy of the Earth's subsurface. *En: Art, Science and Applications of Reflectance Spectroscopy Symposium*, ASD Inc., Boulder, Colop. 2010. 23-25.

HUNTINGTON, J. F., MAUGER, A. J., SKIRROW, R. G., BASTRAKOV, E. N., CONNOR, P., MASON, P., BERMAN, M., PHILLIPS, R., WHITBOURN, L.W. and HEITHERSAY, P.S. 2006. Automated mineralogical core logging at the Emmie Bluff iron

oxide-copper-gold prospect. *Minerals and Energy South Australia, MESA Journal* 1: 33–44.

IRARRAZAVAL, V., SILLITOE, R. H., WILSON, A., TORO, J. C., ROBLES, W., and LYALL, G. 2010. Discovery history of a giant, high-grade, hypogene porphyry copper-molybdenum deposit at Los Sulfatos, Los Bronces-Río Blanco district, central Chile. *Society of Economic Geologists Special Publication* 15: 253–270.

KAHLE, A. B., MADURA, D. P., and SOHA, J. M. 1980. Middle infrared multispectral aircraft scanner data: Analysis for geological applications. *Applied Optics* 19: 2279–2290.

KORB, A. R., DYBWAD, P., WADSWORTH, W., and SALISBURY, J. W. 1996. Portable Fourier transform infrared spectroradiometer for field measurements of radiance and emissivity. *Applied Optics* 35: 1679–1692.

LAUKAMP, C., SALAMA, W., and GONZÁLEZ-ÁLVAREZ, I. 2016. Proximal and remote spectroscopic characterisation of regolith in the Albany–Fraser Orogen (Western Australia). *Ore Geology Reviews* 73(3): 540-554.

LYON R. J. P. and EUGENE A. BURNS 1936. Analysis of rocks and minerals by reflected infrared radiation. *Economic Geology* 58(2): 274-284.

LYON, R.J.P. 1965. Analysis of rocks and minerals by reflected infrared radiation. *Economic Geology* 60: 715–736.

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: 15–54.

MILLER, F. A., CARLSON, G. L., BENTLEY, F. F., and JONES, W. H. 1960. Infrared spectra of inorganic ions in the cesium bromide region (700–300 cm^{-1}). *Spectrochimica Acta* 16: 135-235.

NASH, D.B., and SALISBURY, J.W. 1991. Infrared reflectance spectra of plagioclase feldspars. *Geophysical Research Letters*. 18: 1151–1154.

NINOMIYA, Y., FU, B., & CUDAHY, T. J. 2005. Detecting lithology with Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflectance Radiometer (ASTER) multispectral thermal infrared “radiance-at-sensor” data. *Remote Sensing of Environment* 99: 127–139.

PÁEZ, C. 2008. Espectrometría de reflectancia (SWIR) aplicada para mapeo de alteración en la zona de Viruela-La Cruz, proyecto La India: Distrito Minero Mulatos, Sahuaripa, Sonora México. Memoria de Título, Universidad de Sonora, Mexico.

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. En: Congreso Geológico Chileno, 12th, Santiago, 2009, Actas, pendrive, 4 p.

QUIGLEY, M. A., YILDIRIM, B. G., and QUIGLEY, M. A. 2015. Mineral Identification and Domain Characterisation using Two Automated Hyperspectral Core Logging Systems, Los Bronces Cu-Mo Porphyry Deposit. En: 13th SGA Biennial Meeting on Mineral Resources in a Sustainable World: 24-27 de agosto de 2015. Nancy, Francia.

ROWAN, L. C., HOOK, S. J., ABRAMS, M. J., and MARS, J. C. 2003. Mapping hydrothermally altered rocks at Cuprite, Nevada, using the Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER), a new satellite-imaging system. *Economic Geology* 98: 1019–1027.

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: 119–130.

SILLITOE, R.H., and PERELLÓ, J. 2005. Andean copper province: Tectonomagmatic settings, deposit types, metallogeny, exploration, and discovery. *Economic Geology* 100th anniversary volume: 845–890.

SILVA, W., y TORO, J.C. 2009. Mineralización primaria sintectónica en el distrito minero Río Blanco-Los Bronces. En: Congreso Geológico Chileno, 12th, Santiago, 2009, Actas, Pendrive: S11–059.

SKEWES, M. A., 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: 299–332.

SKEWES, M.A., y HOLMGREN, C., 1993, Solevantamiento andino, erosión y emplazamiento de brechas mineralizadas en el depósito de cobre porfídico Los Bronces, Chile central (33°S): Aplicación de geotermometría de inclusiones fluidas. *Revista Geológica de Chile* 20: 71–83.

SKEWES, M.A., y STERN, C.R. 1994. Tectonic trigger for the formation of late Miocene Cu-rich breccia pipes in the Andes of central Chile. *Geology* 22: 551–554.

SPROHNLE C., 2007, no publicado. Reporte para Anglo American Chile Ltda.

STERN, C.R. 1989. Pliocene to Present migration of the volcanic front, Andean southern volcanic zone. *Revista Geológica de Chile* 16: 145–162.

TAPPERT, M. C., RIVARD, B., GILES, D., TAPPERT, R., & MAUGER, A. 2013. The mineral chemistry, near-infrared, and mid-infrared reflectance spectroscopy of phengite from the Olympic Dam IOCG deposit, South Australia. *Ore Geology Reviews* 53: 26-38.

THOMPSON, C.S., and WADSWORTH, M.E. 1957. Determination of the composition of plagioclase feldspars by means of infrared spectroscopy: *American Mineralogist*: 42: 334–341.

TORO J.C., 2012, reporte para Anglo American Chile Ltda.

TORO, J. C., ORTUZAR, J., ZAMORANO, J., CUADRA, P., HERMOSILLA, J., and SPROHNLE, C. 2012. Protracted magmatic-hydrothermal history of the Rio Blanco-Los Bronces district, central Chile: Development of world's greatest known concentration of copper. *Society of Economic Geologists Special Publication* 16: 105-126.

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: 281–297.

VINCENT, R. K., ROWAN, L. C., GILLESPIE, R. E., and KNAPP, C. 1975. Thermalinfrared spectra and chemical analyses of twenty-six igneous rock samples. *Remote Sensing of Environment* 4:199–209.

WALTER, L.S. and SALISBURY, J.W. 1989. Spectral characterisation of igneous rocks in the 8–12 micron region. *Journal of Geophysical Research* 94: 9203–9213.

WHITBOURN, L. B., PHILLIPS, R. N., JAMES, G., O'BRIEN, M. T., and WATERWORTH, M. D. 1990. An airborne multi-line CO₂ laser system for remote sensing of minerals. *Journal of Modern Optics* 37: 1865–1872.

WINDELER, D.S., and LYON, R.J.P. 1991. Discriminating dolomitization of marble in the Ludwig skarn near Yerington, Nevada, using high-resolution airborne infrared imagery. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 57: 1171–1177.

YANG, K., HUNTINGTON, J. F., GEMMELL, J. B., & SCOTT, K. M. 2011. Variations in composition and abundance of white mica in the hydrothermal alteration system at Hellyer, Tasmania, as revealed by infrared reflectance spectroscopy. *Journal of Geochemical Exploration* 108(2): 143-156.

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

ANEXO I. METODOLOGÍA

Mapeo de sondajes

Alteración		Mineralización (%-ocurrencia)											
Alt 1	Alt 2	Bornita	Calcopirita	Calcosina	Covelina	Molibdenita	Enargita	Magnetita	Pirita	Ox Cu	Ox Fe hematit	mineral%	Ley estimada

Desde (m)	Hasta (m)	Litología	Mineralogía de alteración (Intensidad 1-3)(ocurrencia Clasto Matriz)																		
			Actinolita	Albita	Anhidrita	Arcillas	Biotita	Calcita	Caolín	Carbonatos(A)	Clorita	Cuarzo	Epidota	Esmectita	Especularita	Feld-K	illita	Montmotilloni	Muscovita	Sericita gris	Sericita Blanca

Vetas				Vetillas				Estructura			Espacio entre testigos	Tamaño de los Testigos	Anotaciones
tipo	angulo	%	grosor	tipo	angulo	%	grosor	tipo	angulo	Profundidad	% mayor a 5 cm	% menor a 5cm	

Imagen 1. Pauta de mapeo utilizada para el mapeo de sondajes.

Ubicación Secciones A-A' y B-B'

Tabla 5. Tabla ubicación secciones A-A' y B-B'

Parámetro	Secciones	
	A-A'	B-B'
Dip	90°	90°
Dip direction	148°	148°
N	6325583	6324752
E	383945	384630
Z	3828,3	3828,3

Análisis XRD

Para el análisis de difracción de rayos X se utiliza un equipo Rigaku MiniFlex600, ubicado en el AMTC de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile.

La muestra es pesada, secada y molida en 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).

Se separan 5 gr de muestras y se colocan en un portamuestras, asegurando que quede prensada para evitar derramamientos que afecten los ángulos de detección. Se ingresa la muestra al instrumento el cual se ajusta a 40 kV y 15 mA. Se selecciona los ángulos de barrido que por lo general es barrido completo. Además se selecciona el paso del ángulo y el tiempo que demora por paso. Para este estudio el tiempo es de 8 min por muestra. Luego la muestra es sacada del portamuestras, se devuelve al envoltorio y se limpia el portamuestras.

El resultado de los análisis son procesados utilizando el software PDXL: Integrated X-ray powder diffraction software con la base de datos ICDD PDF-2.

Análisis Químico

500g de muestra es triturada, pulverizada y tamizada en mallas +150 y -150 para análisis metálicos. Luego se somete a digestión por agua regia en 1g para sulfuros de metales base y minerales de metales preciosos. Además se incluye análisis ICP-OES e ICP-MS. Estos dos últimos análisis extienden los límites de detección y logran un espectro de elementos más amplio.

Tabla 6. Tabla de elementos y sus respectivos límites inferiores para la metodología utilizada.

Elemento	Límite	Unidad
Ag	0.5	ppm
Al	0.01	%
As	5	ppm
Ba	5	ppm
Bi	0.5	ppm
Ca	0.01	%
Cd	0.5	ppm
Co	0.5	ppm
Cr	0.5	ppm
Cu	0.5	ppm
Fe	0.01	%
Ga	5	ppm
Hg	0.05	ppm
K	0.01	%
La	0.5	ppm
Mg	0.01	%
Mn	5	ppm
Mo	0.5	ppm
Na	0.01	%
Ni	0.5	ppm
P	0.001	%
Pb	0.5	ppm
S	0.05	%
Sb	0.5	ppm
Sc	0.5	ppm
Se	2	ppm
Sr	5	ppm
Th	0.5	ppm
Ti	0.001	%
Tl	0.5	ppm
U	0.5	ppm
V	10	ppm
W	0.5	ppm
Zn	5	ppm

ANEXO II. DESCRIPCIÓN DE MUESTRAS

Cortes transparentes-pulidos

Fecha	Muestra
06-09-2016	SLB04802

Procedencia	Ubicación-Tramo	Clasificación petrográfica
Los Sulfatos	PALSUL06 - 796,5-796,63	Cuarzo-monzonita

Observaciones macroscópicas

Se observa una textura porfídica con cristales de cuarzo y plagioclasa. Posee alteración cuarzo sericita. Además se observan cristales de biotita. La mineralización se presenta diseminada con cpy y py pero en muy bajo porcentaje.

Observaciones Microscópicas

La roca corresponde principalmente a plagioclasas y cuarzo en granos de alrededor de 0.2mm, sericitización moderada. Presenta además biotitas y cloritas en menor porcentaje. No presenta vetillas.



Imagen 2. Fotografía de la muestra SLB04802 donde se muestra la textura porfídica

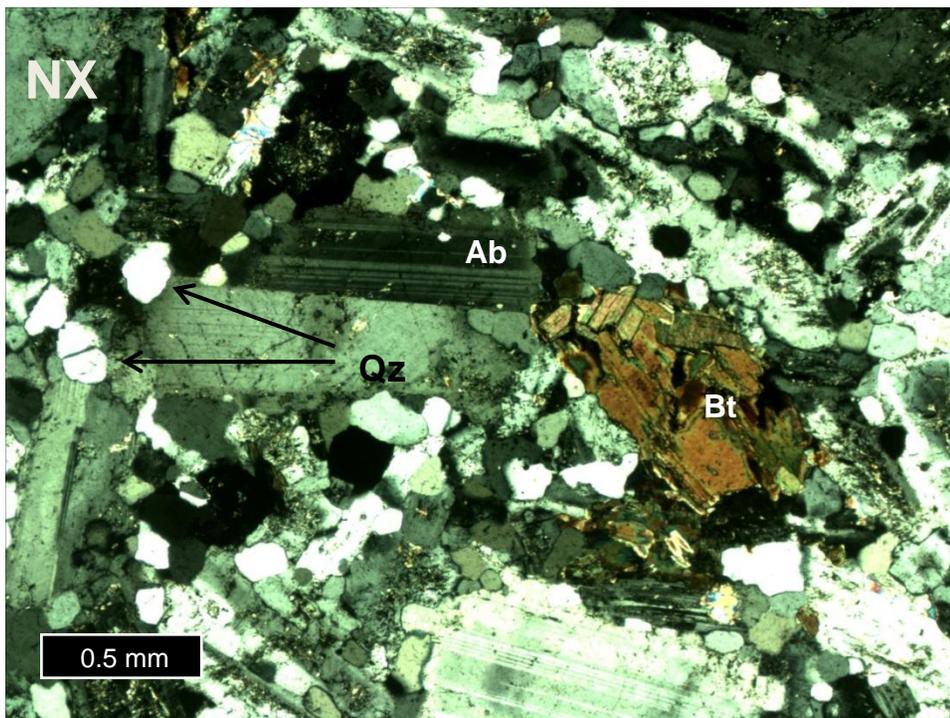


Imagen 3. Fotomicrografía de la muestra SLB04802. Se aprecia albita, biotita y cuarzo secundario.

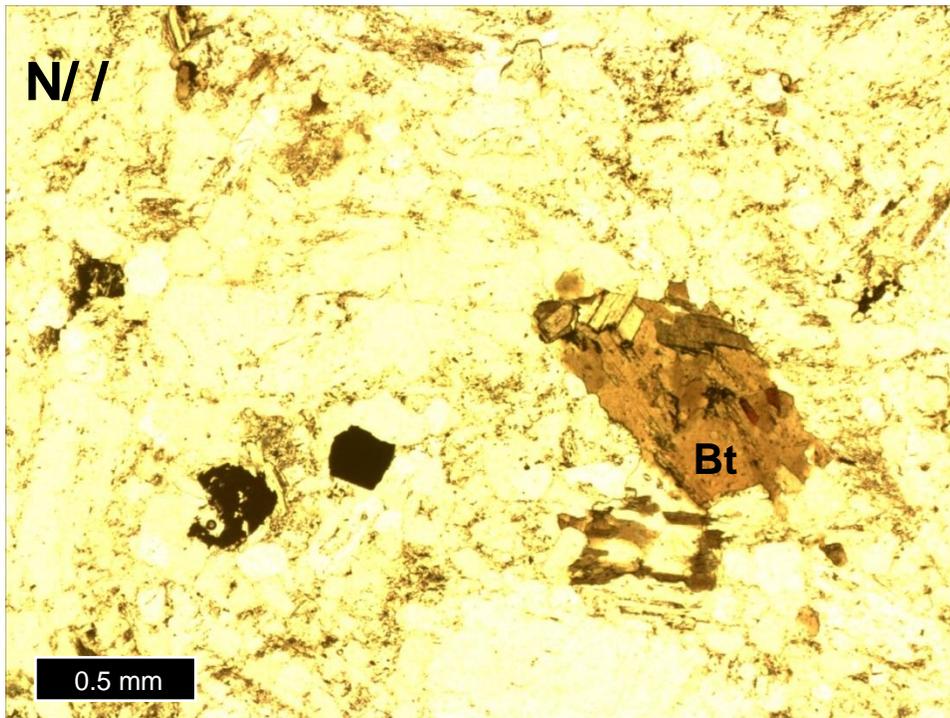


Imagen 4. Fotomicrografía de la muestra SLB04802 a nicoles paralelos. Se observa el cúmulo de biotita.

Roca(Protolito)		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
Cuarzo	20%	Cristales de 1mm
Plagioclasa y feldespato potásico	75%	Cristales tabulares de entre 1mm y 2mm

Minerales accesorios		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
Biotita	5%	Cristales tabulares de 0,2mm a 2mm

Minerales de Alteración de Alteración o secundarios		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
Sericita	30%	Alteración pervasiva a plagioclasas y feld-k
Albita	40%	Alterando los feldspatos-K
Biotita	10%	Cúmulos de biotitas
Anhidrita	Traza	Intermineral
Cuarzo	20%	Se observa como cristales intercrecidos de 0,2mm

Fecha	Muestra
06-09-2016	SLB04809

Procedencia	Ubicación-Tramo	Clasificación petrográfica
Los Sulfatos	PALSUL06 - 817,83-817,93	Cuarzo-monzonita

Observaciones macroscópicas

Se observa textura porfídica con masa fundamental de plagioclasas y cuarzo, además de biotita. Se observa una vetilla de Py y Cpy con halo de sericita. Alteración cuarzo sericítica moderada de mayor intensidad en el halo de la veta. Py y Cpy diseminada en toda la muestra, con mayor presencia en el halo de la veta.

Observaciones Microscópicas

Se observa dos vetillas que atraviesan el corte, una de cuarzo sin halo y otra de un Py con un halo de granos de cuarzo y muscovita. Todo esto afecta una roca principalmente compuesta de Qz, feld-k, plagioclasas y biotita

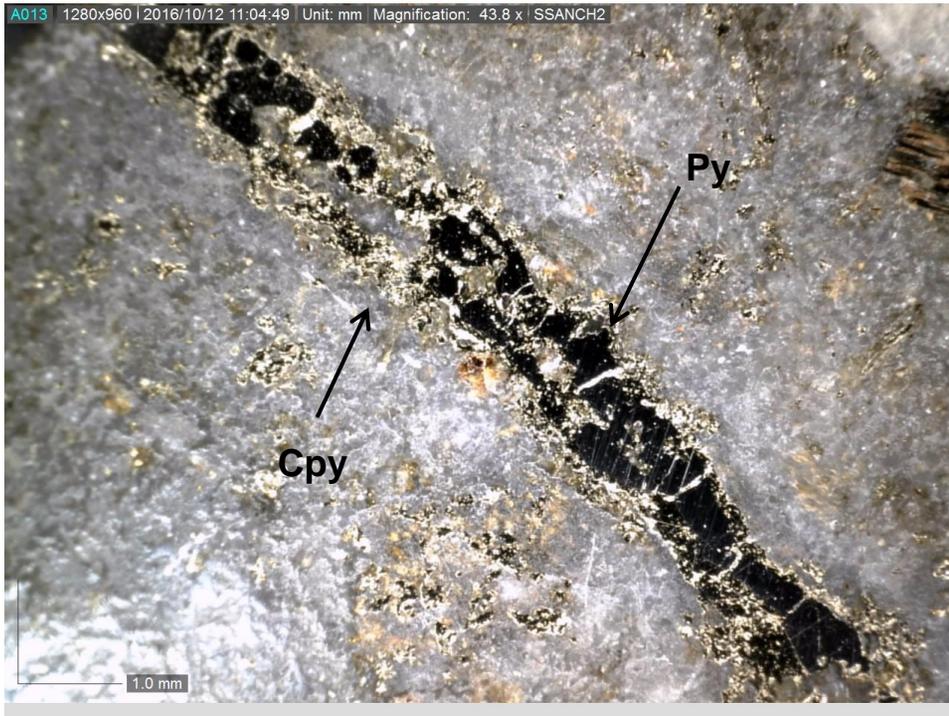


Imagen 5. Fotografía muestra SLB04809. Se observa una veta de Py + Cpy con halo de sericita.

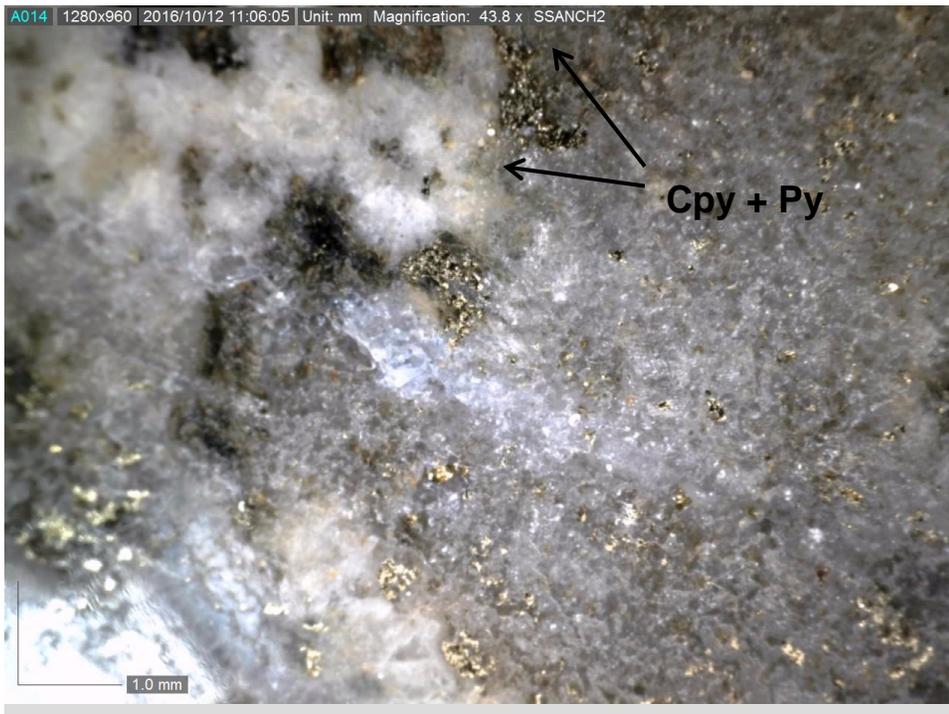


Imagen 6. Fotografía muestra SLB04809. Cpy + Py disseminada en el halo de sericita.

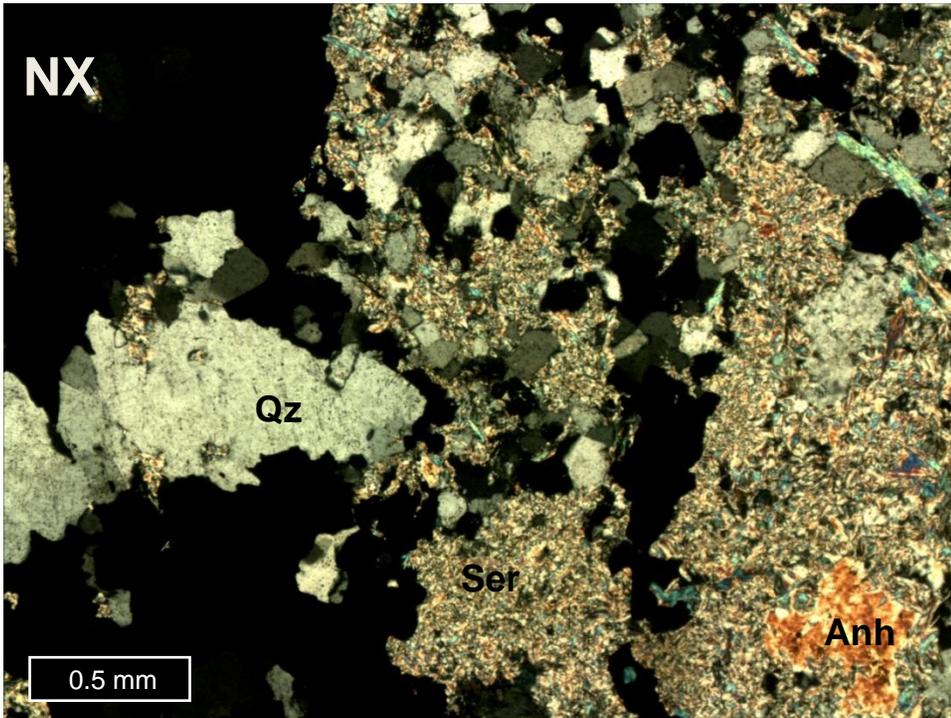


Imagen 7. Fotomicrografía de la muestra SLB04809. Se observa el halo de la veta compuesto de Qz-Ser-Anh

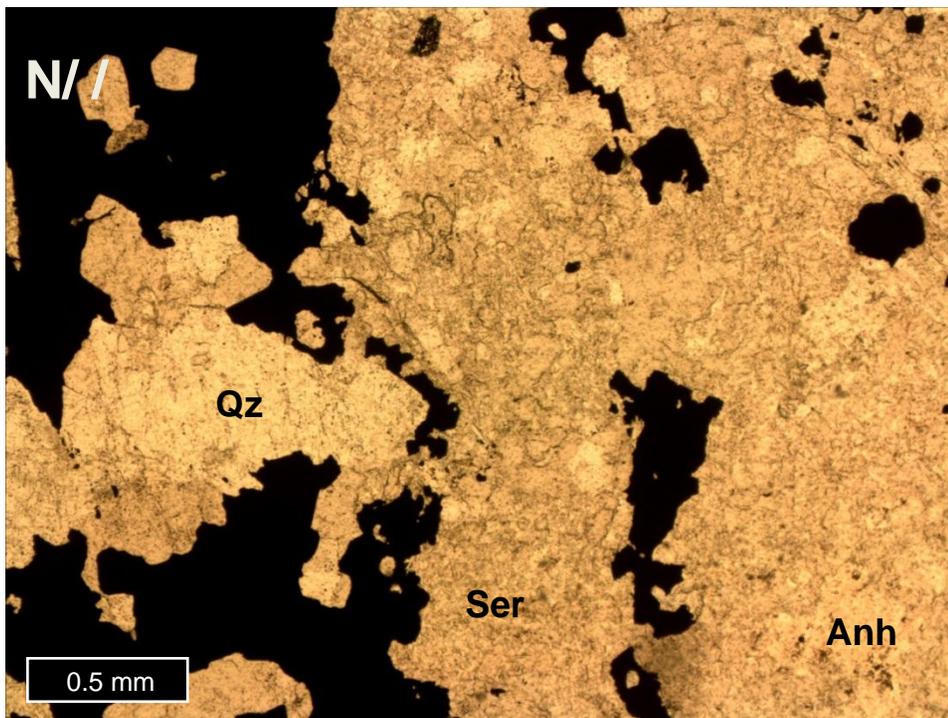


Imagen 8. Fotomicrografía de la muestra SLB04809 a nicols paralelos. Se observa el halo de la veta compuesto de Qz-Ser-Anh

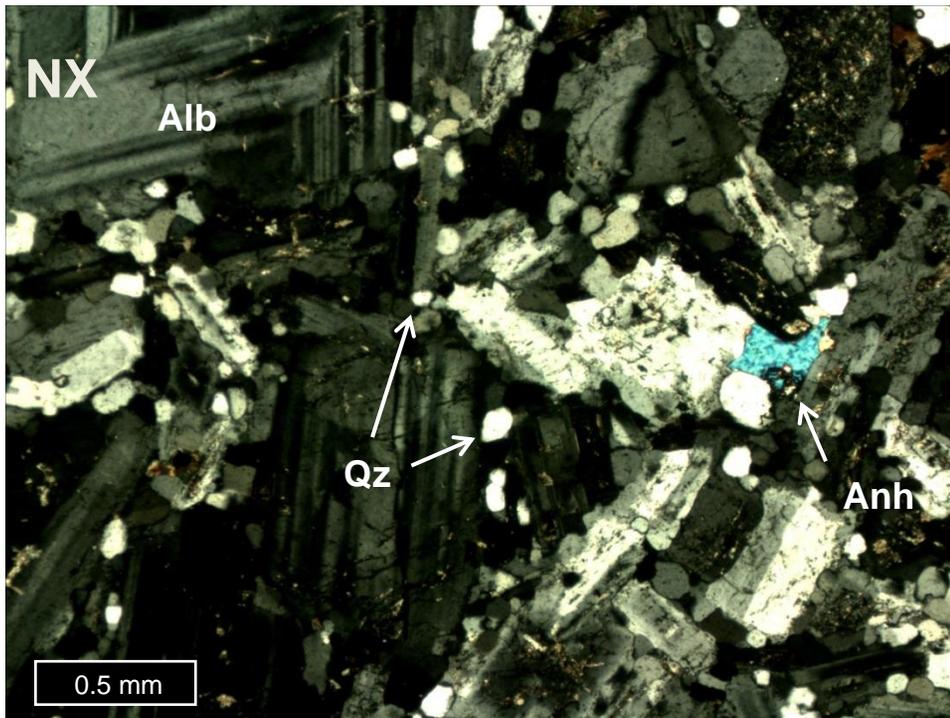


Imagen 9. Fotomicrografía de la muestra SLB04809 zona sin halo de veta. Se puede observar Qz secundario y Anh intersticial entre cristales de Alb.

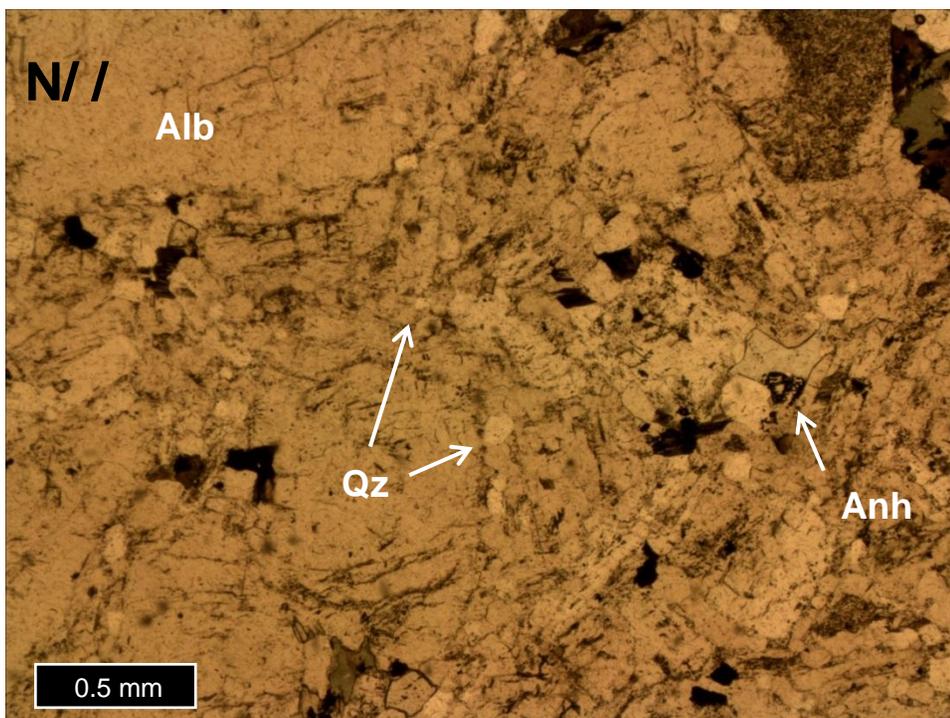


Imagen 10. Fotomicrografía de la muestra SLB04809 a nicols paralelos zona sin halo de veta. Se puede observar Qz secundario y Anh intersticial entre cristales de Alb.

Roca(Protolito)		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
Cuarzo	20%	Granos de 0,2mm
Plagioclasa y feldespato potásico	70%	Cristales tabulares de 1mm a 2mm
Biotita	10%	Cristales tabulares de 1mm-1,4mm

Minerales de Alteración de Alteración o secundarios		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
Sericita	60%	Alterando de forma pervasiva y como halo de vetillas
Cuarzo	35%	Halo de vetillas e intercrecido
Biotita	5%	Cúmulos de minerales

Minerales Opacos		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
Py - Cpy	3%	Vetillas y diseminado

Vetillas		
Tipo/Asoc.	Espesor	Ocurrencia
Py - Cpy	0,8mm	Atravesando la muestra con Halo de sericita y Qz
Cuarzo	0,8mm	Atravesando la muestra sin Halo con cxs de 0,6mm a 1mm

Fecha	Muestra
06-09-2016	SLB10028

Procedencia	Ubicación-Tramo	Clasificación petrográfica
Los Sulfatos	PALSUL12 - 628,05-628,13	Cuarzo-monzonita

Observaciones macroscópicas

Se observan textura porfídica con cristales de cuarzo, plagioclasas y feldespato potásico, además de biotita. La mineralización es diseminada compuesta por Bn, Cpy y Py. Alteración sericítica afectando al feldespato potásico principalmente.

Observaciones Microscópicas

Los componentes principales de la roca corresponden a plagioclasas, feldespato potásico y cuarzo.

Se observan granos de cuarzo secundario. Además se observa un sector del corte con mucho mayor porcentaje de sericita lo que podría ser de una vetilla que no cruza el corte. Se observa clorita alterando a la biotita.

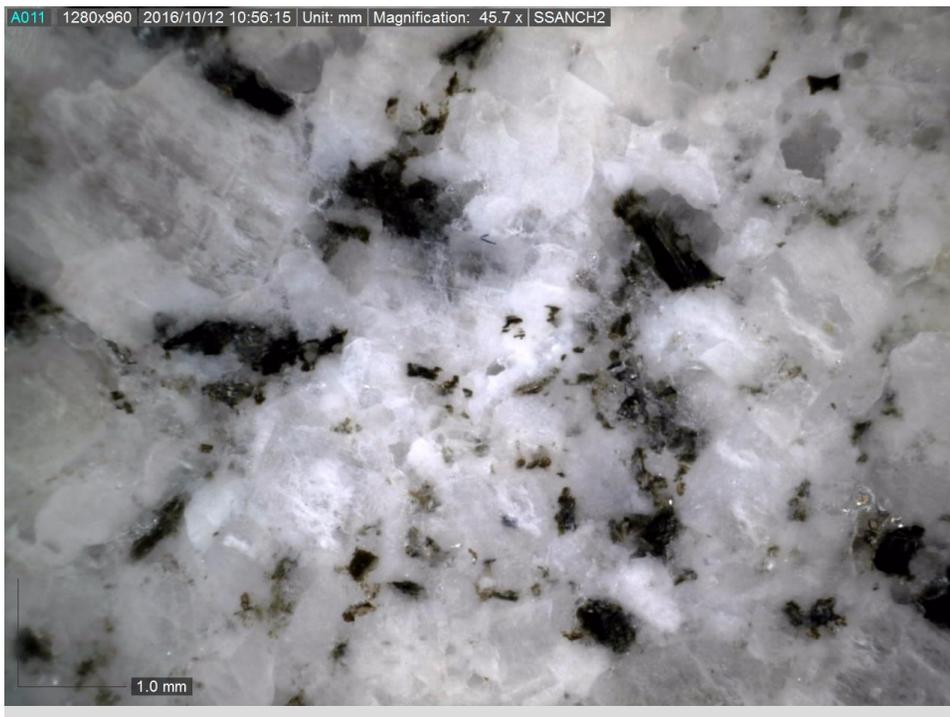


Imagen 11. Fotografía de la muestra SLB10028 mostrando la textura porfídica.

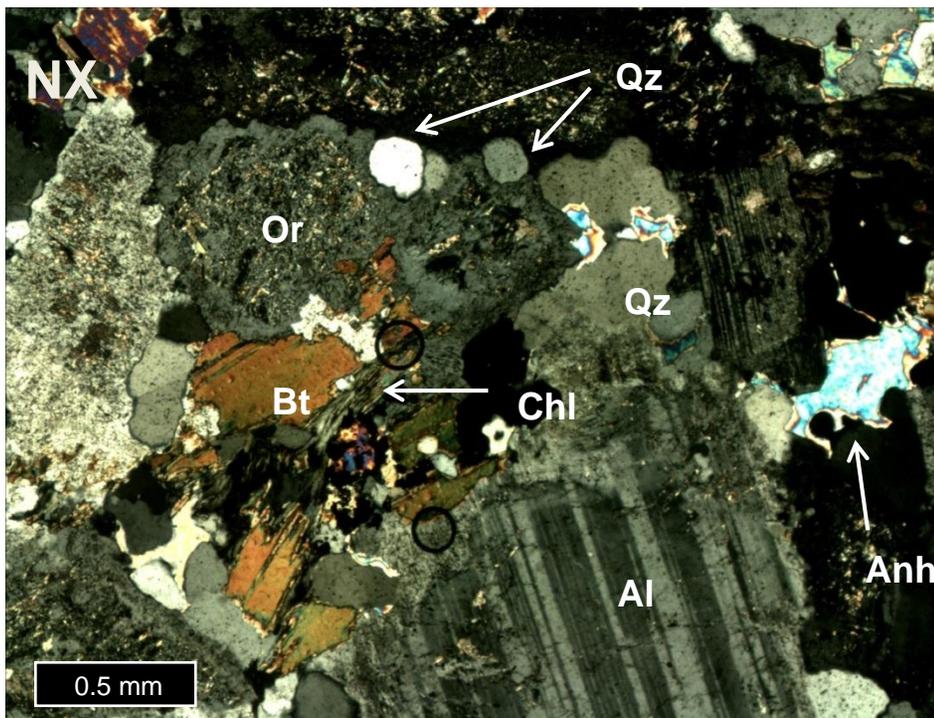


Imagen 12: Fotomicrografía de la muestra SLB10028. Se observan ortoclasas alteradas a sericita, cuarzo secundario, anhidrita intersticial y biotita alterada a clorita.

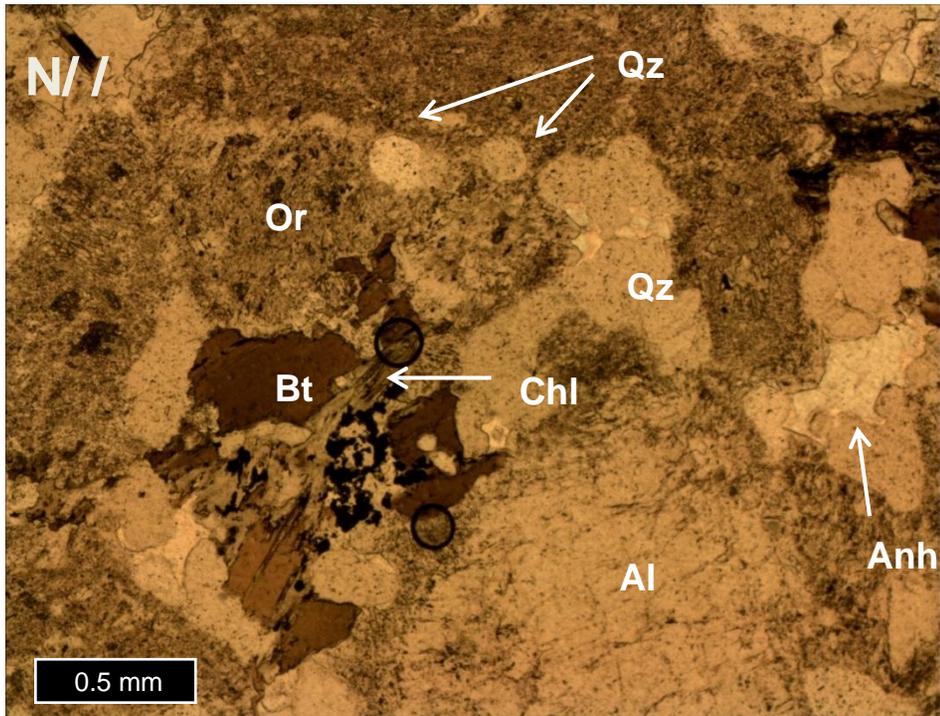


Imagen 13. Fotomicrografía de la muestra SLB10028 a nicols paralelos. Se observan ortoclasas alteradas a sericita, cuarzo secundario, anhidrita intersticial y biotita alterada a clorita.

Roca(Protolito)		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
Cuarzo	20%	Se observa en granos de 1mm a 2mm
Feldespato potásico	15%	En cristales tabulares de 0,4mm a 1mm
Albita	40%	En cristales tabulares de 1,4mm a 1mm

Minerales accesorios		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
Biotita	5%	Micas de 0,6mm

Minerales de Alteración de Alteración o secundarios		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
Sericita	60%	Se presenta de manera pervasiva afectando toda la roca
Clorita	5%	En cúmulos junto a biotita
Biotita	15%	En cúmulos
Anhidrita	10%	Se presenta en intersticios y vetillas
Cuarzo	10%	Se presenta en vetillas y intercrecido

Minerales Opacos		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
Py	<1%	Algunos minerales aislados y vetillas

Vetillas		
Tipo/Asoc.	Espesor	Ocurrencia
Qz-Anh	1,4mm	Vetas irregulares poco distinguibles

Fecha	Muestra
06-09-2016	SLB10049

Procedencia	Ubicación-Tramo	Clasificación petrográfica
Los Sulfatos	PALSUL12 - 680,13-680,22	Cuarzo-monzonita

Observaciones macroscópicas

Se observa una textura porfídica relictiva, pero la muestra se encuentra alterada pervasivamente por sericita. Se observa una vetilla de Py-Qz-Anh con halo de sericita color verde. Existe mineralización diseminada de Cpy - Py.

Observaciones Microscópicas

La alteración es cuarzo sericita pervasiva. La sericita altera principalmente las plagioclasas y feldspatos, mientras que se forma cuarzo en los intersticios de estos en granos de 0,2mm. Los opacos se encuentran rodeados por anhidrita. La característica principal del corte es que lo atraviesa una veta de cuarzo con py con halo de sericita y anh.

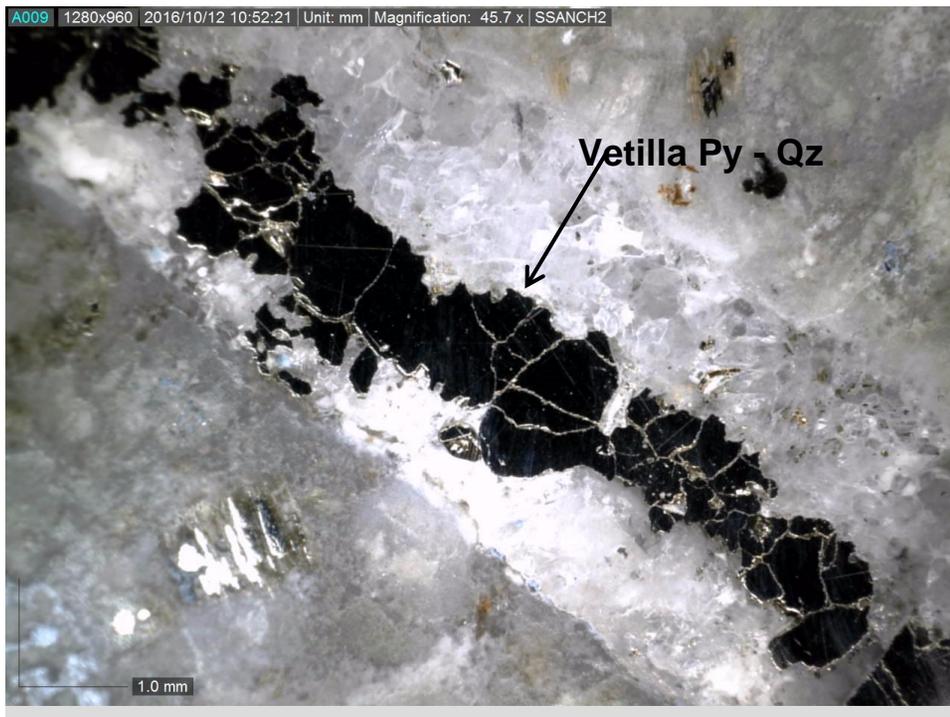


Imagen 14. Fotografía de la muestra SLB10049. Se observa una veta de Qz-Py-Anh.

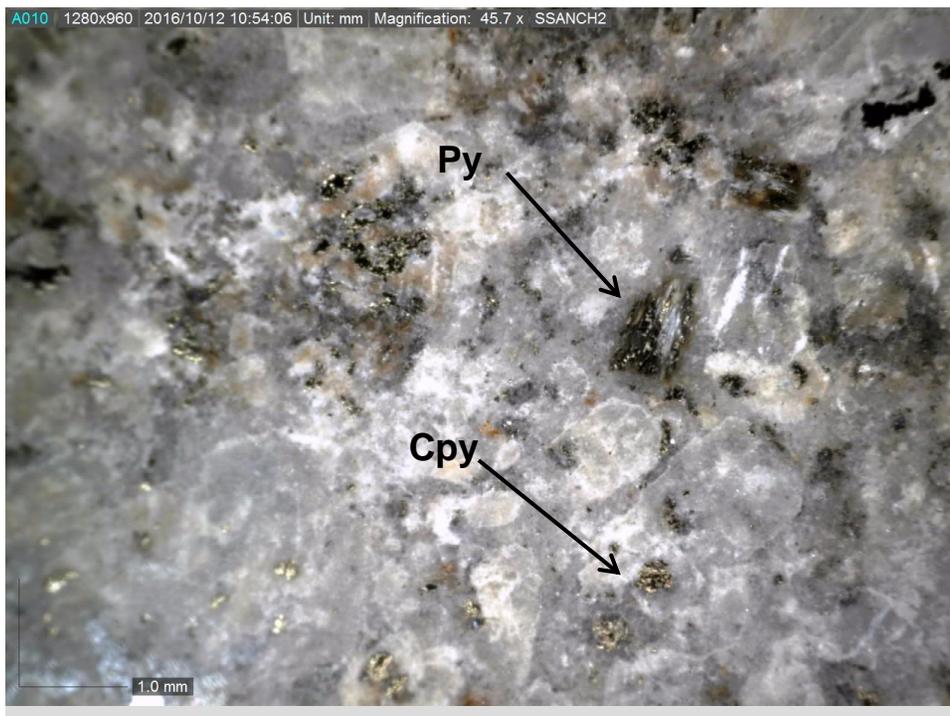


Imagen 15. . Fotografía de la muestra SLB10049. Se observa la textura porfídica relict y Py – Cpy diseminadas.

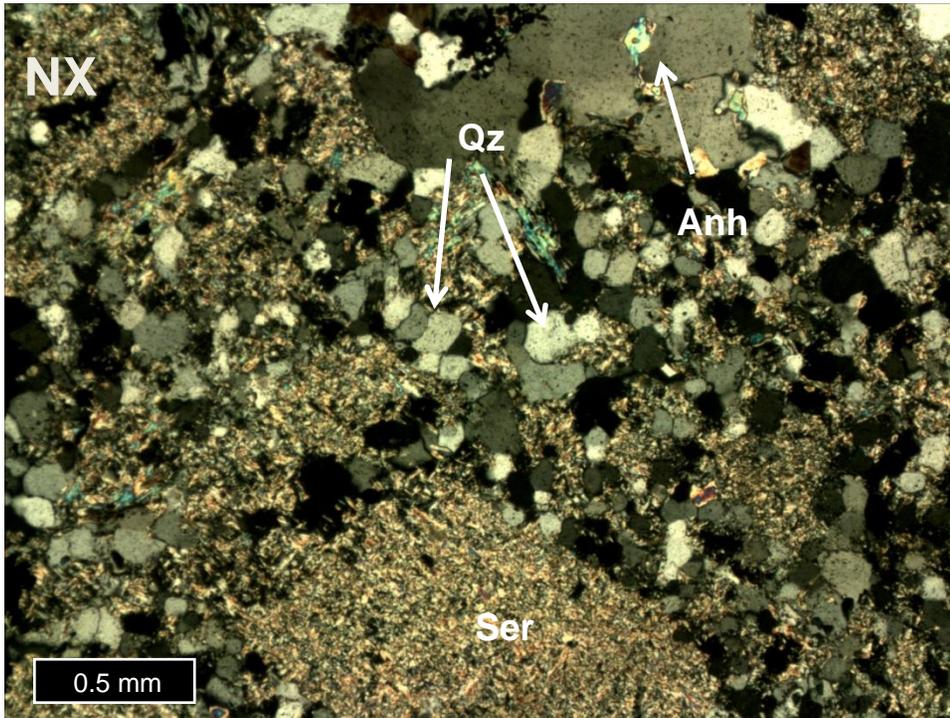


Imagen 16. Fotomicrografía de la muestra SLB10049. Se muestra la alteración cuarzo sericita afectando plagioclasas.

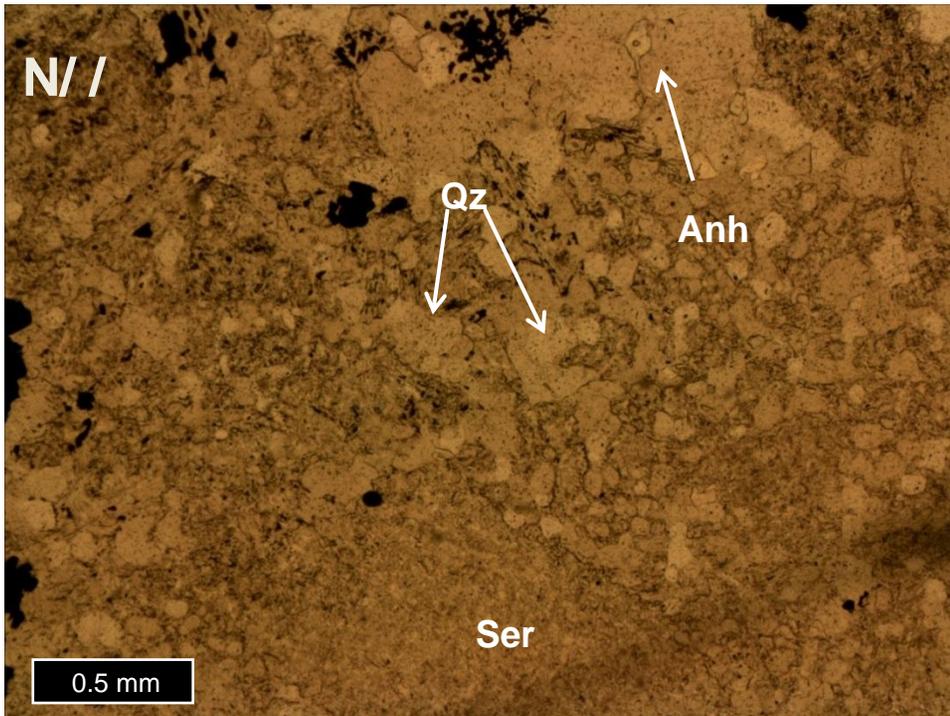


Imagen 17. Fotomicrografía de la muestra SLB10049 nicols paralelos. Se muestra la alteración cuarzo sericita afectando plagioclasas.

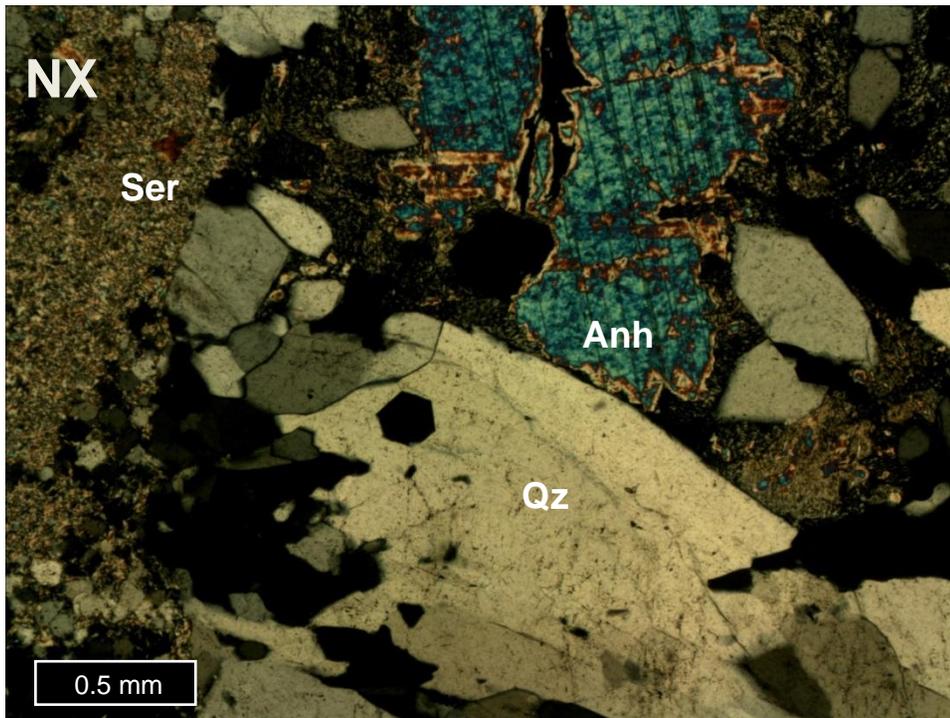


Imagen 18. Fotomicrografía de la muestra SLB10049. Se muestra una veta de Qz-Anh-Py.

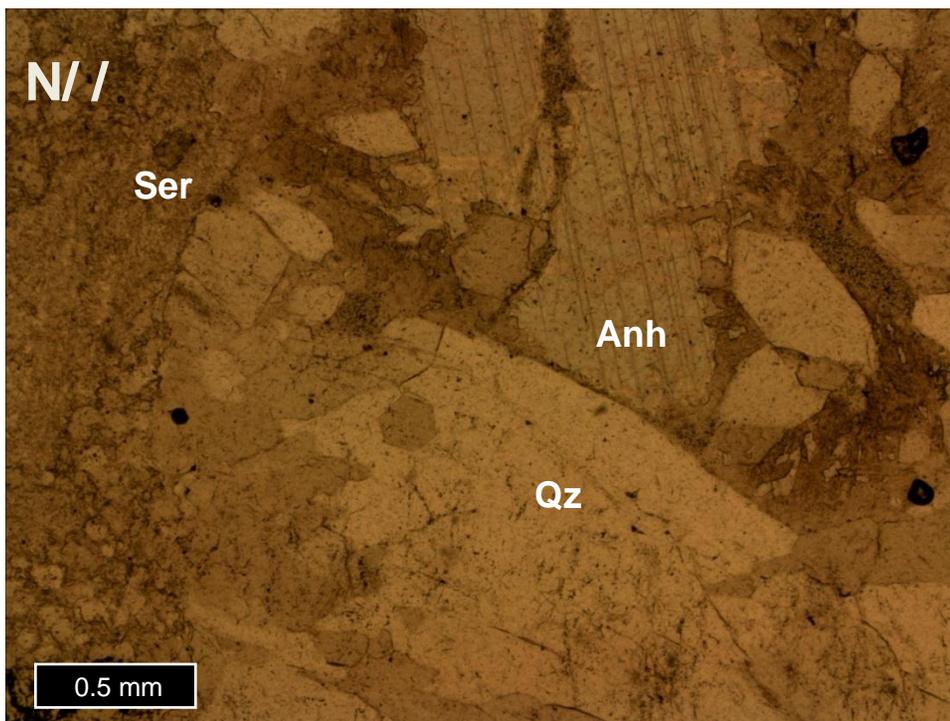


Imagen 19. Fotomicrografía de la muestra SLB10049 a nicols paralelos. Se muestra una veta de Qz-Anh-Py.

Roca(Protolito)		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
Cuarzo, plagioclase y feldespato potásico	100%	Cristales de tamaño entre 0,4mm y 2mm, no se distinguen claramente debido a alteración

Minerales de Alteración de Alteración o secundarios		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
Sericita	85%	Como Halo de vetilla afectando pervasivamente a todos los minerales de la roca
Anh	5%	En intersticios y alrededor de opacos, además de vetillas
Cuarzo	10%	Como relleno de vetilla en cristales de alrededor de 0,6mm y como Halo en granos de 0,1mm a 0,2mm

Minerales Opacos		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
Py y Cpy	2%	En vetilla py y diseminados cpy y py en cristales menores a 0,4mm en vetillas más grandes de hasta 1mm.

Vetillas		
Tipo/Asoc.	Espesor	Ocurrencia
Cuarzo-py	170	Recta y continua con halo de cuarzo y sericita

Fecha	Muestra
06-09-2016	SLB13661

Procedencia	Ubicación-Tramo	Clasificación petrográfica
Los Sulfatos	PALSUL19 - 877,6-877,72	Brecha magmática

Observaciones macroscópicas

Se observa una muestra completamente alterada. Posee textura de brecha con clastos de andesita. Se observan vetas de cuarzo y mineralización de Cpy diseminada.

Observaciones Microscópicas

Roca extremadamente alterada pervasivamente por biotita y en menor medida por sericita, no se alcanza a distinguir claramente el protolito.

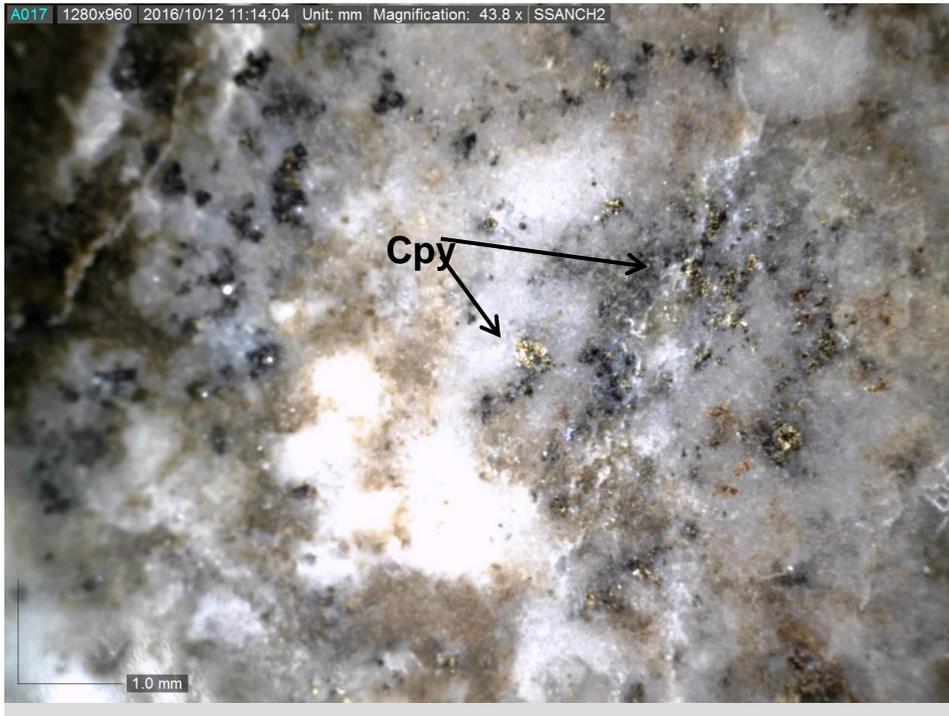


Imagen 20. Fotografía de la muestra SLB13661. Se muestra Cpy diseminada.

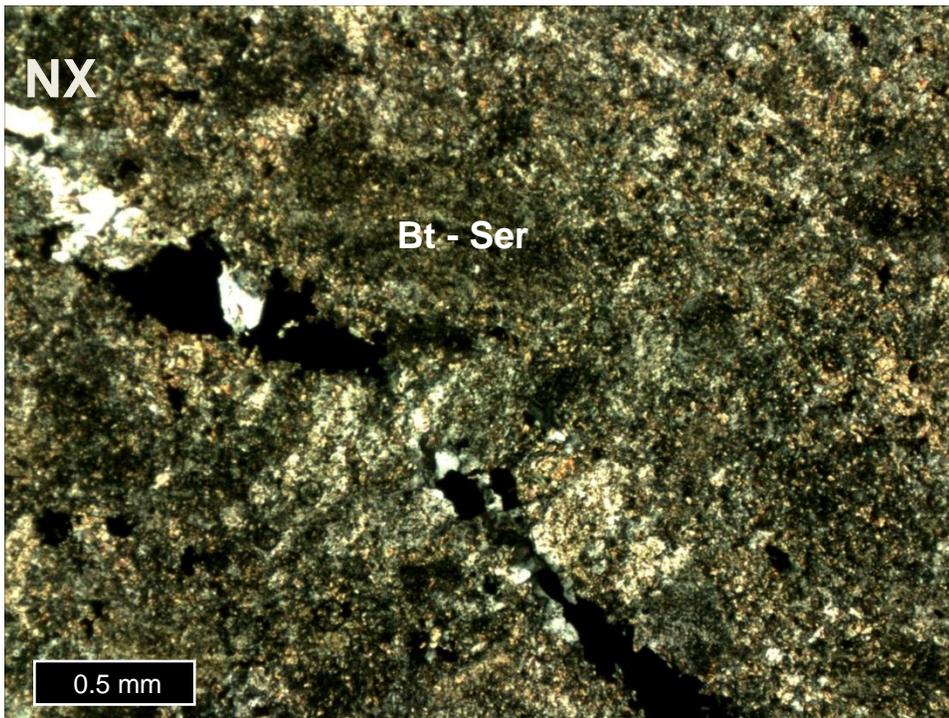


Imagen 21. Fotomicrografía de la muestra SLB13661. Se observa una muestra totalmente alterada por sericita y en menor medida con biotita.

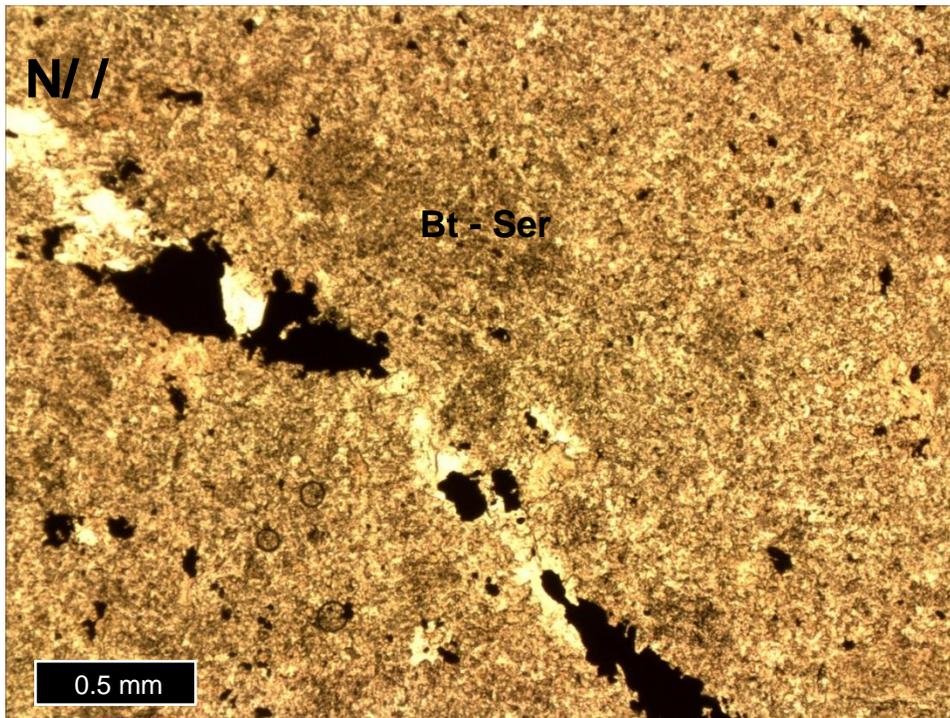


Imagen 22. Fotomicrografía de la muestra SLB13661 a nicols paralelos. Se observa una muestra totalmente alterada por sericita y en menor medida con biotita.

Roca(Protolito)		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
Qz feld-k y plg	100%	No se distingue claramente por la alteración

Minerales de Alteración de Alteración o secundarios		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
Biotita	74%	Cristales finos
Sericita	20%	Cristales finos alterando toda la roca
Anh	1%	En intersticios
Qz	5%	Granos de alrededor de 1mm

Minerales Opacos		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
Cpy	2%	En cúmulos y vetillas

Vetillas		
Tipo/Asoc.	Espesor	Ocurrencia
Qz	alrededor de 0,4mm	Fina y discontinua

Fecha	Muestra
06-09-2016	SLB13571

Procedencia	Ubicación-Tramo	Clasificación petrográfica
Los Sulfatos	PALSUL19 - 673,94-674,04	Brecha magmática

Observaciones macroscópicas

Se observan clastos de Qz y Plg, separados por enjambre de vetillas de Qz. La mineralización corresponde principalmente a Cpy y Bn, y se presenta de forma diseminada.

Observaciones Microscópicas

Este corte corresponde principalmente a vetas e cuarzo, dividiendo clastos compuestos de un agregado fino de plagiocasas y cuarzo. Además se observa anhidrita intersticial. La roca presenta alteración sericítica.

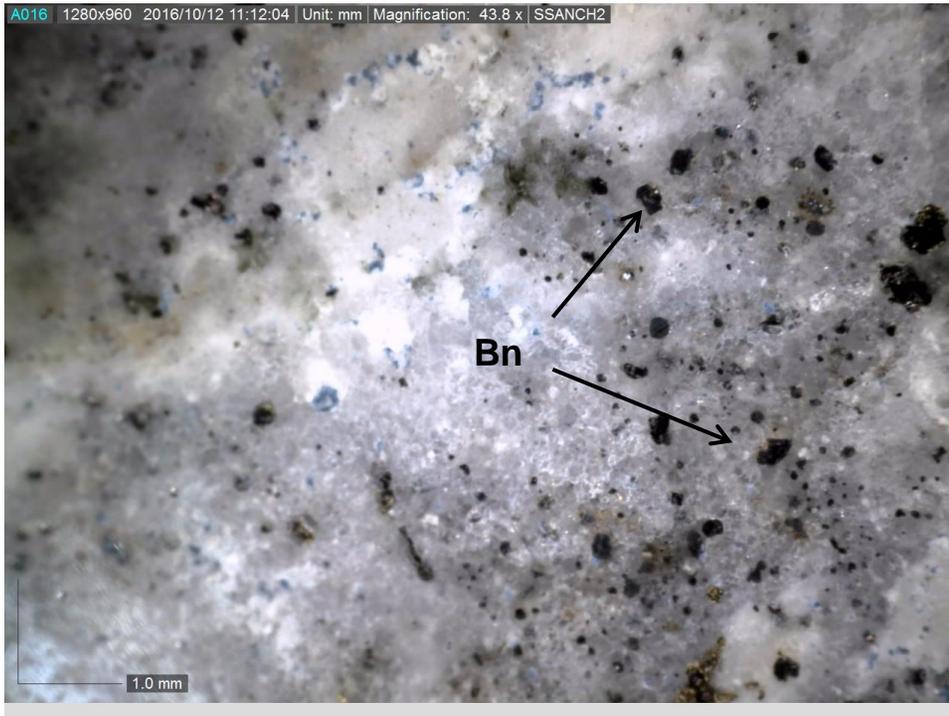


Imagen 23. Fotografía de la muestra SLB13571. Se observa Bn diseminada.

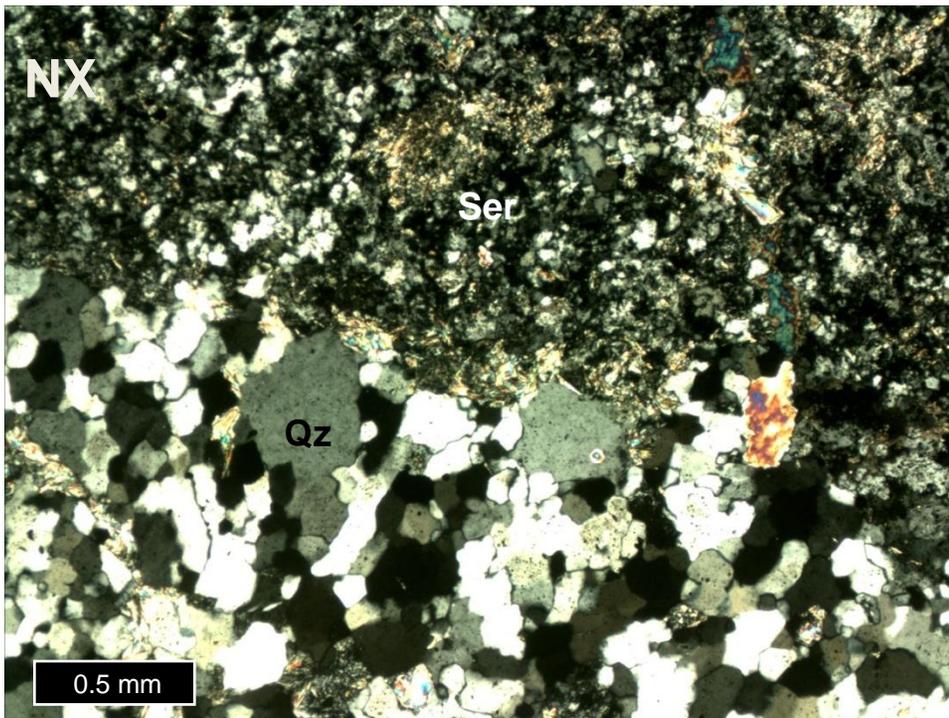


Imagen 24. Microfotografía de la muestra SLB13571. Se observa una veta de cuarzo y el clasto compuesto de agregado fino de Qz y Plg alterado por sericita. Se observa además anhidrita.

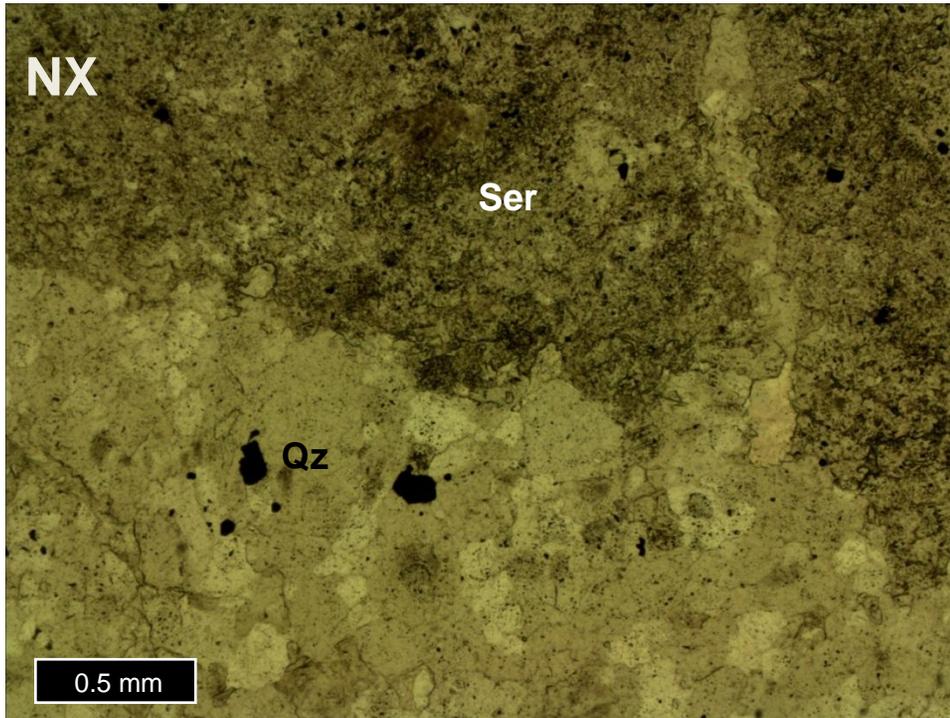


Imagen 25. Microfotografía de la muestra SLB13571 a nicoles paralelos. Se observa una veta de cuarzo y el clasto compuesto de agregado fino de Qz y Plg alterado por sericita. Se observa además anhidrita.

Roca(Protolito)		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
Qz, feld-k, plagioclasa	100%	Microcristalino

Minerales de Alteración de Alteración o secundarios		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
Cuarzo	50%	Vetillas
Sericita	40%	Pervasiva en el agregado microcristalino
Anh	10%	En intersticios en vetillas y en masa fundamental

Minerales Opacos		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
Cpy y Bn	5%	Diseminados en todo el corte tamaño entre 0,2mm y 0,4mm.

Vetillas		
Tipo/Asoc.	Espesor	Ocurrencia
Cuarzo	0,5cm a 1 mm	La más grande es recta y continua la mas pequeña es sinusoidal y continua

Fecha	Muestra
06-09-2016	SLB14529

Procedencia	Ubicación-Tramo	Clasificación petrográfica
PALSUL23	PALSUL23 - 759,2-759,34	Brecha magmática

Observaciones macroscópicas

Brecha magmática con matriz de biotita. Se observan vetillas de cuarzo y plagioclasa. Presenta cristales de anhidrita. Bajo porcentaje de mineralización.

Observaciones Microscópicas

Roca intensamente alterada principalmente con biotita pero también sericita, además presenta vetillas de Qz + Anh. Se observa una masa fundamental de microcristales que podrían ser qz-feld-k y alb

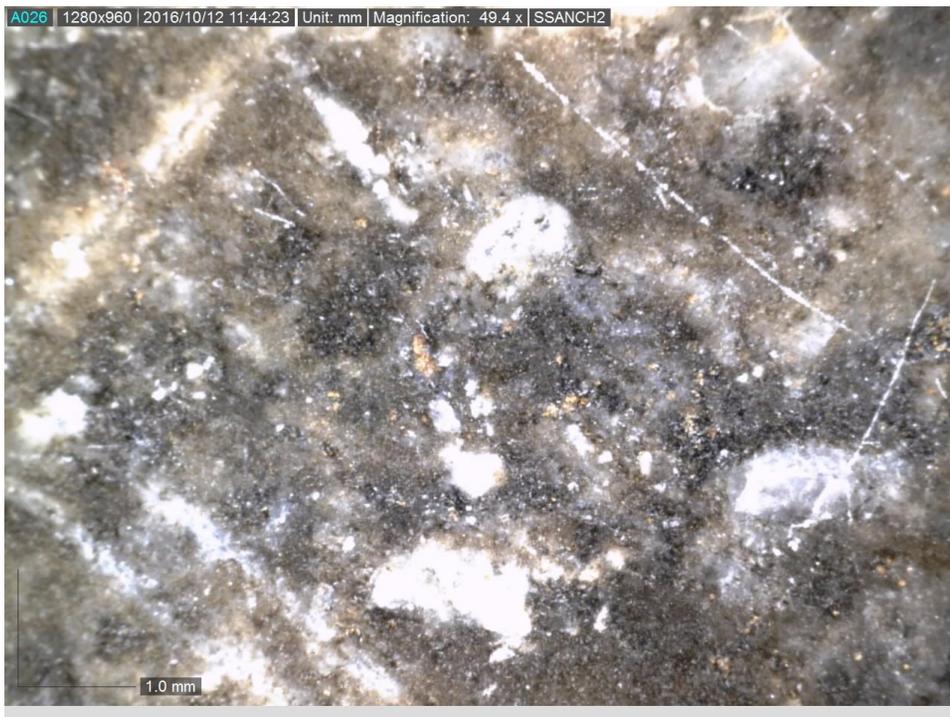


Imagen 26. Fotografía de la muestra SLB14529.

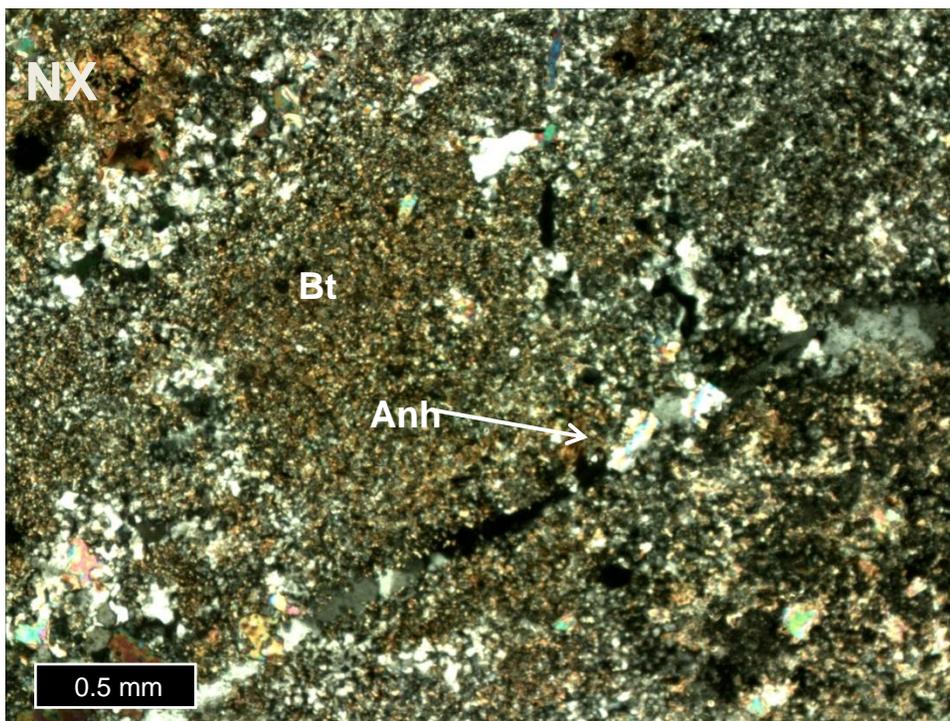


Imagen 27. Microfotografía de la muestra SLB14529. Se observa la alteración biotítica intensa con anhidrita intersticial. Además de observa sericita en menor medida.

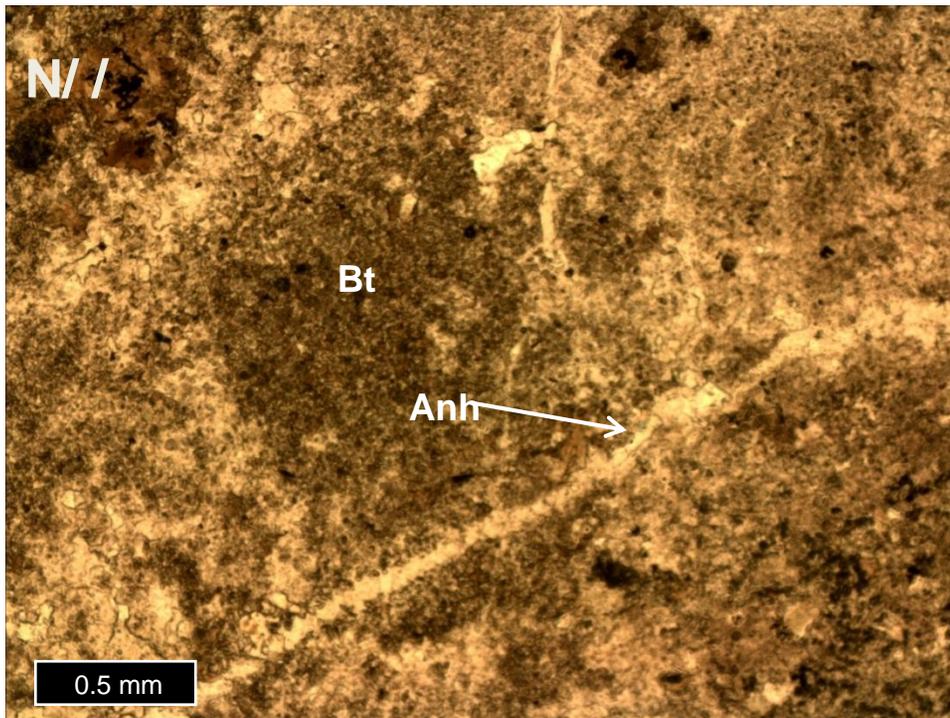


Imagen 28. Microfotografía de la muestra SLB14529 a nicols paralelos. Se observa la alteración biotítica intensa con anhidrita intersticial. Además de observa sericita en menor medida.

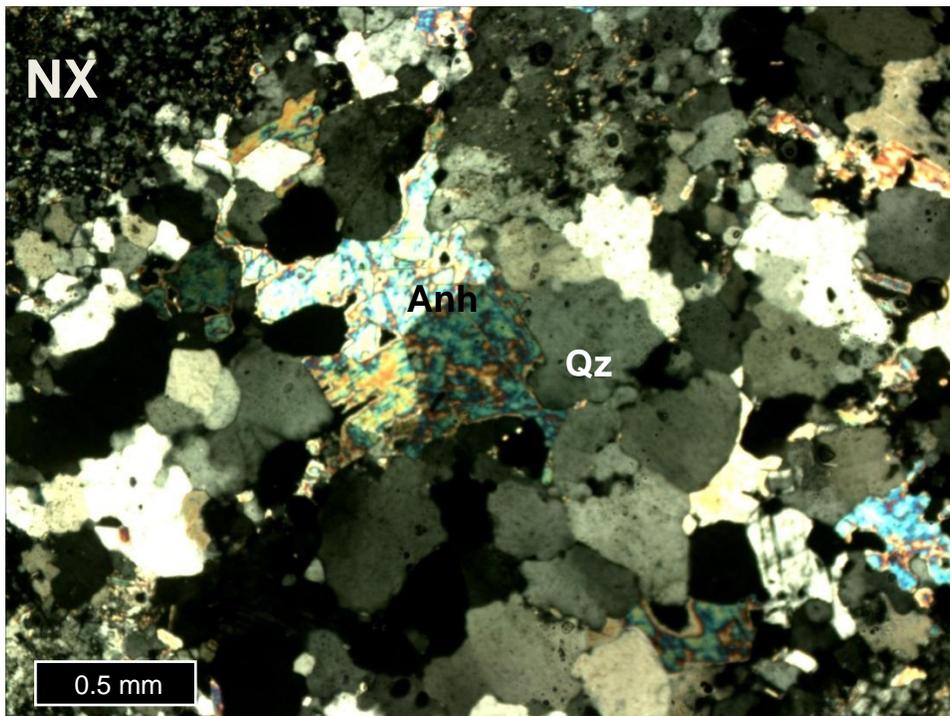


Imagen 29. Microfotografía de la muestra SLB14529. Se muestra una vetilla de cuarzo con anhidrita.

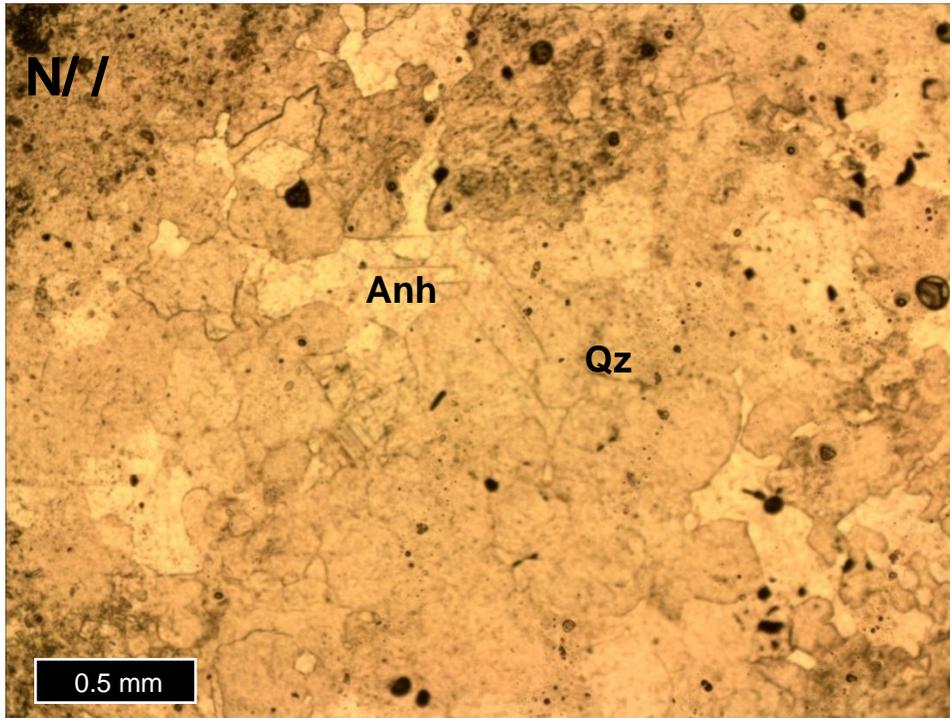


Imagen 30. Microfotografía de la muestra SLB14529 a nicoles paralelos. Se muestra una vetilla de cuarzo con anhidrita.

Roca(Protolito)		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
qz-feldk-plg	100	No se logra distinguir claramente debido a la alteración.

Minerales de Alteración de Alteración o secundarios		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
Biotita	60%	Pervasivo en toda la muestra
Cuarzo	7%	Rellenando vetillas
Sericita	30%	pervasivo en toda la muestra
Anh	3%	Rellenando vetillas y diseminado
Clorita	Traza	Algunos cúmulos

Minerales Opacos		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
Cpy	<1%	En vetillas y disemado

Vetillas		
Tipo/Asoc.	Espesor	Ocurrencia
Qz-Anh	existen de 0,2mm a 1mm	Con cristales de Qz y Anh de 0,4mm La vetilla de 1mm presenta cambio de grosor, vetillas sin Halo
Qz- Anh+opaco	0,6mm	Continua y recta sin Halo

Fecha	Muestra
06-09-2016	SLB14504

Procedencia	Ubicación-Tramo	Clasificación petrográfica
Los Sulfatos	PALSUL23 - 701,01-701,14	Brecha magmática

Observaciones macroscópicas

Clastos de cuarzo y plagioclasa en una matriz de biotita. La mineralización corresponde a Cpy Mol y Bn y se presenta diseminada. Se observan vetas de cuarzo

Observaciones Microscópicas

La muestra corresponde a un agregado microcristalino qz,feld-plg. Alterado principalmente con sericita pervasiva. Se observan vetas de cuarzo con anhidrita intersticial. Se presenta biotita en cúmulos.

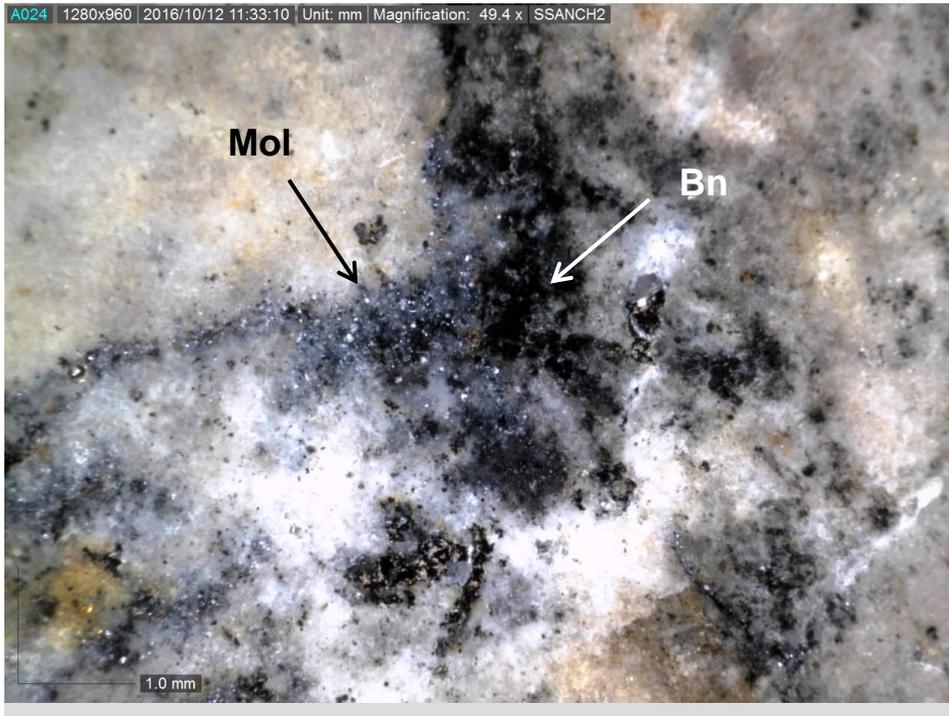


Imagen 31. Fotografía de la muestra SLB14504. Se observa Bn y Mol diseminada.

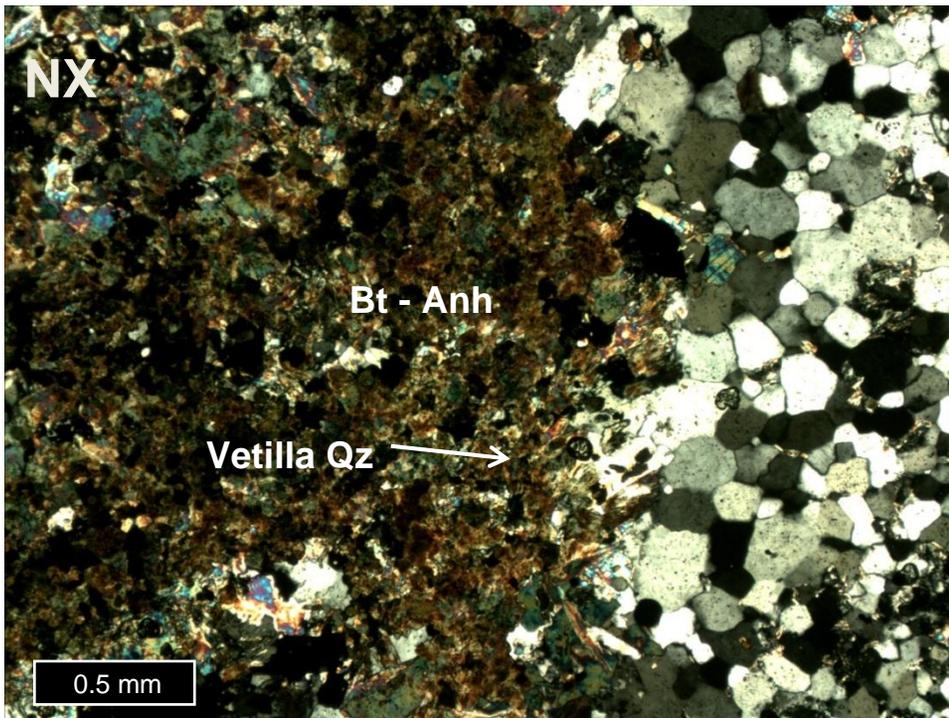


Imagen 32. Microfotografía de la muestra SLB14504. Se observa un cúmulo de biotita y una vetilla de cuarzo.

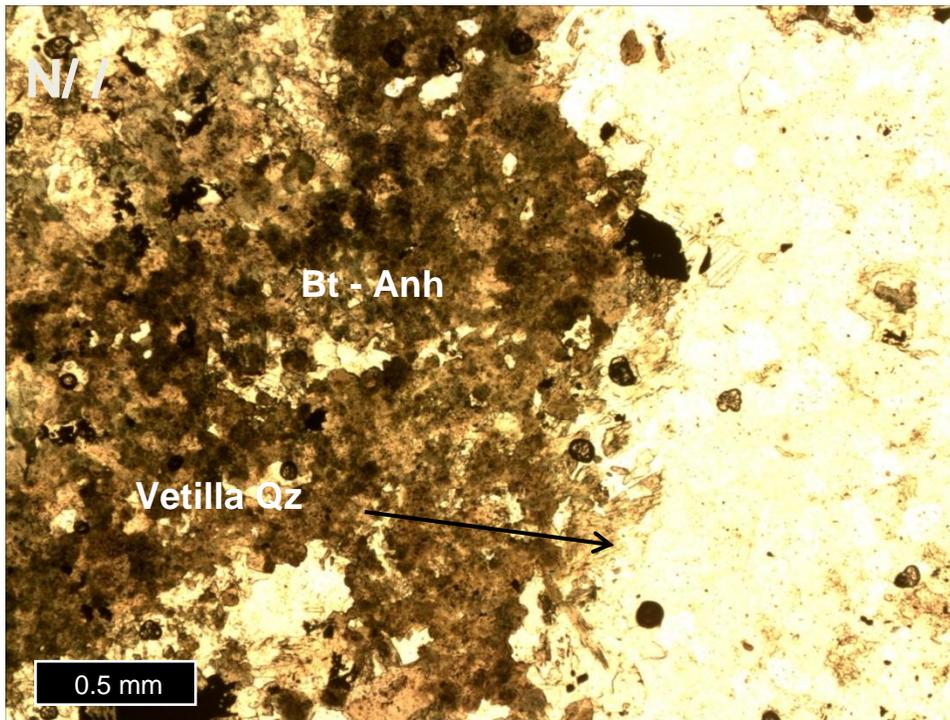


Imagen 33. Microfotografía de la muestra SLB14504 a nicols paralelos. Se observa un cúmulo de biotita y una vetilla de cuarzo.

Roca(Protolito)		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
Qz-plgs-feld	100	Microcristalino no se puede distinguir

Minerales de Alteración de Alteración o secundarios		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
Sericita	50%	Pervasiva en toda la muestra micro
Clorita	5%	En cúmulos junto a biotita
Anhidrita	30%	En vetillas, diseminada y rodeando opacos
Cuarzo	15%	En vetillas
biotita	5%	En cúmulos junto a clorita

Minerales Opacos		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
Cpy y Bn	2%	En vetillas y diseminado además existen algunos opacos rodeados por anhidrita

Vetillas		
Tipo/Asoc.	Espesor	Ocurrencia
Bn y Cpy	0,4mm	Es continua y recta sin Halo
Bn y Cpy	variable entre 0,4mm y 1mm	sinusoidales y discontinuas
Qz-Anh-opaco	variable entre 0,2mm y 1mm	sinusoidales y discontinuas

Fecha	Muestra
06-09-2016	SLB06052

Procedencia	Ubicación-Tramo	Clasificación petrográfica
Los Sulfatos	palsul10 - 766,43-766,55	Brecha magmática

Observaciones macroscópicas

Se observa una muestra alterada con clastos difusos. Posee vetillas de cuarzo con halo de feld-k y vetillas de feld-k. La mineralización es de Bn y Cpy diseminada

Observaciones Microscópicas

Agregado microcristalino con feld-k y qz y plg alterada pervasivamente con sericita principalmente pero también se observa biotita secundaria. Se observan vetillas de qz y feld-k

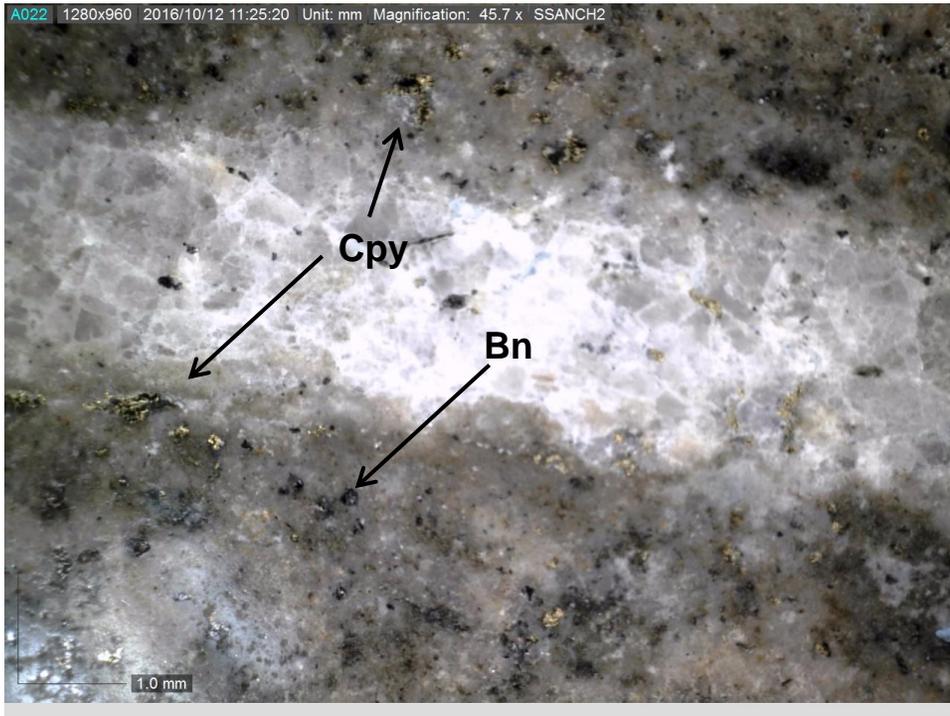


Imagen 34. Fotografía de la muestra SLB06052. Se observa una veta de qz y mineralización de Cpy y Bn diseminada.

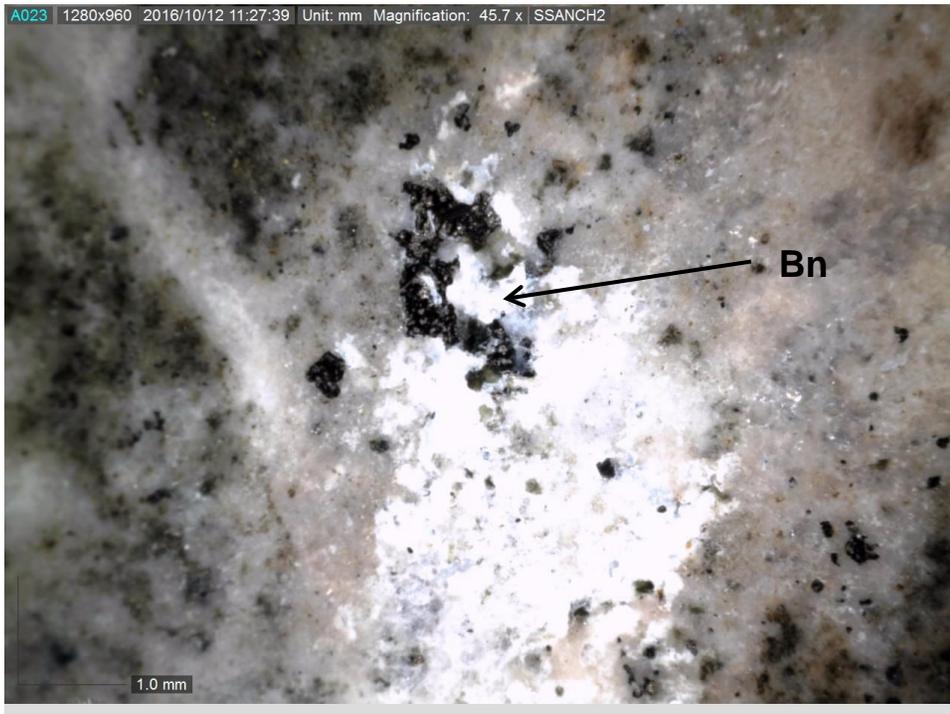


Imagen 35. Fotografía de la muestra SLB06052. Se observa mineralización de Bn diseminada.

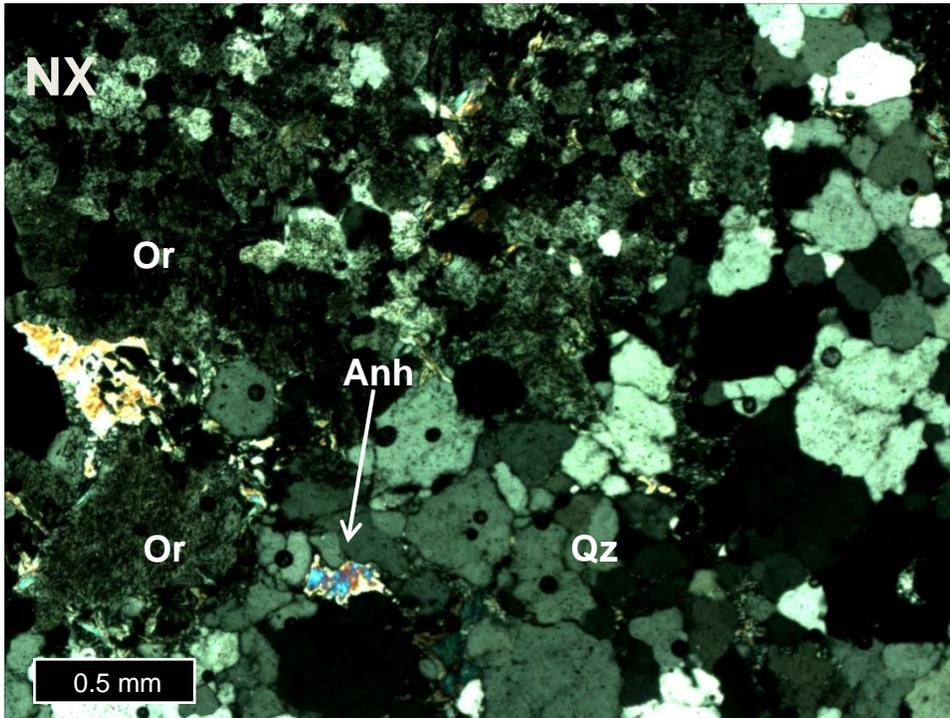


Imagen 36. Fotomicrografía de la muestra SLB06052. Se observa una veta de cuarzo con halo de feldespato potásico. Además se aprecia anhidrita intersticial.

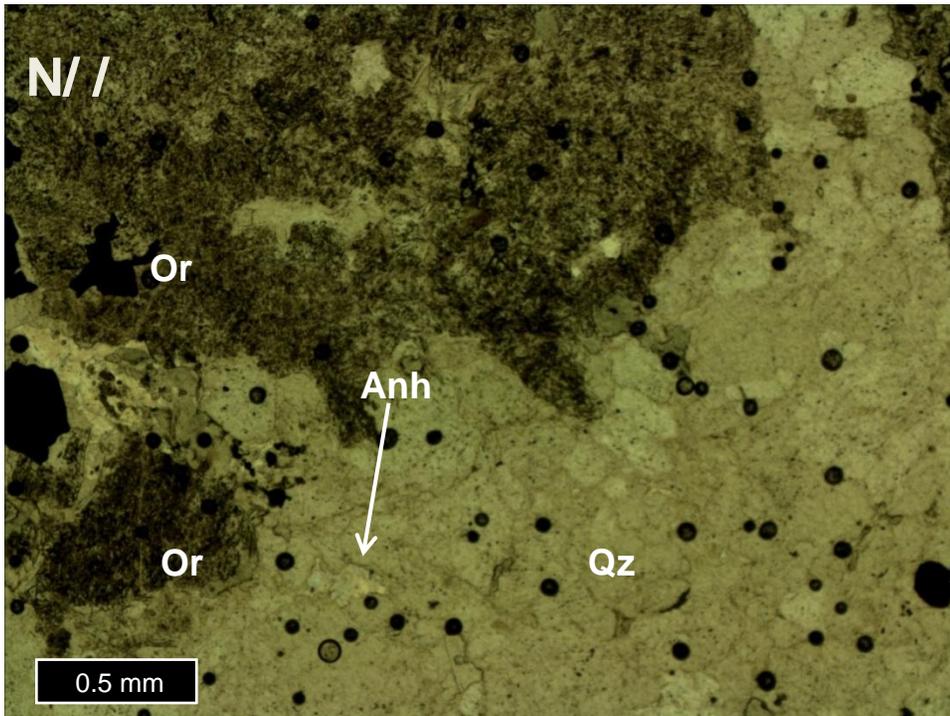


Imagen 37. Fotomicrografía de la muestra SLB06052 a nicolos paralelos. Se observa una veta de cuarzo con halo de feldespato potásico. Además se aprecia anhidrita intersticial.

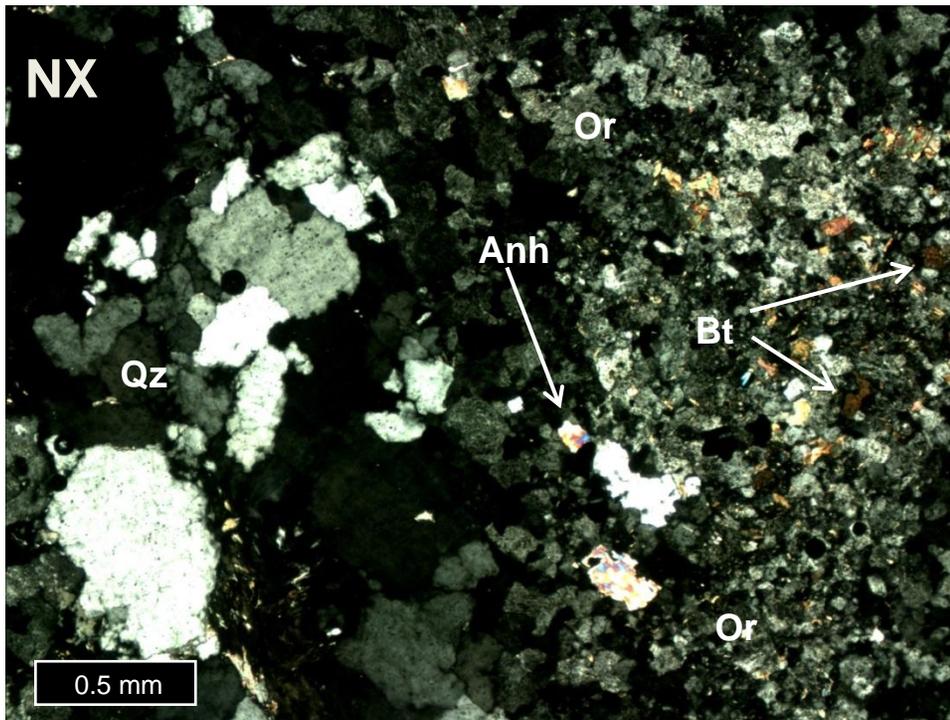


Imagen 38. Fotomicrografía de la muestra SLB06052. Se observa una veta de cuarzo y feldespato potásico. Además se aprecia biotita secundaria.

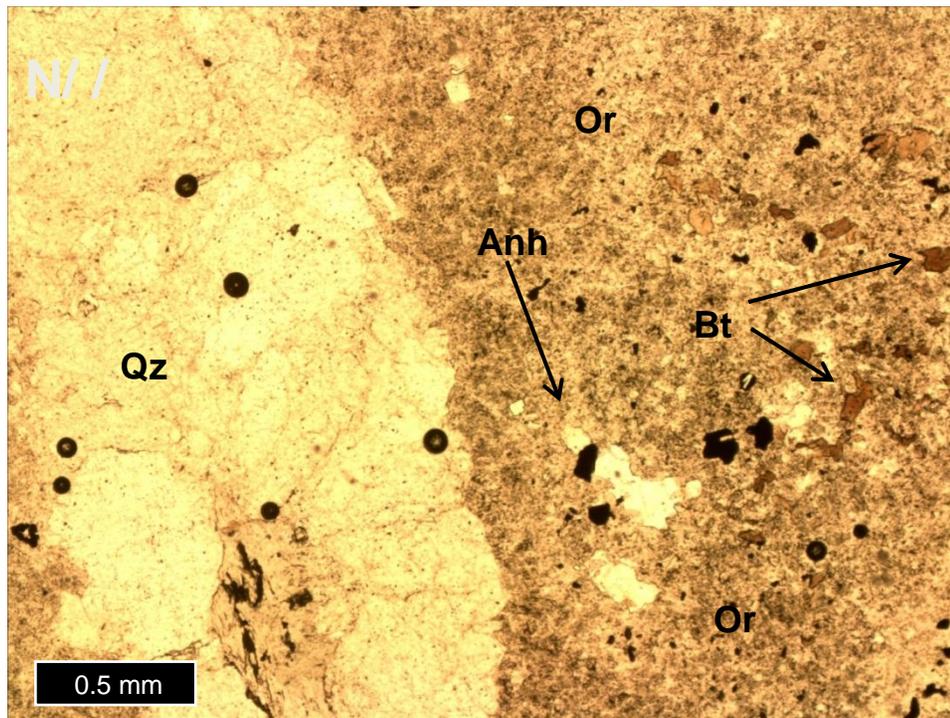


Imagen 39. Imagen 40. Fotomicrografía de la muestra SLB06052 a nicols paralelos. Se observa una veta de cuarzo y feldespato potásico. Además se aprecia biotita secundaria.

Roca(Protolito)		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
qz-feldk-plg	100%	Agregado microcristalino

Minerales de Alteración de Alteración o secundarios		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
Sericita	30%	Pervasivo
Biotita	20%	Pervasivo microcristales
Qz-	15%	Vetillas principalmente cristales de 0,4mm
Anh	10%	En interticios y vetillas
Clorita	Traza	Traza
Carbonatos	5%	Vetillas y interticios
Ortoclase	20%	En vetas y halo de veta

Minerales Opacos		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
Cpy y Bn	3%	En vetillas

Vetillas		
Tipo/Asoc.	Espesor	Ocurrencia
Qz-anh y opacos	Varian de 1mm a 2mm	Rectas y continuas aunque con bifurcaciones Halo de ortoclase
Qz-anh y opacos y fedl-k	alrededor de 1mm	Sinusoidal continua halo de ortoclase

Fecha	Muestra
06-09-2016	SLB06006

Procedencia	Ubicación-Tramo	Clasificación petrográfica
Los Sulfatos	PALSUL10 - 645,62-645,7	Brecha magmática

Observaciones macroscópicas

Se observa una muestra alterada con clastos difusos. Posee vetillas de cuarzo con halo de feld-k y vetillas de feld-k. La mineralización es de Bn y Cpy diseminada

Observaciones Microscópicas

Presenta una vetilla de ortoclasa. Al parecer existen una vetillas de biotita y sericita que corta las de cuarzo - ortoclasa. Posee el mismo agregado microcristalino con qz, feldk y plgs.
Alteración principalmente biotítica y y sericitica

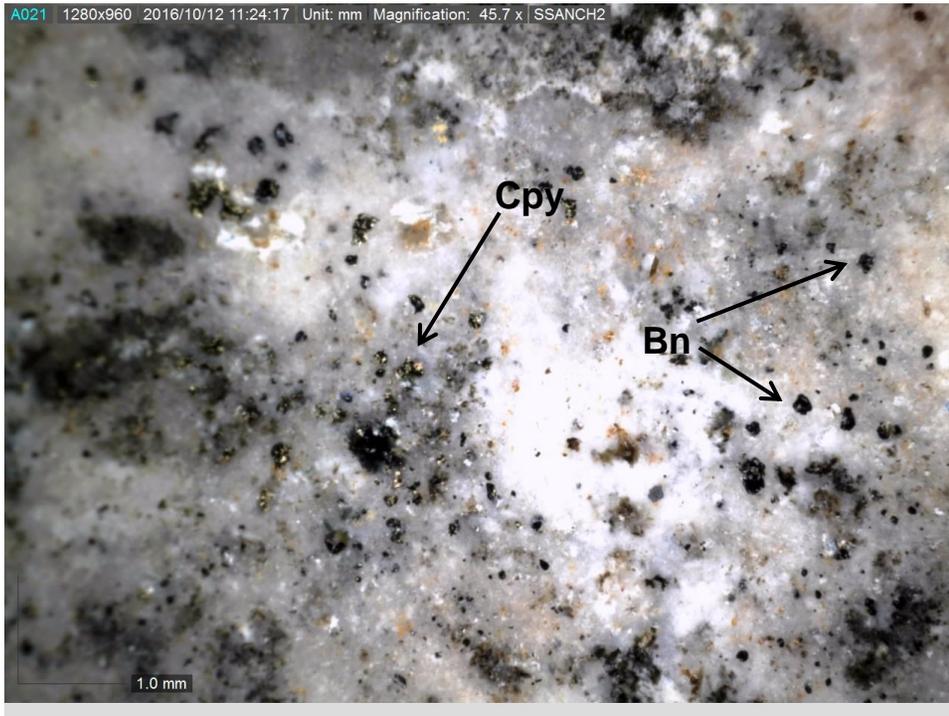


Imagen 41. Fotografía de la muestra SLB06006. Se muestra mineralización de Cpy y Bn diseminada.

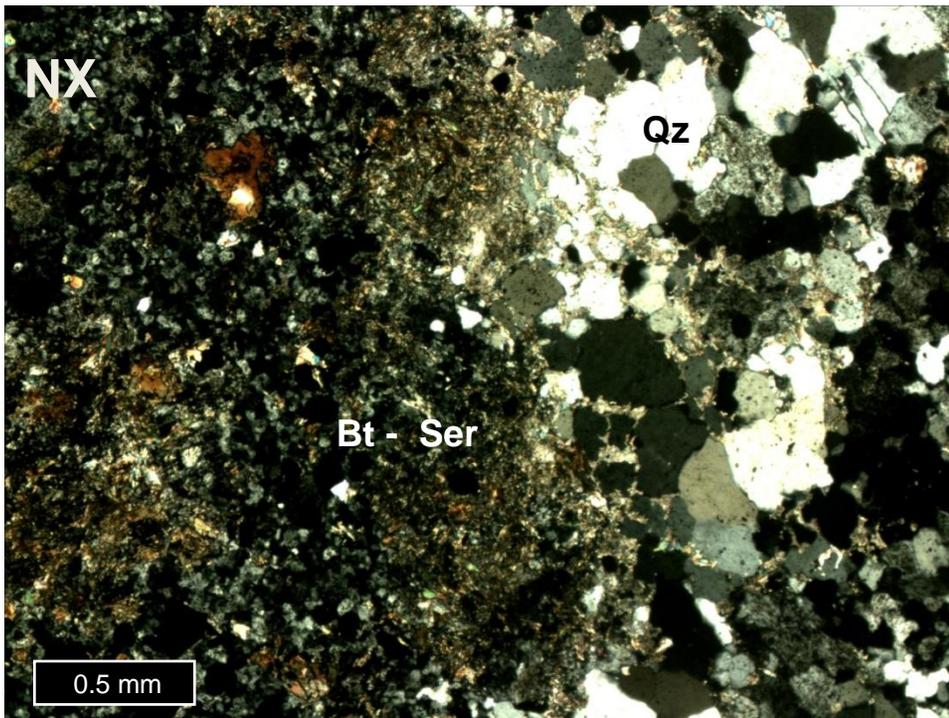


Imagen 42. Fotomicrografía de la muestra SLB06006. Se muestra una veta de cuarzo y feldespato potásico, y alteración biotítica.

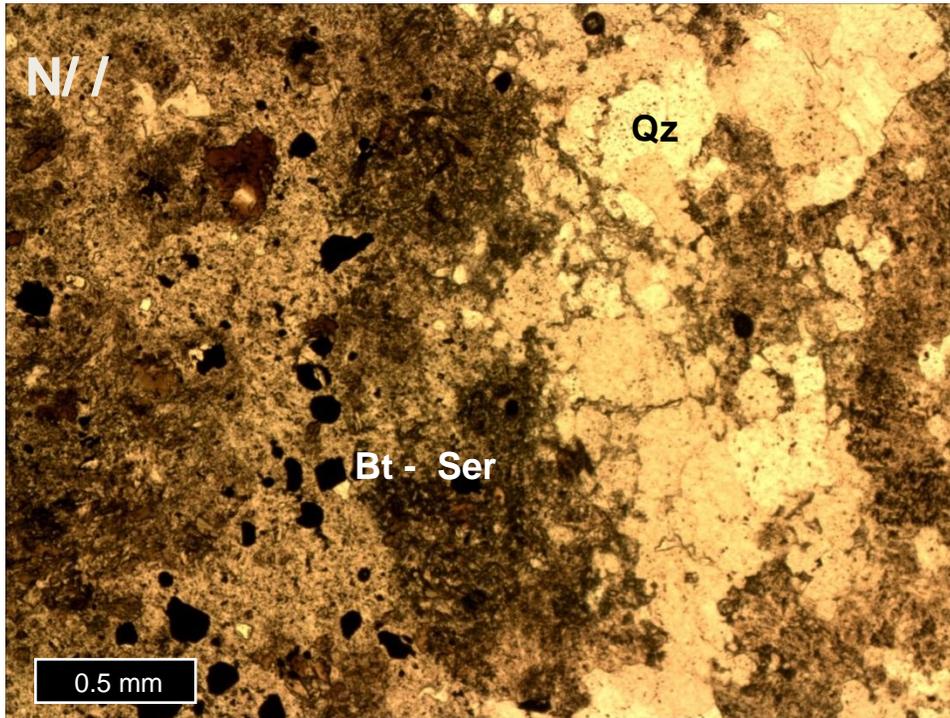


Imagen 43. Fotomicrografía de la muestra SLB06006 a nicoles paralelos. Se muestra una veta de cuarzo y feldespato potásico, y alteración biotítica.

Roca(Protolito)		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
qz-fedl-k y alb	100%	Microcristalino

Minerales de Alteración de Alteración o secundarios		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
Biotita	40%	Pervasivo y como halo
Sericita	35%	Pervasivo y como halo
Anh	5%	En interticios y vetillas
Qz	10%	Vetillas principalmnete
ortoclasa	10%	Vetillas principalmente junto con el qz

Minerales Opacos		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
Cpy y Bn	5%	Diseminados

Vetillas		
Tipo/Asoc.	Espesor	Ocurrencia
Qz-Ortoclasa	2mm	Discontinua, cortada por alteración biotítica con sericita
Qz-Ortoclasa y Bn - Cpy	0,1mm	Continua recta con Halo de biotita-sericita
qz-ortoclasa	1,4mm	Continua recta y sin halo

Fecha	Muestra
06-09-2016	SLB06047

Procedencia	Ubicación-Tramo	Clasificación petrográfica
Los Sulfatos	palsul10 - 752,4-752,5	Brecha magmática

Observaciones macroscópicas

Se observa una muestra alterada con clastos difusos. Posee vetillas de cuarzo con halo de feld-k y vetillas de feld-k. La mineralización es de Bn y Cpy diseminada. Presenta una veta de Cpy y cristales de anhidrita.

Observaciones Microscópicas

El mismo agregado microcristalino q los demas, recalcar que se ve un agregado que podria ser sericita que corta vetas y alteraciones, este posee cristales muy pequeños xd Además se observan vetas de cuarzo y vetas de opacos

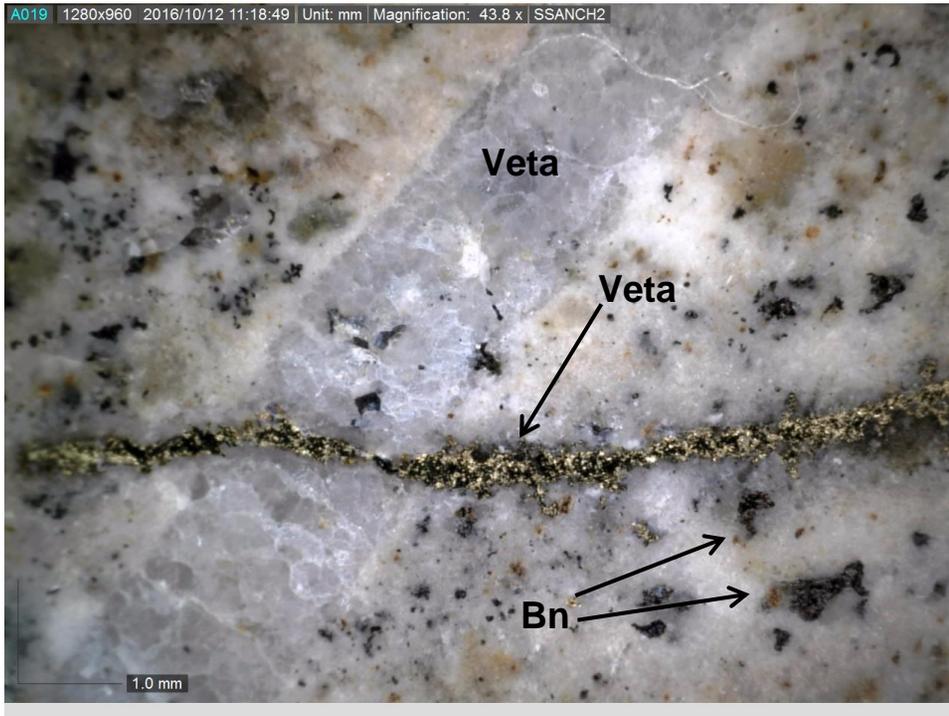


Imagen 44. Fotografía de la muestra SLB06047. Se aprecia vetilla de cuarzo, vetilla de cpy y mineralización de bn diseminada.

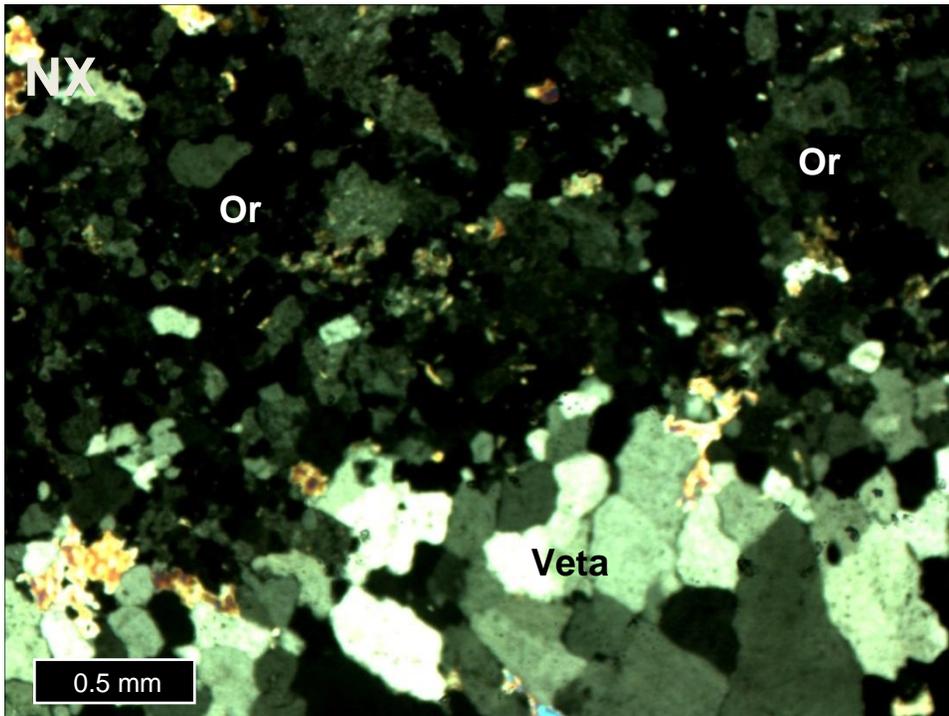


Imagen 45. Fotomicrografía de la muestra SLB06047. Se aprecia vetilla de cuarzo, con halo de feldespato potásico.

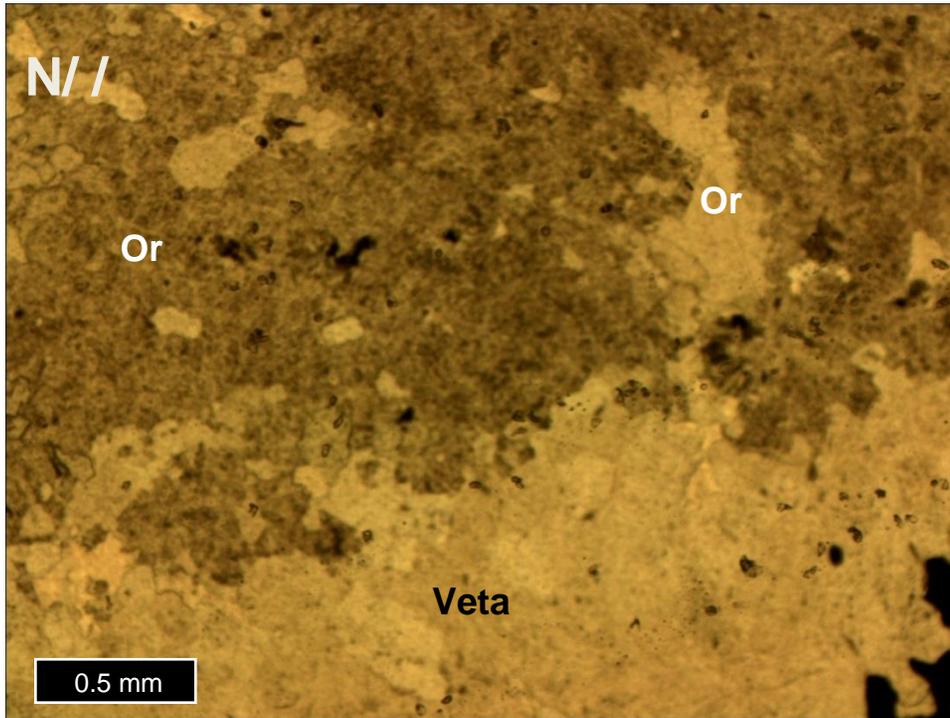


Imagen 46. Fotomicrografía de la muestra SLB06047 a nicols paralelos. Se aprecia vetilla de cuarzo, con halo de feldespato potásico.

Roca(Protolito)		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
qz feld - plg	100%	Microcristalino

Minerales de Alteración de Alteración o secundarios		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
Sericita	45%	Pervasiva
biotita	20%	Pervasiva pero se observan también alguno cúmulos
qz	15%	Vetillas
anh	5%	Intersticial en vetillas
ortoclasa	15%	Halo de vetillas y vetillas

Minerales Opacos		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
Cpy-Bn	5%	Diseminado y en vetillas

Vetillas		
Tipo/Asoc.	Espesor	Ocurrencia
qz	2mm	recta continua casi perfecta es cortada por una vetilla de opaco halo de feld-k
Cpy	alrededor de 0,4mm	tambien recta y continua
qz anhidrita	alrededor de 0,4mm	recta y continua

Fecha	Muestra
06-09-2016	SLB14948

Procedencia	Ubicación-Tramo	Clasificación petrográfica
Los Sulfatos	palsul22 - 831,45-831,59	Brecha magmática

Observaciones macroscópicas

Se observa una veta de cuarzo con anhidrita que atraviesa la muestra. Esta separa el corte en dos zonas: 1) Una zona oscura con presencia de biotita 2) Una zona clara con cuarzo y plagioclasas, y mineralización de Cpy diseminada. Probablemente sea un clasto.

Observaciones Microscópicas

Mismo agregado microcristalino de qz feld-K, plgs presenta una veta de cuarzo sin halo, o al menos se alcanza a distinguir en el corte. El corte está dividido por la veta de cuarzo donde un sector esta con mayor sericita y el otro con mayor biotita. Se observa además que la parte con mayor sericita tiene de protolito cristales mayores de feldk y plgs lo cual podría indicar a q se trata de un clasto.

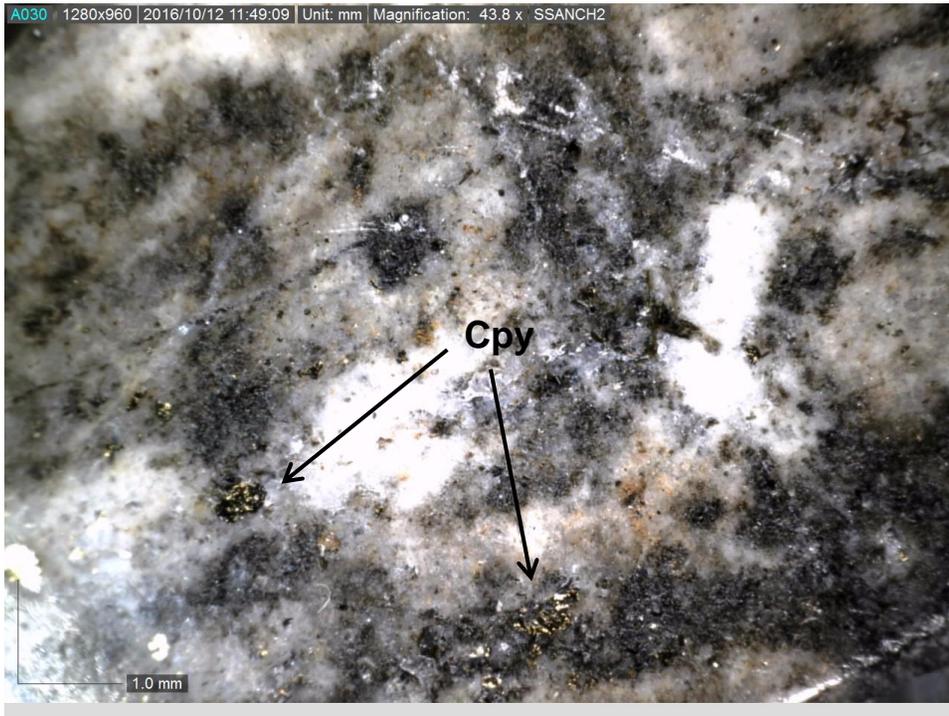


Imagen 47. Fotografía de la muestra SLB14948. Se muestra mineralización de Cpy diseminada.

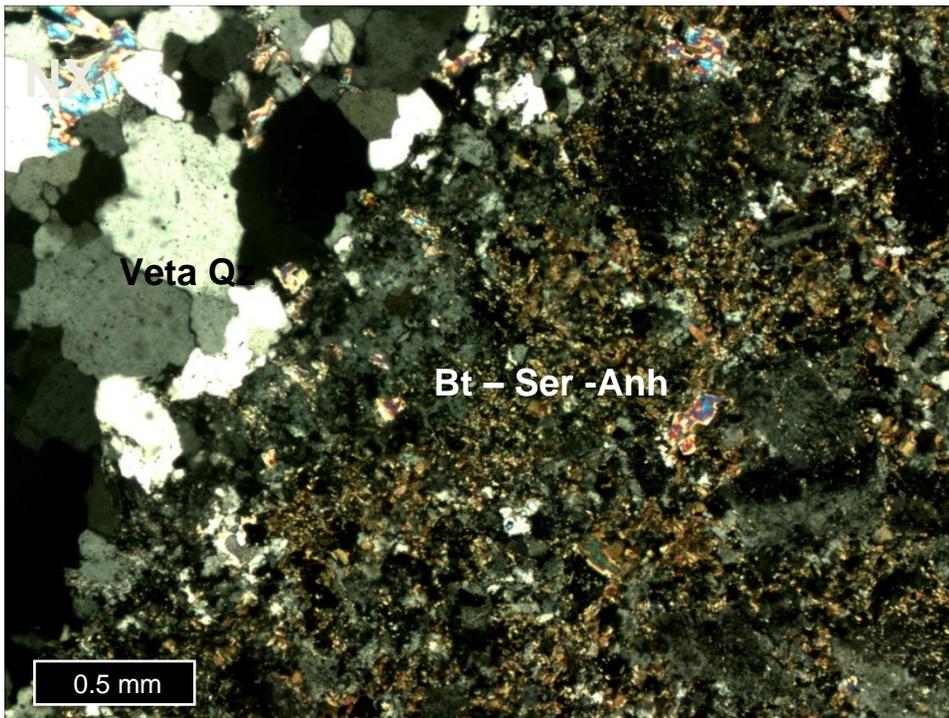


Imagen 48. Fotografía de la muestra SLB14948. Se muestra una veta de cuarzo y la alteración biotítica con sericita en menor medida.

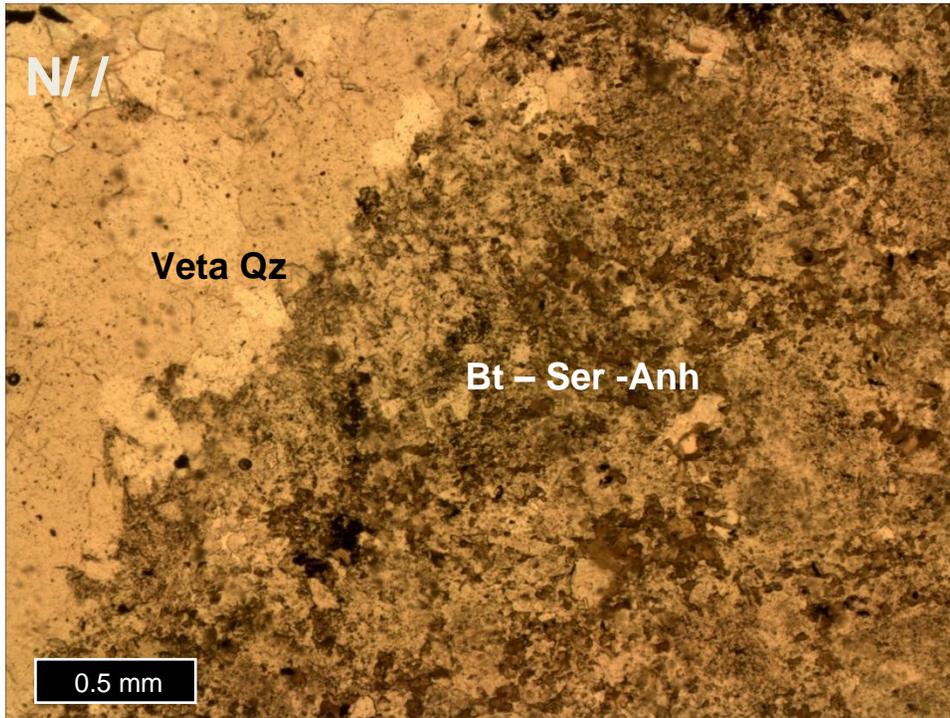


Imagen 49. Fotografía de la muestra SLB14948 a nicols paralelos. Se muestra una veta de cuarzo y la alteración biotítica con sericita en menor medida.

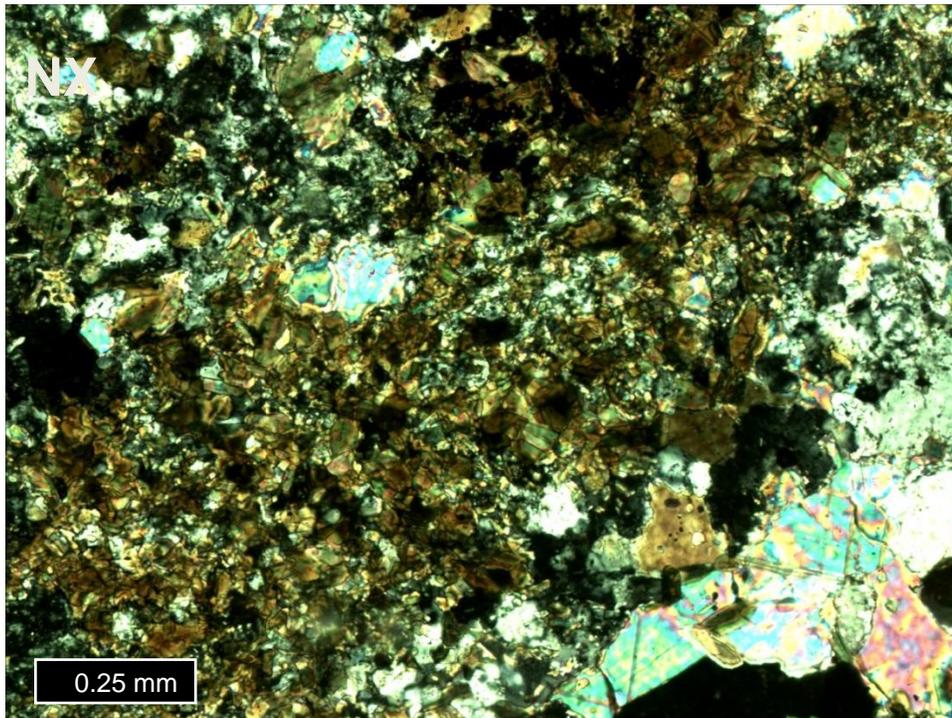


Imagen 50. Fotografía de la muestra SLB14948 a nicols paralelos. Se muestra alteración biotítica más intensa.

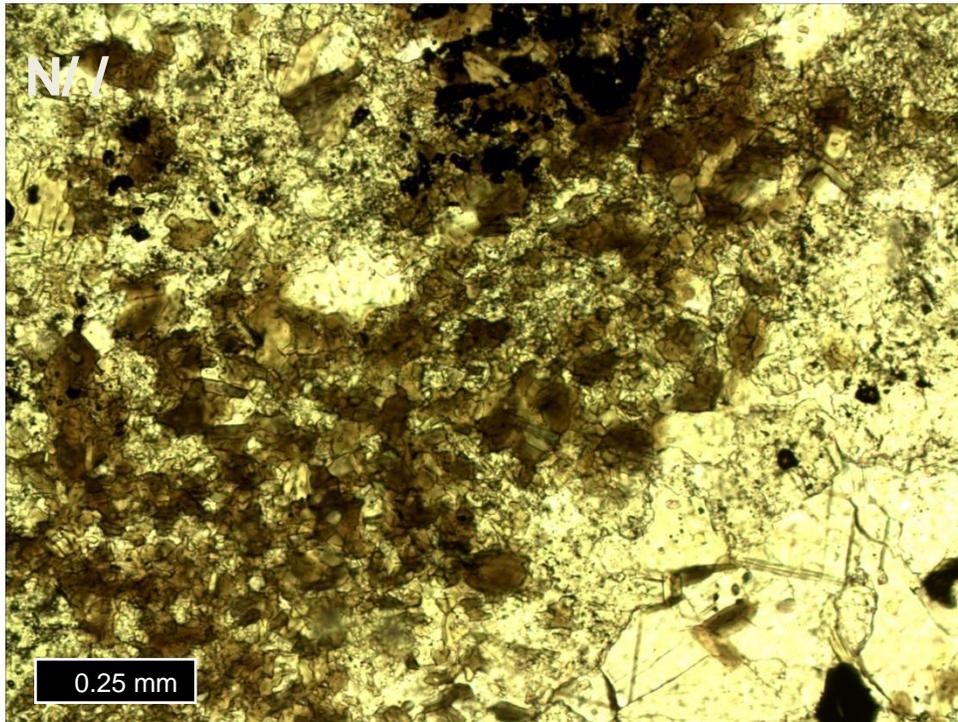


Imagen 51. Fotografía de la muestra SLB14948 a nicoles paralelos. Se muestra alteración biotítica más intensa.

Roca(Protolito)		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
Qz-feldk plgs	50	Agregado microcristalino, no se alcanza a distinguir
feldk-plgs	50	Cristales mayores de unos 0,2mm alterados a sericita

Minerales de Alteración de Alteración o secundarios		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
Sericita	40%	Pervasivo alterando principalmente la zona con cristales mayores de fldk y plgs
Biotita	40%	Pervasiva alterando principalmente la zona con agregado microcristalino
Qz	15%	En vetillas
Anh	10%	En vetillas, diseminado y en intersticios
Clorita	5%	En vetillas y acompañando a biotita

Minerales Opacos		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
Cpy	1%	En vetillas y diseminado

Vetillas		
Tipo/Asoc.	Espesor	Ocurrencia
Qz	2mm	Espesor de 2mm recta y continua, en general lo minerales son de alrededor de 1mm pero presenta en un costado granos de cuarzo de alrededor de 0,2mm. Sin halo.
Qz-Anh-opaco	0,4mm y 1mm	Rectas y discontinuas sin halo.

Fecha	Muestra
06-09-2016	SLB14956

Procedencia	Ubicación-Tramo	Clasificación petrográfica
Los Sulfatos	PALSUL22 - 855,78-855,87	Brecha magmática

Observaciones macroscópicas

La muestra presenta vetas finas de cuarzo y anhidrita. Se encuentra alterada con sericita y no se logra distinguir el protolito. Presenta mineralización diseminada de Cpy y Bn.

Observaciones Microscópicas

Roca extremadamente sericitizada no se alcanza a distinguir protolito. Aunque en algunas partes se ve el mismo agregado microcristalino de qz-plg. Se observa también algunas ocurrencias de calcedonio en cúmulos

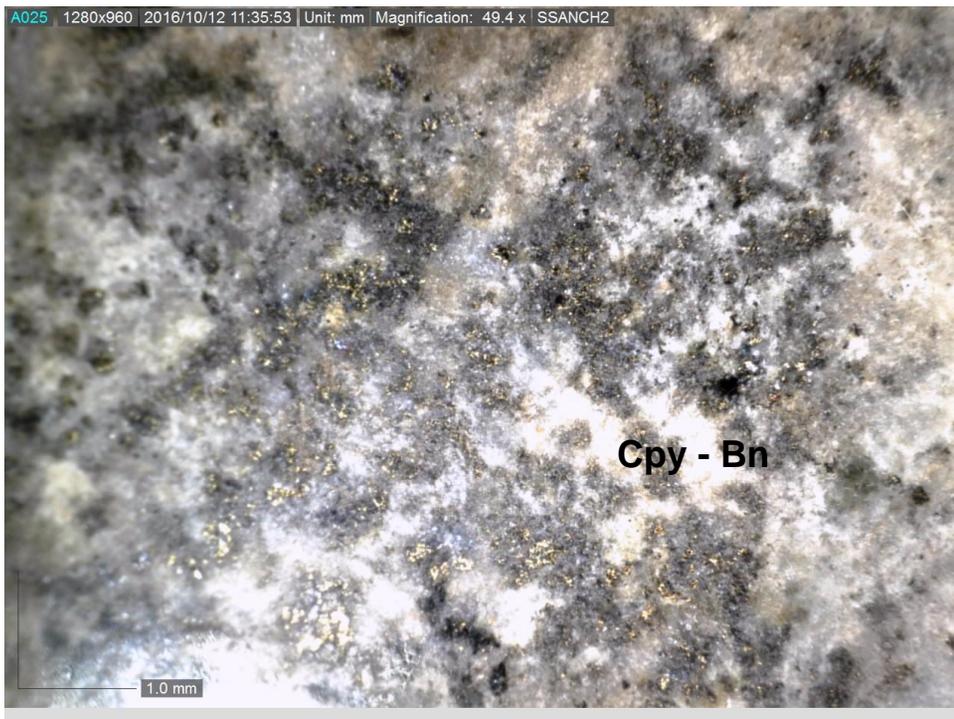


Imagen 52. Fotografía de la muestra SLB14956. Se muestra mineralización de Cpy y Bn diseminada.

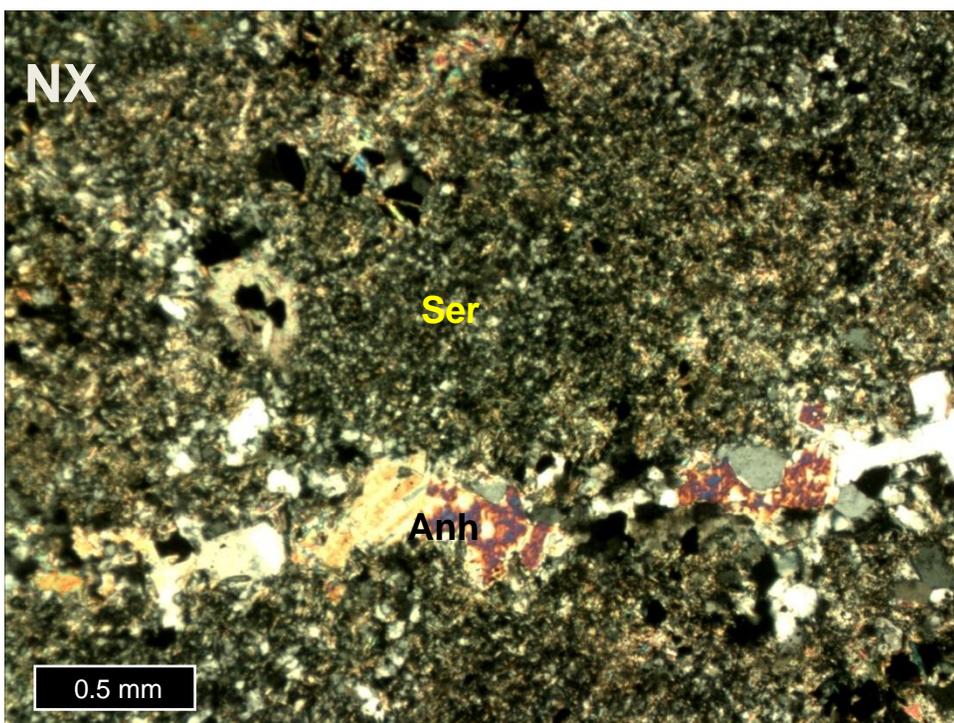


Imagen 53. Fotomicrografía de la muestra SLB14956. Se muestra alteración sericitica intensa y una veta de anhidrita.

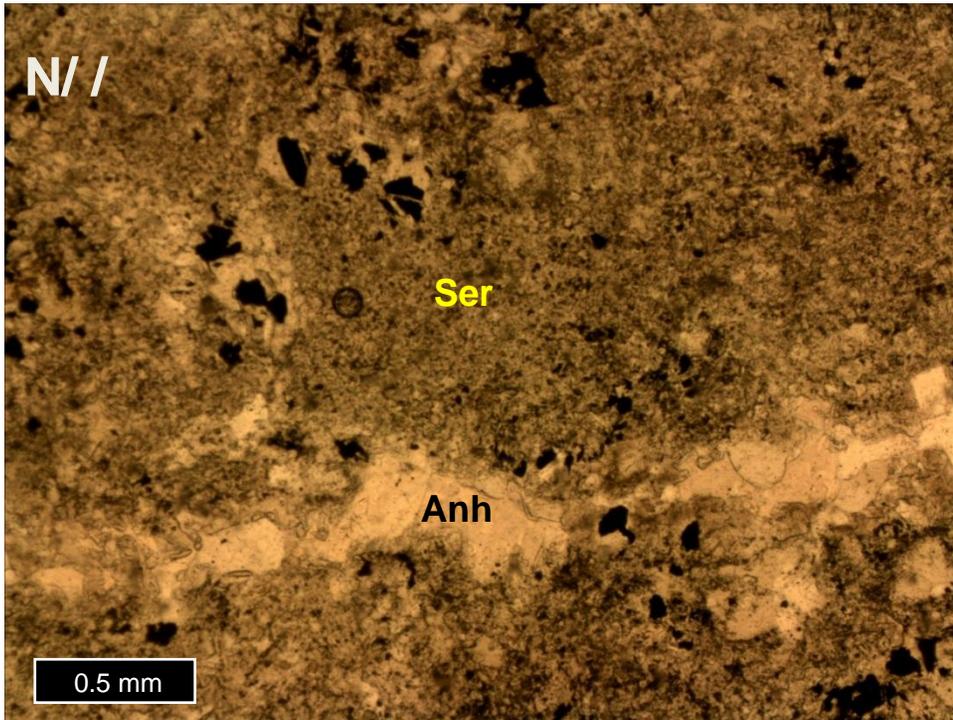


Imagen 54. Fotomicrografía de la muestra SLB14956 a nicols paralelos. Se muestra alteración sericitica intensa y una veta de anhidrita.

Roca(Protolito)		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
qz-feld-plgs	100%	Microcristalino

Minerales de Alteración de Alteración o secundarios		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
sericita	80%	Pervasiva en toda la roca
anh	7%	Principalmente en vetillas
qz	10%	En vetillas
calcedonia	3%	En vetillas

Minerales Opacos		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
Cpy - Bn	5%	diseminados

Vetillas		
Tipo/Asoc.	Espesor	Ocurrencia
Qz-Anh	1,4	Vetas sin halo sinusoidales y discontinuas

Fecha	Muestra
06-09-2016	SLB05568

Procedencia	Ubicación-Tramo	Clasificación petrográfica
Los Sulfatos	PALSUL08 - 860,03-860,12	Brecha magmática

Observaciones macroscópicas

La muestra presenta vetillas de cuarzo-Py y Cpy. Se observan clastos separados por las vetillas con alteración biotítica y sericitica. Se observa mineralización de Cpy diseminada y en vetillas.

Observaciones Microscópicas

Posee vetas de cuarzo que al parecer son cortadas por la alteración sericitica.
Existe una alteración potásica intensa pero pasa a alteración sericitica.



Imagen 55. Fotografía de la muestra SLB05568. Se observa una veta de cuarzo con Py-

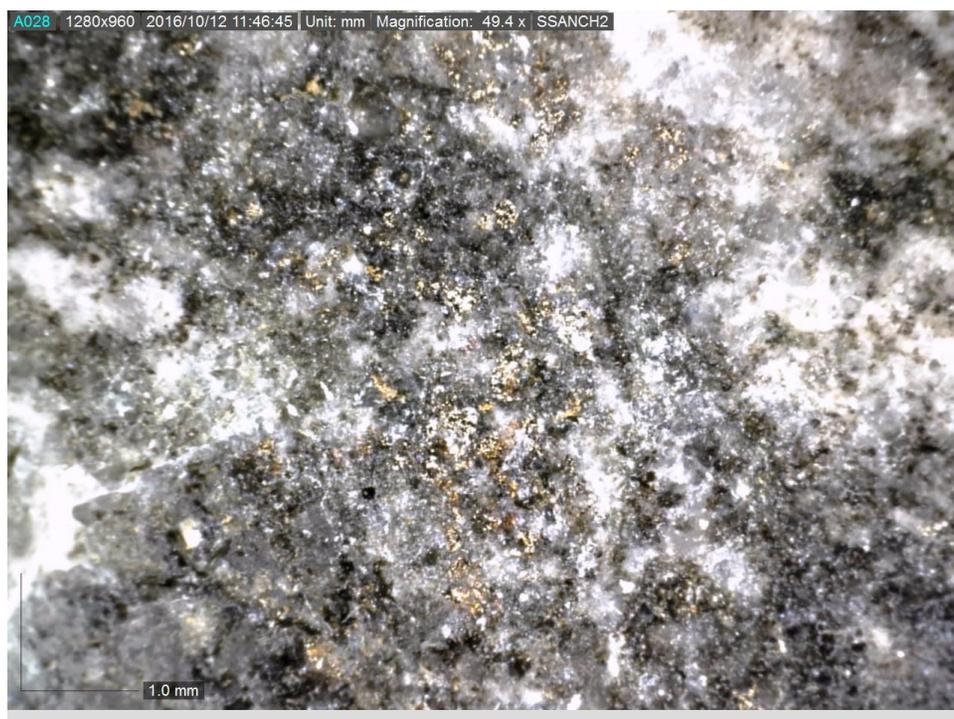


Imagen 56. Fotografía de la muestra SLB05568. Se observa mineralización de Cpy diseminada.

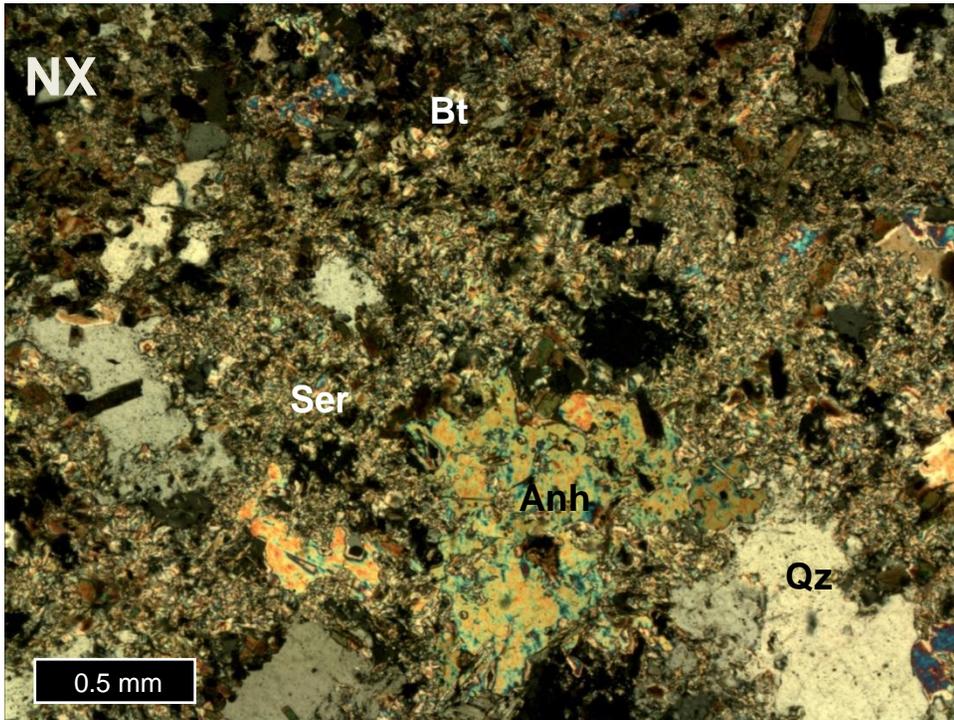


Imagen 57. Fotomicrografía de la muestra SLB05568. Se observa alteración biotítica y sericitica intensa con anhidrita y cuarzos relictos.

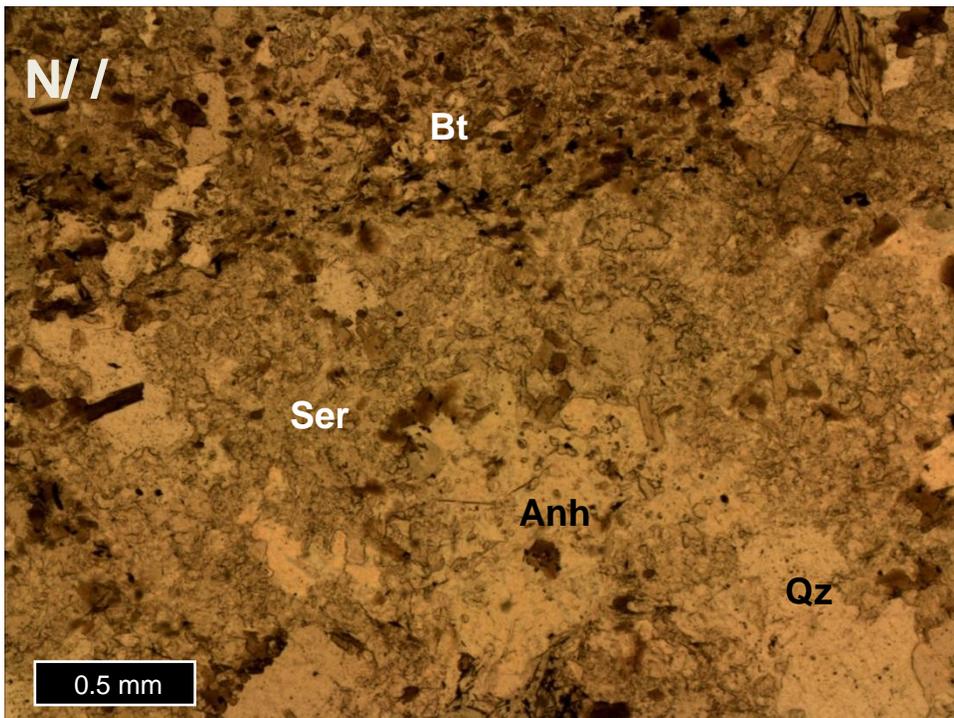


Imagen 58. Fotomicrografía de la muestra SLB05568 a nicols paralelos. Se observa alteración biotítica y sericitica intensa con anhidrita y cuarzos relictos.

Roca(Protolito)		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
qz-feld-plgs	100%	Microcristalino

Minerales de Alteración de Alteración o secundarios		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
Biotita	50%	Pervasiva afectando principalmente la parte microcristalina
Sericita	30%	Pervasiva como el tramo anterior pareciera que afecta a minerales de felk-plg y qz de mayor tamaño
Anh	10%	Vetillas y intersticios y cristales de unos 0,2mm a 0,4mm junto a la alteración sericitica
Qz(y calcedonias)	15%	Principalmente en vetillas
Clorita	5%	Junto a la Biotita

Minerales Opacos		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
Py-Cpy	1%	Diseminados pero principalmente en las vetillas

Vetillas		
Tipo/Asoc.	Espesor	Ocurrencia
QzAnh-Py	2mm	Sinusoidal y recta
QzAnh-Cpy	1,2mm	Sinusoidal y discontinuas

Fecha	Muestra
06-09-2016	SLB05472

Procedencia	Ubicación-Tramo	Clasificación petrográfica
PALSUL08	PALSUL08 - 613,49-613,62	Cuarzo monzonita

Observaciones macroscópicas

Se observa una textura porfídica relictiva con cristales de cuarzo y plagioclasa. La muestra es atravesada por una veta de cuarzo+anhidrita±Py. La veta presenta un halo de sericita amplio que afecta toda la muestra. El halo presenta mineralización de Py±Cpy diseminada.

Observaciones Microscópicas

Totalmente sericitizada, con rastros de biotita. Parece que la sericita altera completamente minerales de felc y/o plg ya que poseen su forma. Además se observa en todo el corte un cuarzo secundario de 0,1mm de tamaño, sericitizados principalmente en los intersticios. Se observan además algunos cúmulos de muscovita de mayor tamaño mayor. Se observa también una vetilla de cuarzo y anh pero principalmente de Py.

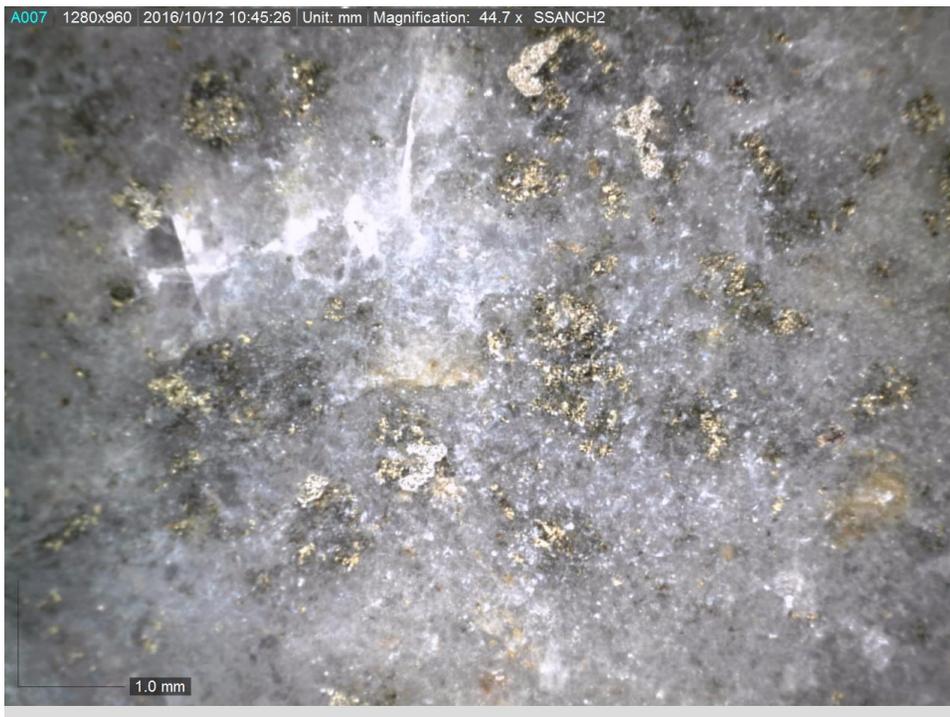


Imagen 59. Fotografía de la muestra SLB05472. Se observa mineralización de Py y Cpy diseminada.



Imagen 60. Fotografía de la muestra SLB05472. Se observa una veta de cuarzo con Py.

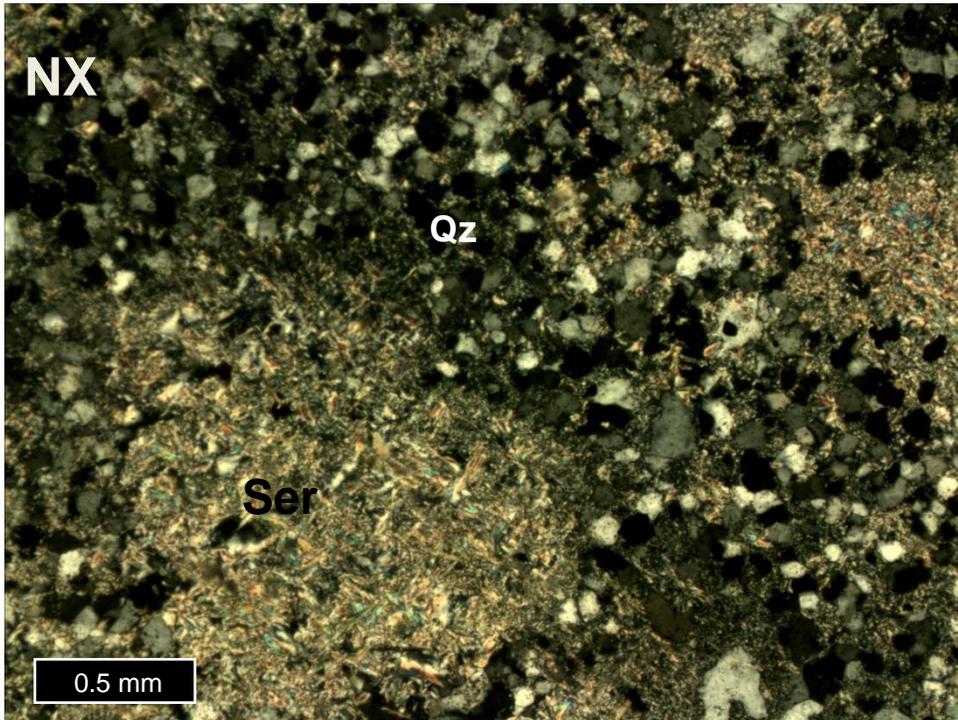


Imagen 61. Fotomicrografía de la muestra SLB05472. Se observa alteración sericitica intensa afectando a minerales anteriores y cuarzo secundario.

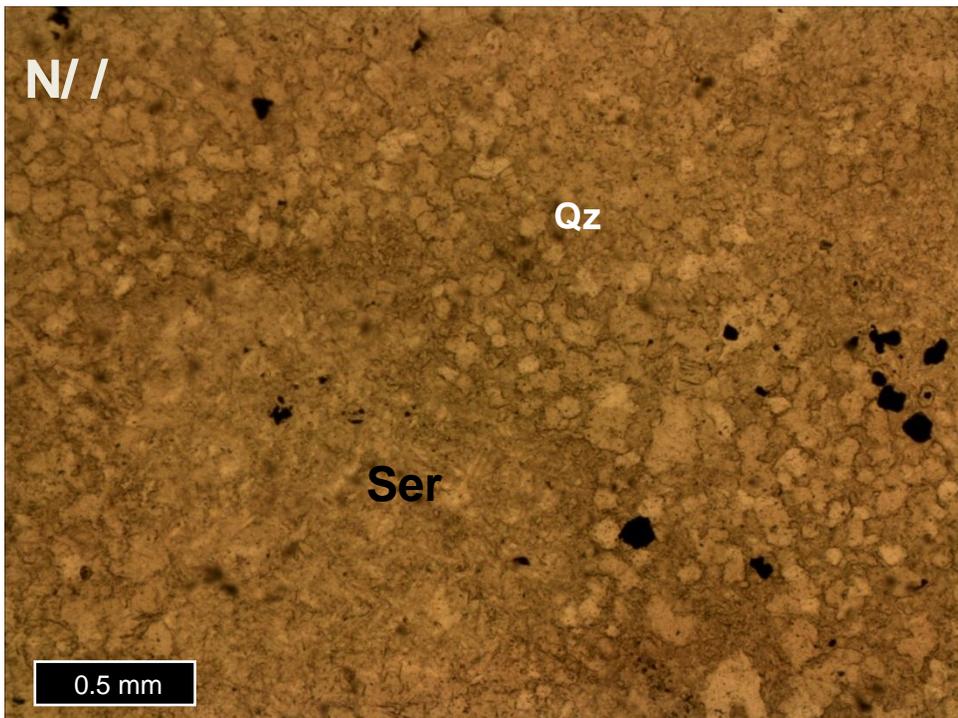


Imagen 62. Fotomicrografía de la muestra SLB05472 a nicols paralelos. Se observa alteración sericitica intensa afectando a minerales anteriores y cuarzo secundario.

Roca(Protolito)		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
Feldk qz plg	100%	No son observables debido a la alteración

Minerales de Alteración de Alteración o secundarios		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
Sericita	70%	Pervasiva en toda la muestra mostrándose en cúmulos donde pareciera que altera cristales de feldk pero también en intersticios de granos de qz. Además se observan cúmulos de muscovita de tamaño 0,6mm a 0,8mm
Qz	15%	En vetillas pero también como agregado de granos de alrededor de 0,1 a 0,2mm
Anh	15%	Principalmente en vetillas pero también en cristales diseminados de alrededor de 1mm particularmente rodea algunos opacos

Minerales Opacos		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
Py	5%	Diseminados en cristales y en vetillas, en particular una vetilla con cristales grandes de alrededor de 2mm

Vetillas		
Tipo/Asoc.	Espesor	Ocurrencia
Py, anh, qz	alrededor de 2mm	Sin Halo continua y sinusoidal
Qz, Anh	1mm	Sin Halo continua y sinusoidal
Opaco	0,6mm	Sin Halo continua y sinusoidal pareciera que corta la vetilla anterior

Fecha	Muestra
06-09-2016	SLB05571

Procedencia	Ubicación-Tramo	Clasificación petrográfica
Los Sulfatos	PALSUL08- 869,5-869,58	Brecha magmática

Observaciones macroscópicas

En la muestra se observan clastos con cuarzo y plagioclasas y clastos de biotita en una matriz de biotita. Se presentan cristales de anhidrita de alrededor de 5mm. La alteración predominante es biotítica. No presenta mineralización de importancia.

Observaciones Microscópicas

Se observa feldspato y/o albita en una masa fundamental de microcristales de qz-feldspato-alb. La muestra presenta biotita pervasiva en toda la roca y sericitita en menor medida pero que altera más los feldspatos y plagioclasas. El corte presenta cristales mayores de anhidrita que probablemente sean vetas cortadas.



Imagen 63. Fotografía de la muestra SLB05571. Se muestra un cristal de Anhidrita.

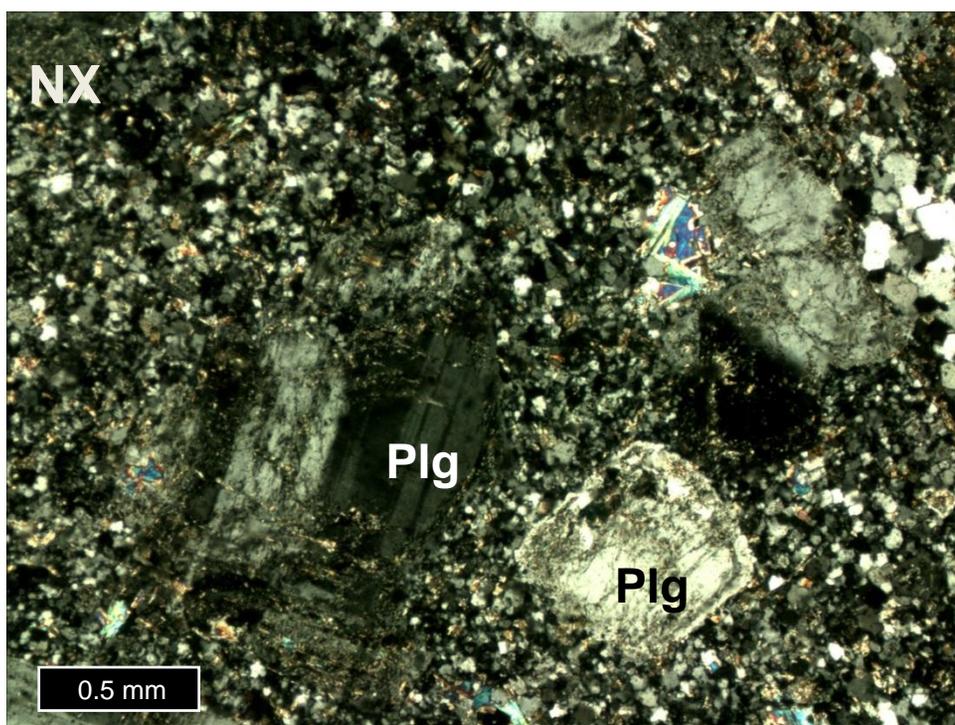


Imagen 64. Fotomicrografía de la muestra SLB05571. Se muestra plagioclsas alteradas con sericita, en una masa fundamental microcristalina.

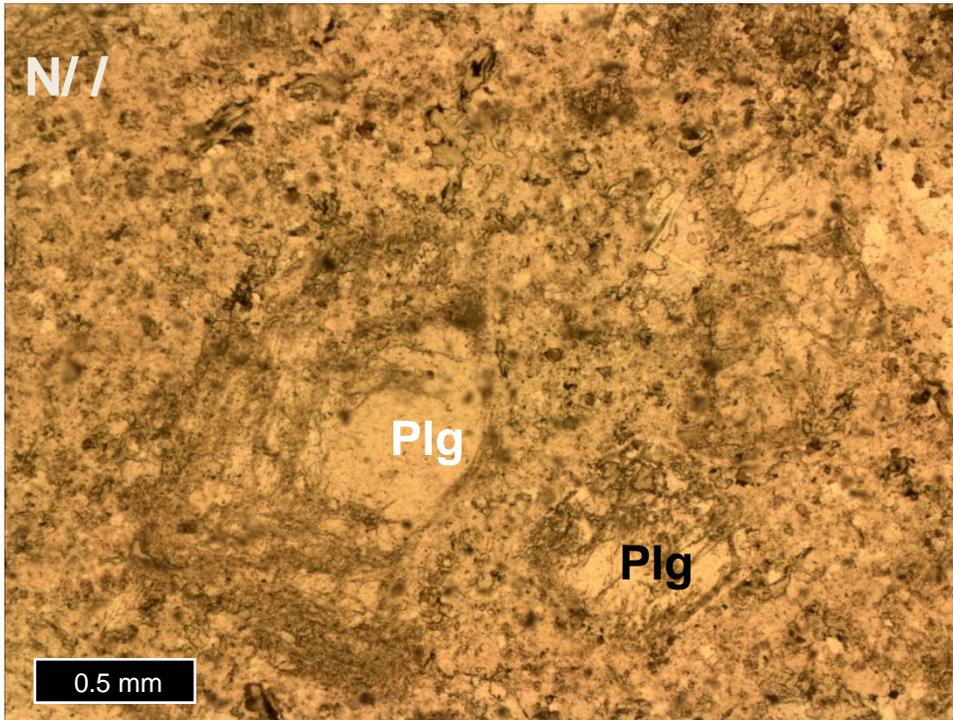


Imagen 65. Fotomicrografía de la muestra SLB05571. Se muestra plagioclsas alteradas con sericita, en una masa fundamental microcristalina.

Roca(Protolito)		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
Qz-Fedk plg	85%	Microcristales
Felk-plg	10%	fenocristales de 50 a 100 de tamaño

Minerales accesorios		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
Biotita	5%	Cristales tabulares se observan alterados (dentados)

Minerales de Alteración de Alteración o secundarios		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
Biotita	50%	Presente en toda la muestra con cristales pequeños
Anh	30%	Cristales enormes (cruzan la muestra) probablemente sea vetas
Sericita	15%	También se encuentr alterando pervasivamente toda la muestra pero en menor medida que las biotitas
qz	5%	Vetillas cortadas

Minerales Opacos		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
Py	<1%	Diseminado pero en muy bajo porcentaje

Vetillas		
Tipo/Asoc.	Espesor	Ocurrencia
Qz	Variable pero no más de 0,4mm	Se observan vetillas muy cortadas he irregulares

Fecha	Muestra
06-09-2016	SLB05148

Procedencia	Ubicación-Tramo	Clasificación petrográfica
Los Sulfatos	PALSUL7 - 727,61-727,7	Cuarzo monzonita

Observaciones macroscópicas

Se observa una textura porfídica relictiva con cuarzo, plagioclasas y biotita. El protolito está alterado por el halo de una veta de cuarzo+Py. La alteración es sericitica. La mineralización es principalmente de Py y se encuentra diseminada mayormente en el halo de la veta.

Observaciones Microscópicas

En esta muestra nos encontramos en un Halo de una veta de cuarzo y py. Alteración sericitica en todo el Halo. Se altera principalmente feldspato, cuarzo y plagioclasas pero en este caso la corresponden a cristales mayores. Además existe presencia de anhidrita y clorita.



Imagen 66. Fotografía de la muestra SLB05148. Se observa una veta de cuarzo con Py.



Imagen 67. Fotografía de la muestra SLB05148. Se observa mineralización de Py diseminada.

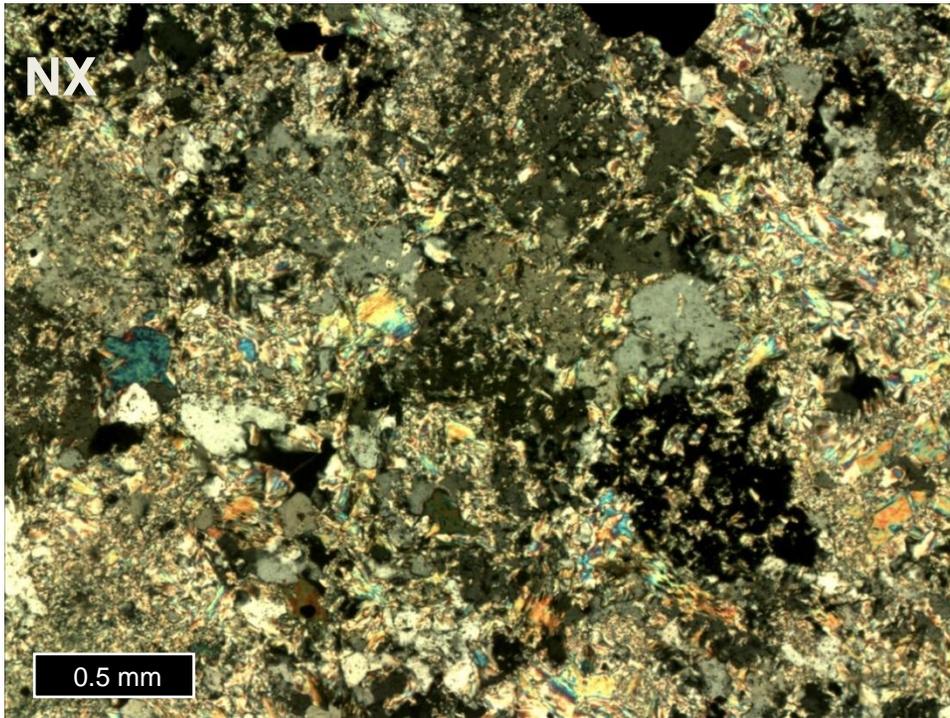


Imagen 68. Fotomicrografía de la muestra SLB05148 en la zona del halo de la veta de Qz-Py. Se observa una alteración sericitica intensa con cuarzo relicto.

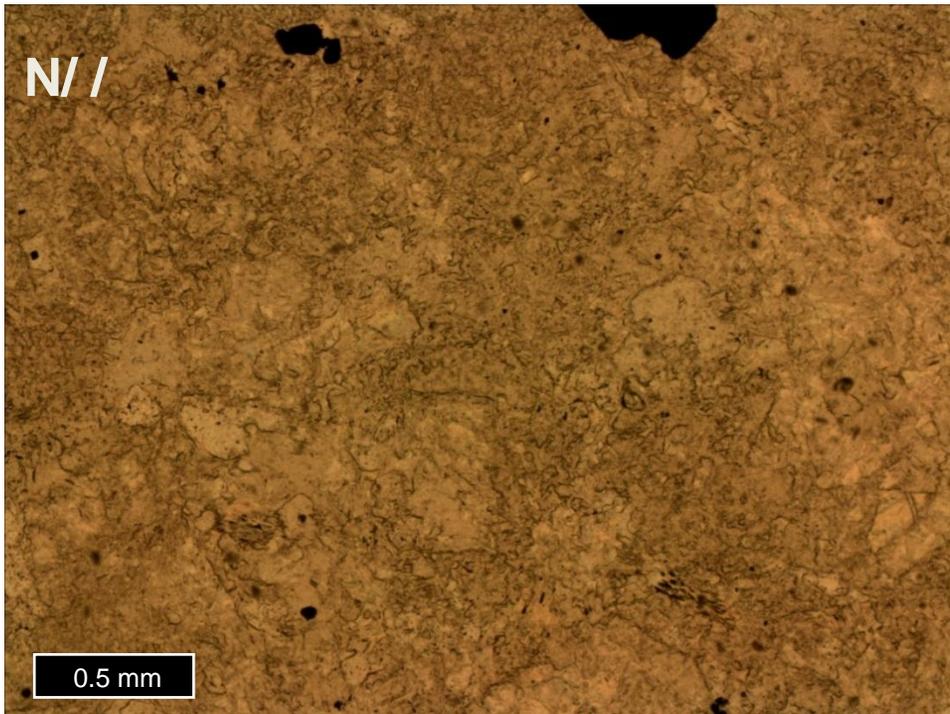


Imagen 69. Fotomicrografía de la muestra SLB05148 a nicolas paralelos en la zona del halo de la veta de Qz-Py. Se observa una alteración sericitica intensa con cuarzo relicto.

Roca(Protolito)		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
Feld qz - plgs	100	En cristales de alrededor de 1mm-1,4mm no se logran distinguir por la alteración.

Minerales accesorios		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
biotita	traza	No se observa pero se ven cúmulos de clorita que podría ser biotita

Minerales de Alteración de Alteración o secundarios		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
Sericita	70%	Alterando toda la roca principalmente las plg y feldespatos, pero también el cuarzo
Anh	15%	Como cristales y en vetilla
Qz	10%	En vetillas
Clorita	5%	Alterando principalmente biotita primarias

Minerales Opacos		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
Py	5%	Se observa en vetillas pero también se observan como cristales en el halo de alrededor de 1mm

Vetillas		
Tipo/Asoc.	Espesor	Ocurrencia
Qz-Anh opaco	alrededor de 2mm	Posee halo de sericita recta y continua

Fecha	Muestra
06-09-2016	SLB05158

Procedencia	Ubicación-Tramo	Clasificación petrográfica
PALSUL7	752,14-752,22	Cuarzo monzonita

Observaciones macroscópicas

No se logra observar el protolito debido a una alteración sericitica intensa. La mineralización es de Py disseminada y en vetillas.

Observaciones Microscópicas

Muestra completamente sericitizada, con anhidrita intersticial. Se observan opacos en toda la muestra.



Imagen 70. Fotografía de la muestra SLB05158. Se observa Py diseminada.

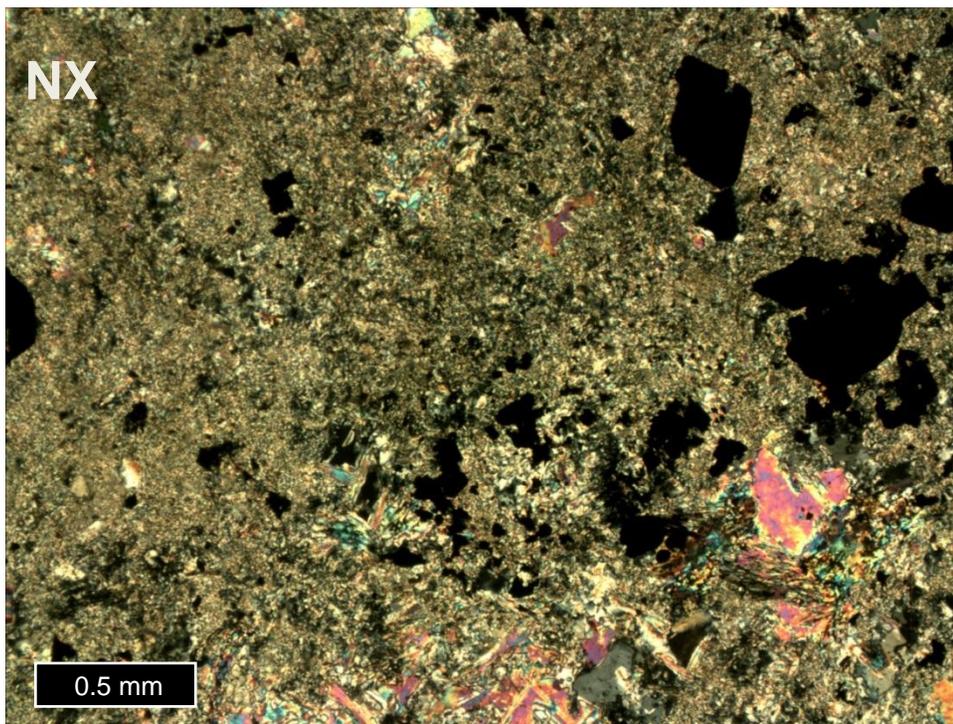


Imagen 71. Fotomicrografía de la muestra SLB05158. Se observa alteración sericitica pervasiva intensa. No se observa el protolito.

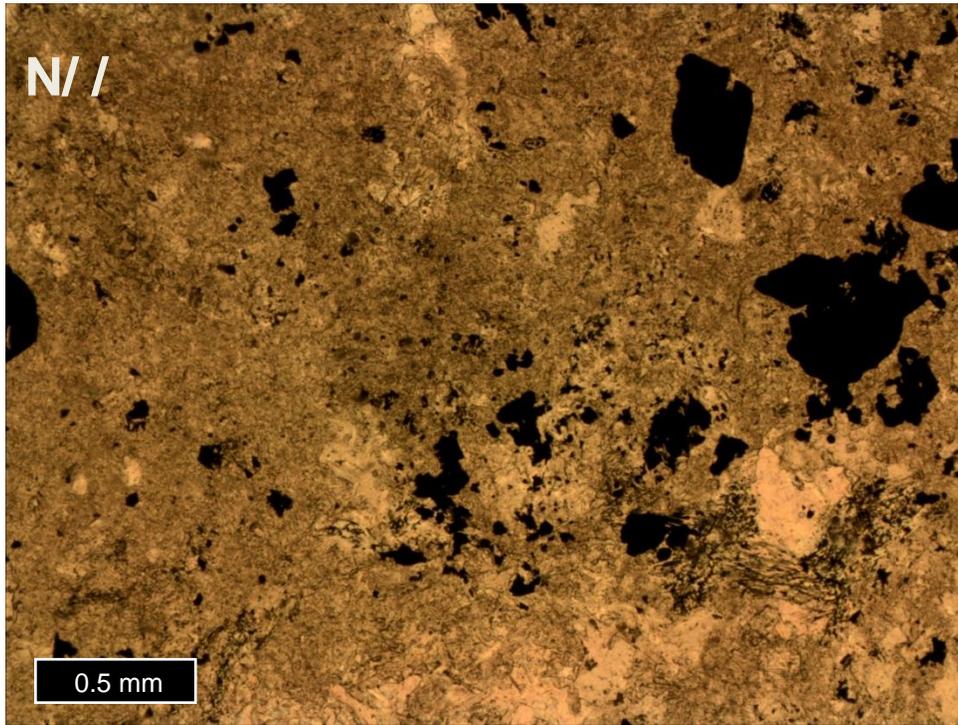


Imagen 72. Fotomicrografía de la muestra SLB05158a nicoles paralelos. Se observa alteración sericitica pervasiva intensa. No se observa el protolito.

Roca(Protolito)		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
No se logra observar	100%	

Minerales de Alteración de Alteración o secundarios		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
Sericita	90%	Toda la muestra muy intensa
Anhidrita	10%	Cristales diseminados
Cuarzo	traza	Granos de 0,2mm

Minerales Opacos		
Mineral	%Volumen	Ocurrencia
Py	5%	Cristales diseminados

MAPEO DE SONDAJES Y TRAMOS ELEGIDOS (MODELO ANGLOAMERICAN)

PALSUL19

El sondaje PALSUL19 presenta principalmente litología BXM. Con respecto a las alteraciones, se observan mayoritariamente alteración potásica y biotítica, con algunos sectores sericíticos. Los tramos elegidos se ubican en litología de BXM y alteración potásica. Si bien estos sectores tienen litología y alteración similar, la ley de cobre varía 1,2% en el primer tramo a 2,15% en el segundo tramo.

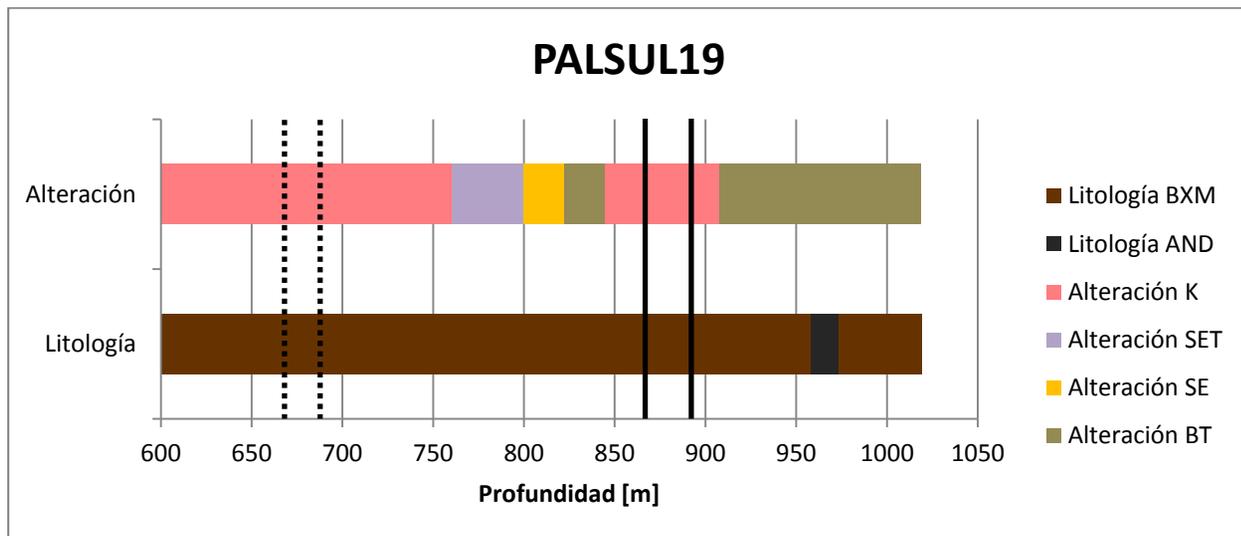


Imagen 73. Caracterización macroscópica de alteración y litología del sondaje PALSUL19.

PALSUL23

El sondaje PALSUL23 presenta principalmente litología de BXM y AND. Las alteraciones corresponden mayormente a potásica y biotítica con una aparición de alteración sericítica al final del sondaje. Los tramos escogidos para este sondaje engloban litología de AND y BXM, y alteración potásica y biotítica. La ley de Cu para el primer tramo corresponde a 2,7% y para el segundo tramo 1,03%.

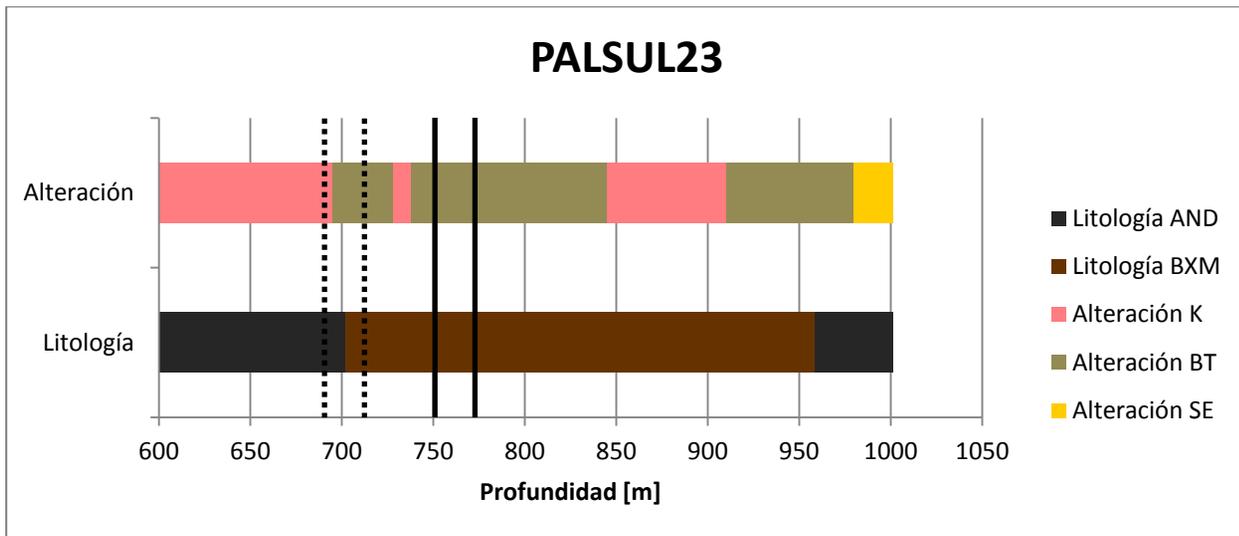


Imagen 74. Caracterización macroscópica de alteración y litología del sondaje PALSUL23

PALSUL22

El sondaje PALSUL22 corresponde principalmente a AND con alteración biotítica. El tramo escogido presenta una ley de cobre de 1,79% y 1,96%. Además la alteración varía dentro de este tramo pasando de una alteración biotítica a biotítica con mayor albita.

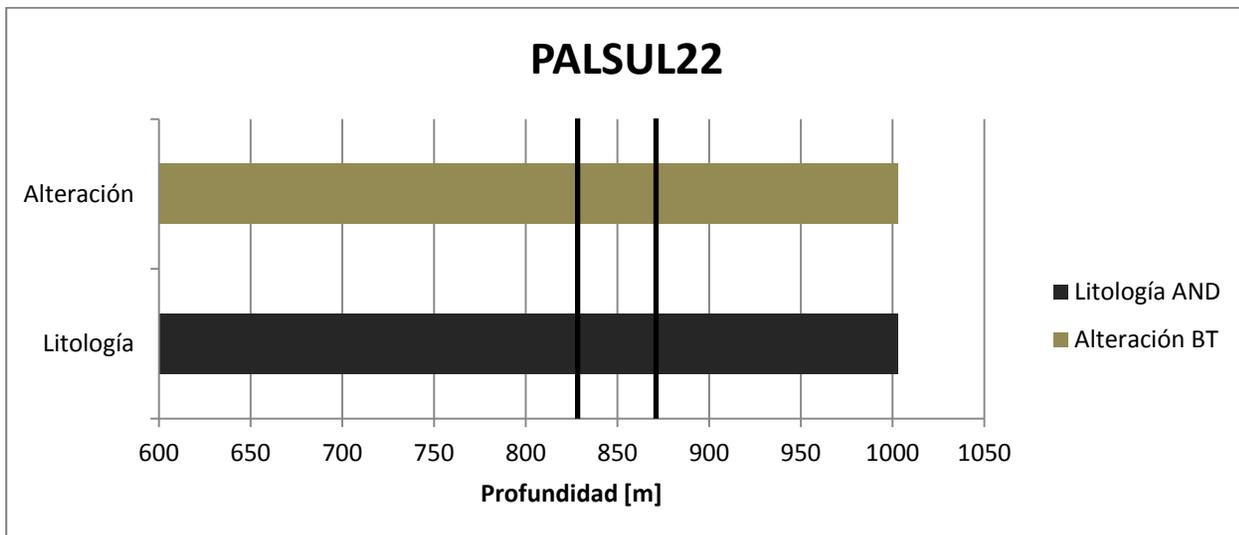


Imagen 75. Caracterización macroscópica de alteración y litología del sondaje PALSUL22

PALSUL10

El sondaje PALSUL10 corresponde principalmente a BXM y AND, con algunas intercalaciones de PIT, PIP, BXT y PPM. La alteración mayoritariamente potásica y biotítica con algunas apariciones de SET y con un sector de alteración argílica producto

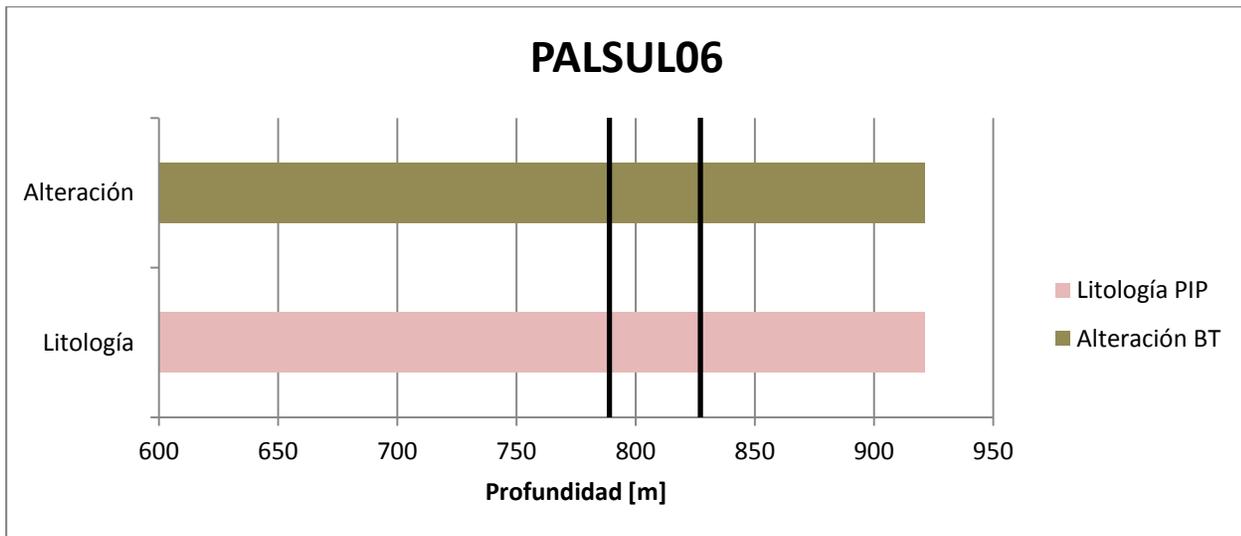


Imagen 77. Caracterización macroscópica de alteración y litología del sondaje PALSUL06

PALSUL07

La litología del sondaje PALSUL07 corresponde a PIT con algunas intercalaciones de BXM. Las alteraciones presentes corresponden a sericitica y biotítica. El tramo escogido presenta una ley de Cu de 0,55%.

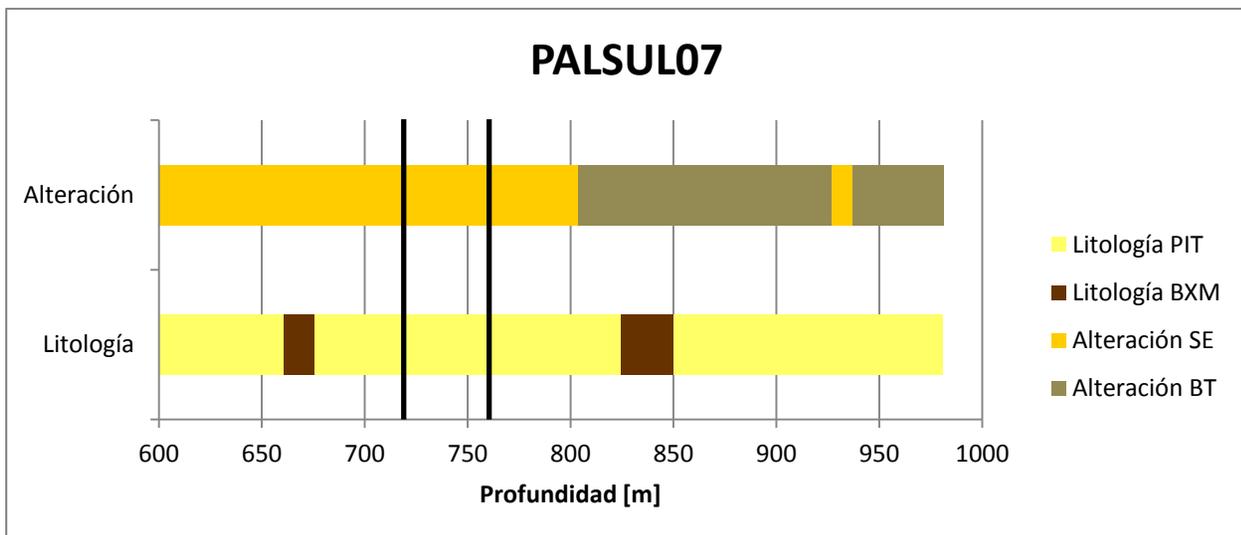


Imagen 78. Caracterización macroscópica de alteración y litología del sondaje PALSUL07

PALSUL08

El sondaje PALSUL08 posee litología AND con intercalaciones de PIT y BXT. La alteración presente corresponde a biotítica y sericitica. Los tramos engloban la litología

PIT con alteración sericítica y la litología AND con alteración biotítica. La Ley de Cu para los tramos corresponde a 0,55% y 0,5%.

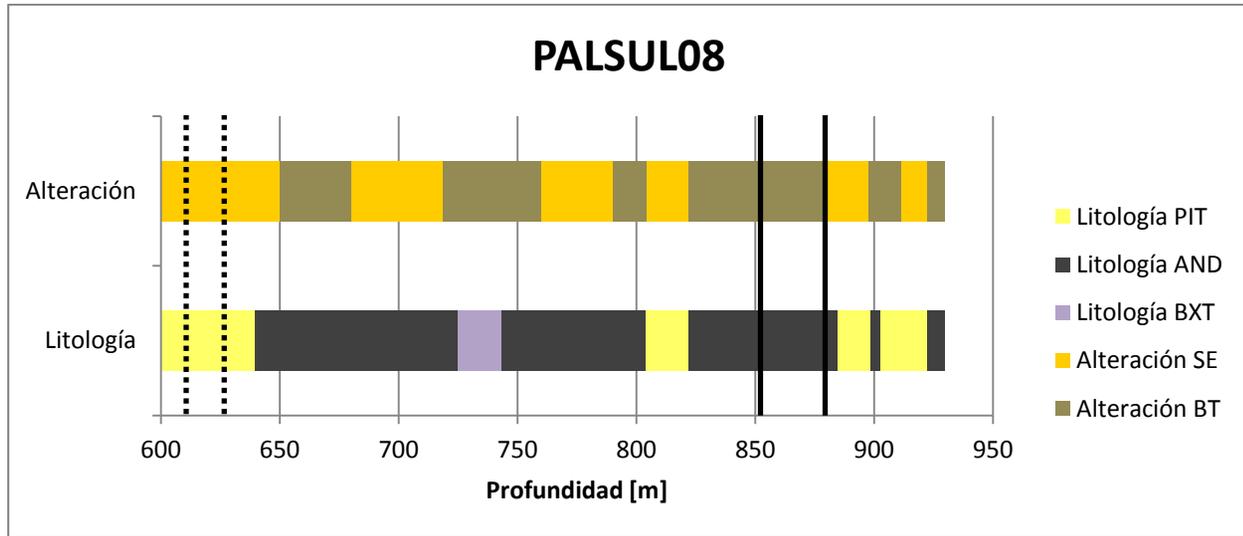


Imagen 79. Caracterización macroscópica de alteración y litología del sondaje PALSUL08

PALSUL12

Este sondaje corresponde a PIP con alteración potásica y sericítica. La alteración sericítica sería gris verde ya que se presenta principalmente como halos de vetas de cuarzo. Presenta una ley de 0.69% en el tramo potásico y 0.93% en el tramo sericítico, leyes superiores al resto de los sondajes de este sector.

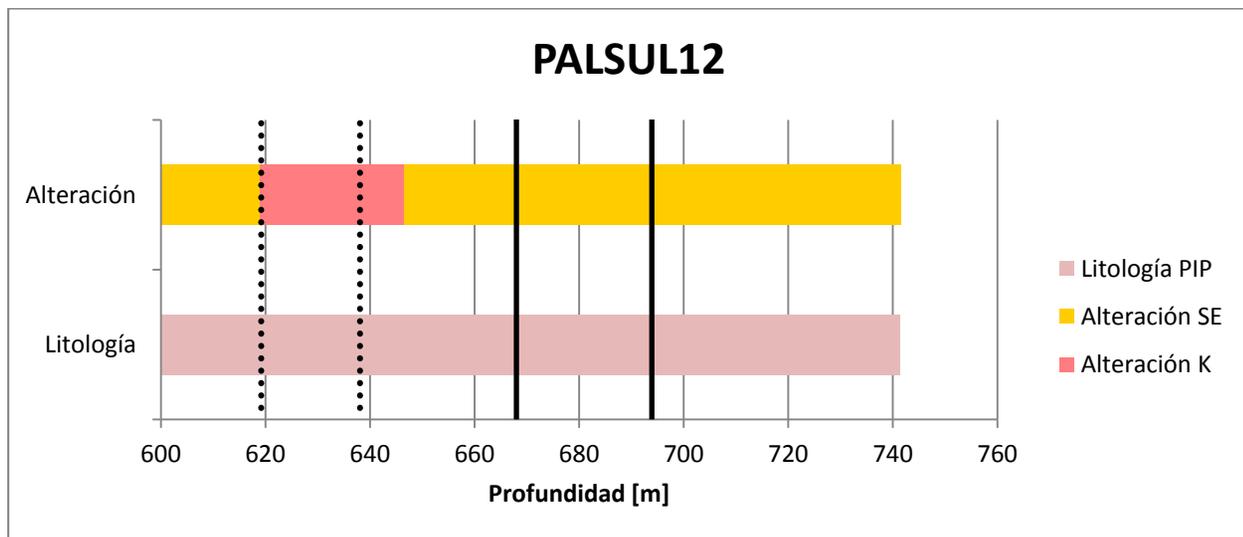


Imagen 80. Caracterización macroscópica de alteración y litología del sondaje PALSUL12

ANEXO III: ANÁLISIS DE MUESTRAS

ANÁLISIS DIFRACCIÓN DE RAYOS X CUANTITATIVO (PORCENTAJE MINERALES)

PALSUL19

El sondaje PALSUL19 presenta mineralogía de cuarzo, albita, microclina, flogopita, muscovita, clorita, yeso, anhidrita y kaolinita. Los minerales de mayor porcentaje corresponden a cuarzo, albita, flogopita y muscovita.

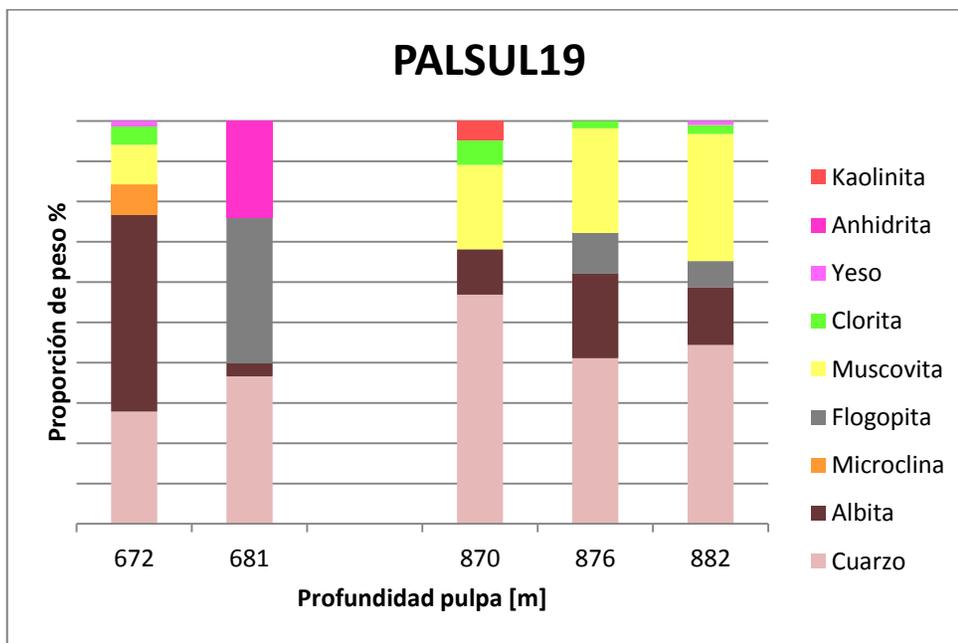


Imagen 81. Porcentajes relativos de mineralogía obtenida por análisis QXRD por PULPA en el sondaje PALSUL19

PALSUL23

El sondaje PALSUL23 presenta mineralogía de cuarzo, microclina, flogopita, muscovita, clorita, yeso y anhidrita. Los minerales en mayor proporción corresponden a cuarzo albita, microclina y anhidrita.

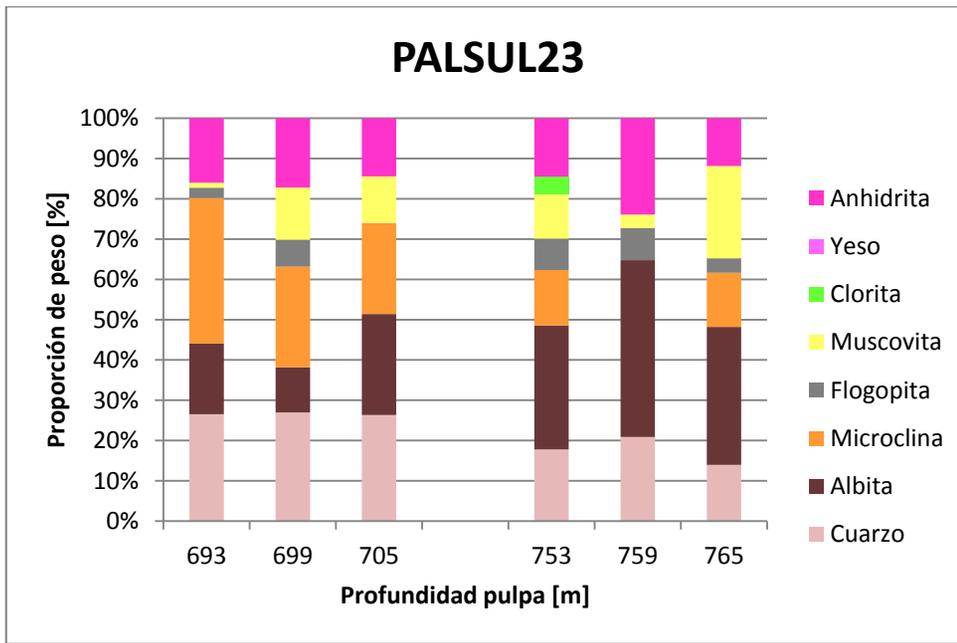


Imagen 82. Porcentajes relativos de mineralogía obtenida por análisis QXRD por PULPA en el sondaje PALSUL23

PALSUL22

El sondaje PALSUL22 presenta mineralogía de cuarzo, albita, flogopita, muscovita, clorita, anhidrita, caolinita, y calcopirita. Los minerales de mayoritarios corresponden a cuarzo y albita

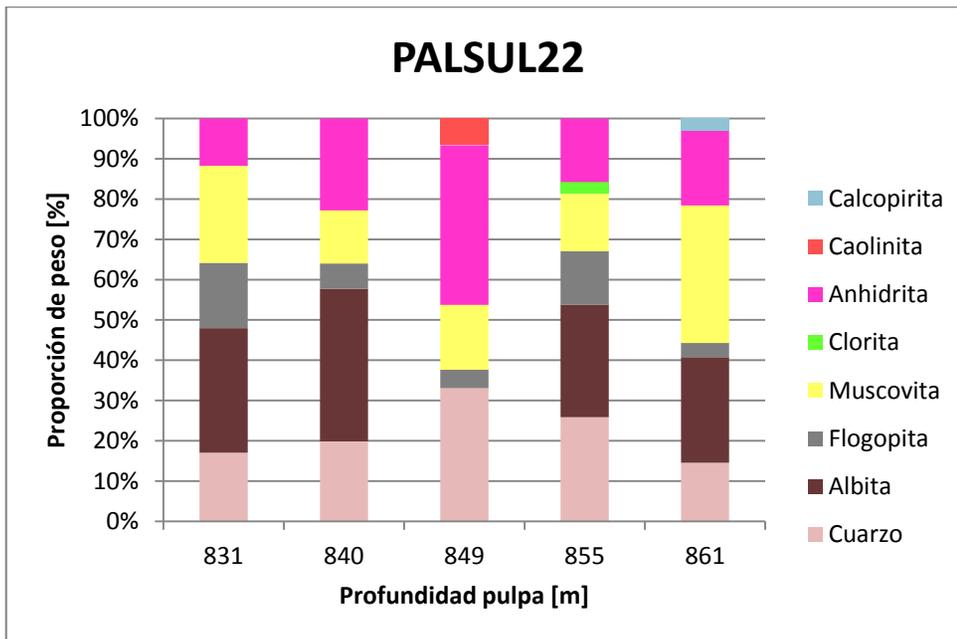


Imagen 83. Porcentajes relativos de mineralogía obtenida por análisis QXRD por PULPA en el sondaje PALSUL22

PALSUL10

El sondaje PALSUL10 presenta mineralogía de cuarzo, albita, ortoclasa, flogopita, muscovita, yeso, anhidrita, calcopirita.

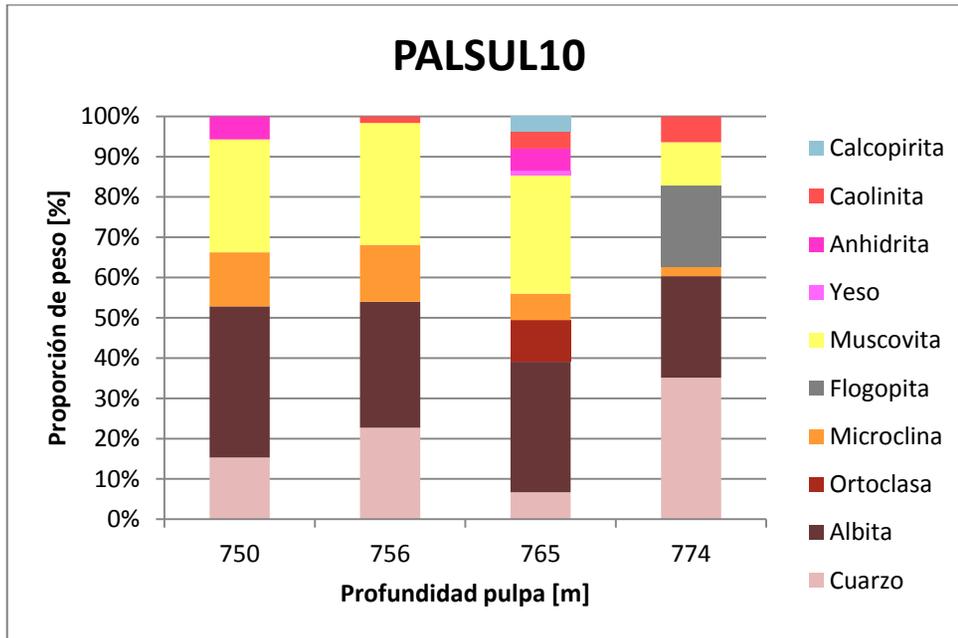


Imagen 84. Porcentajes relativos de mineralogía obtenida por análisis QXRD por PULPA en el sondaje PALSUL10

PALSUL06

El sondaje PALSUL06 presenta mineralogía de cuarzo, albita, ortoclasa, flogopita, muscovita y caolinita.

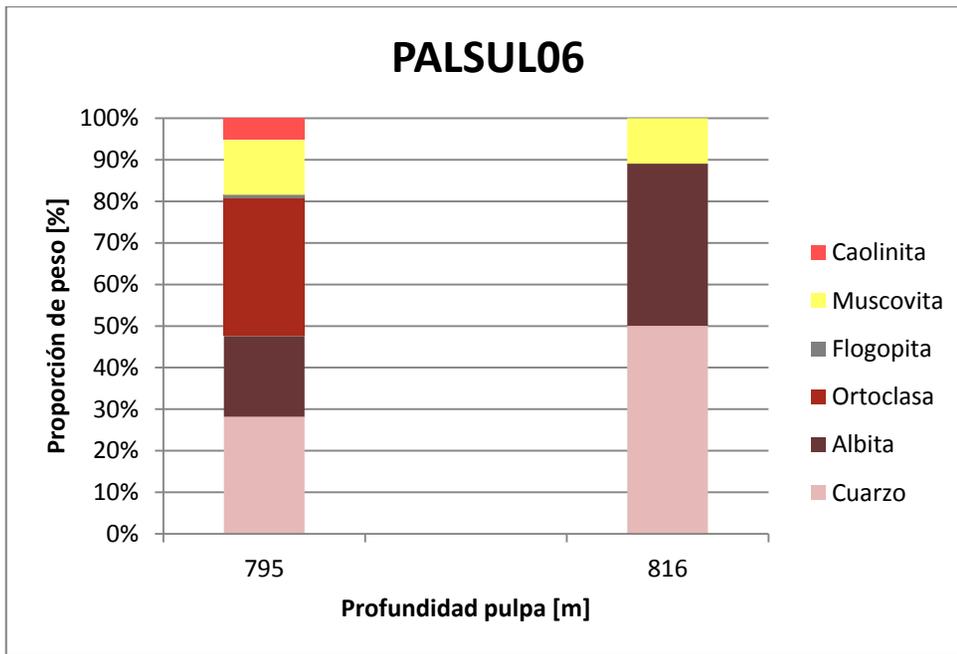


Imagen 85. Porcentajes relativos de mineralogía obtenida por análisis QXRD por PULPA en el sondaje PALSUL06

PALSUL07

El sondaje PALSUL07 presenta mineralogía de cuarzo, albita, flogopita, muscovita, yeso, anhidrita, calcopirita y pirita.

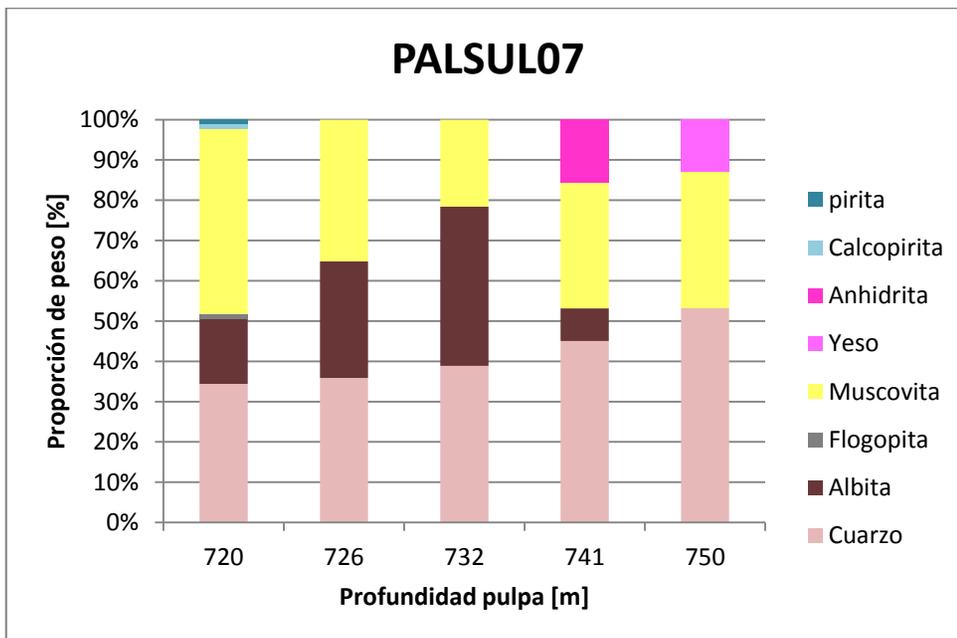


Imagen 86. Porcentajes relativos de mineralogía obtenida por análisis QXRD por PULPA en el sondaje PALSUL07

PALSUL08

El sondaje PALSUL08 presenta mineralogía de cuarzo, albita, muscovita, yeso, anhidrita, caolinita y pirita.

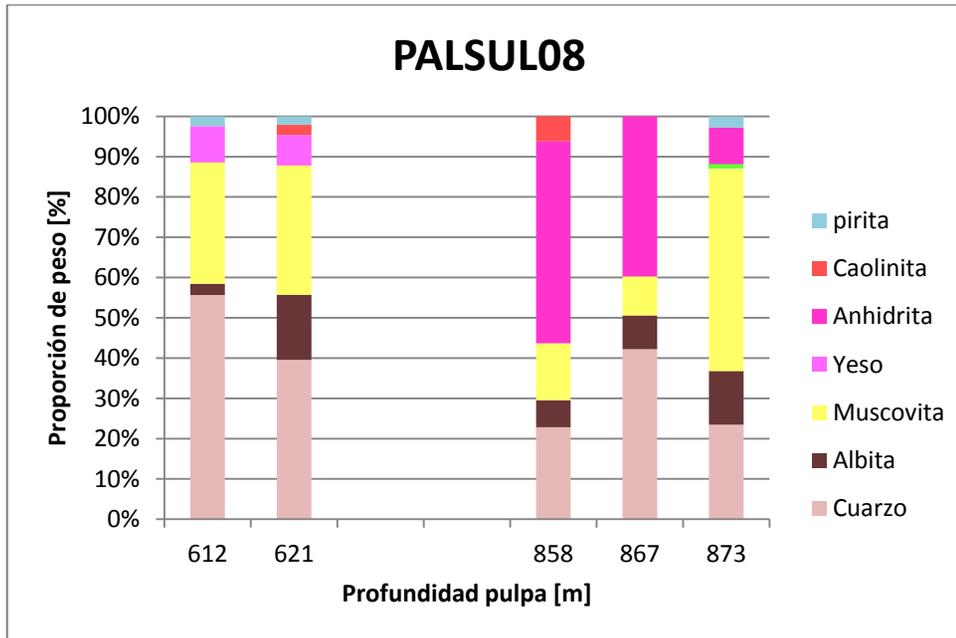


Imagen 87. Porcentajes relativos de mineralogía obtenida por análisis QXRD por PULPA en el sondaje PALSUL08

PALSUL12

El sondaje PALSUL12 presenta mineralogía de cuarzo, albita, potasio, muscovita, yeso, illita y pirita.

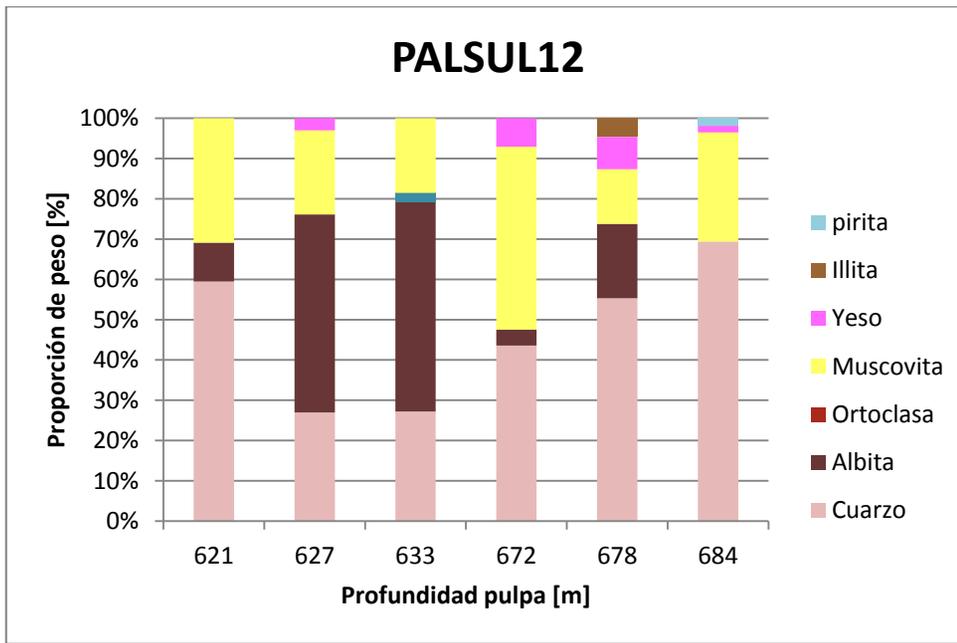


Imagen 88. Porcentajes relativos de mineralogía obtenida por análisis QXRD por PULPA en el sondaje PALSUL12

ANÁLISIS HYLOGGER-3

PALSUL19

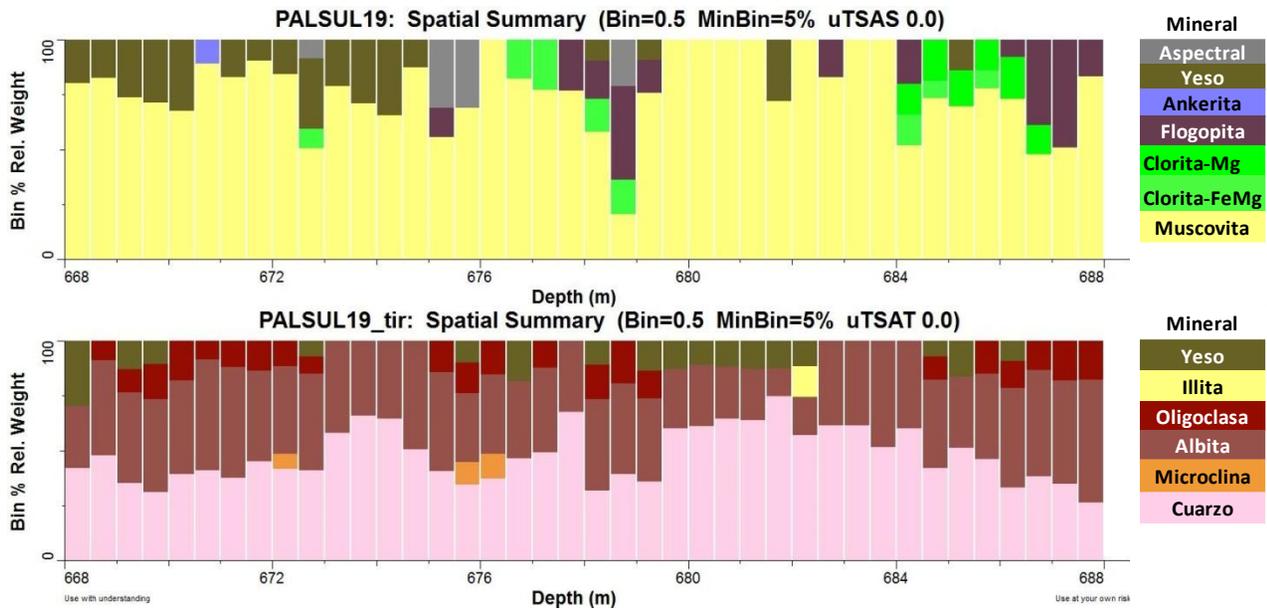


Imagen 89. Resultado del análisis HyLogger para el sondaje PALSUL19 en el tramo 668,15m a 687,75m.

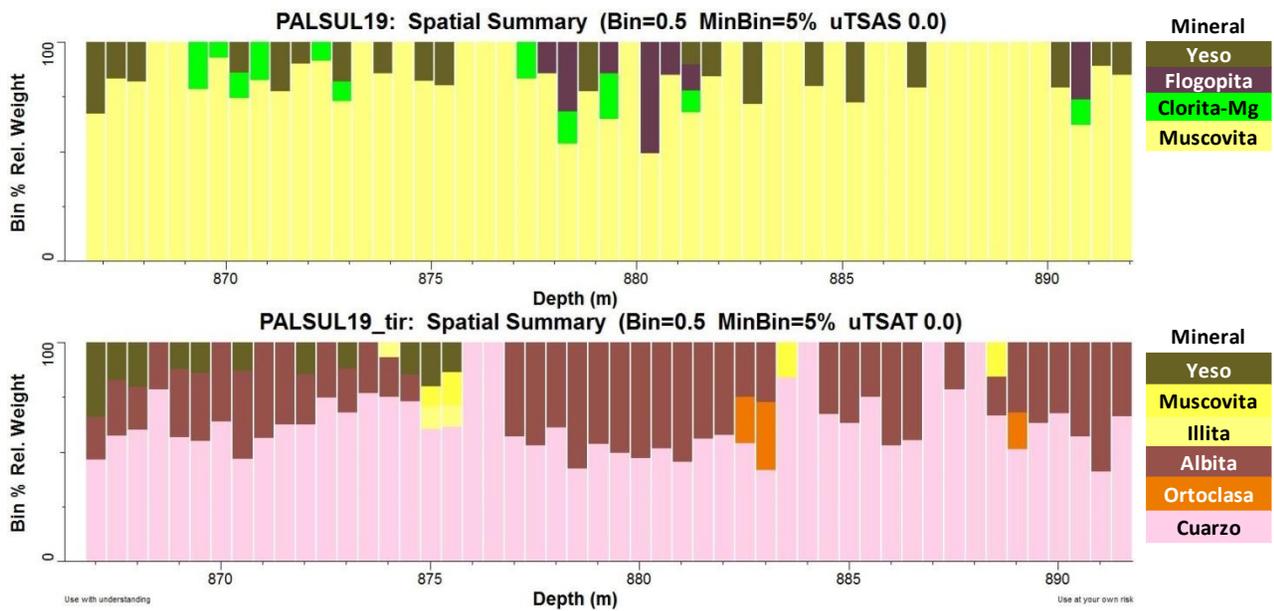


Imagen 90. Resultado del análisis HyLogger para el sondaje PALSUL19 en el tramo 866,8m a 892,2m.

PALSUL23

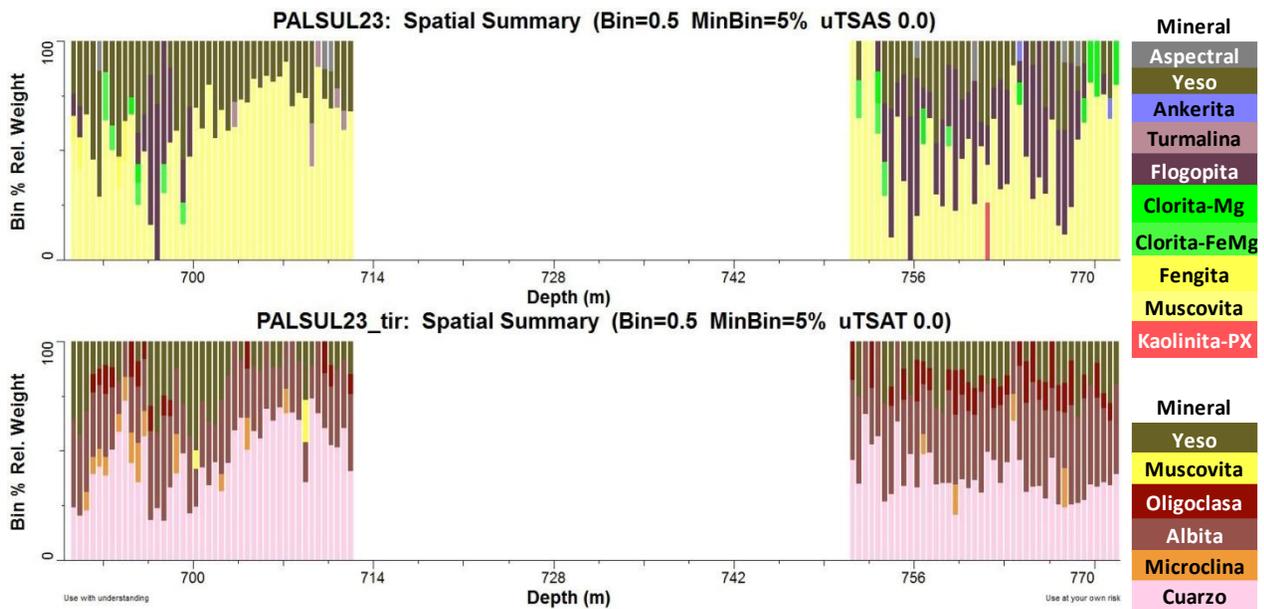


Imagen 91. Resultado del análisis HyLogger para el sondaje PALSUL23 en el tramo 690,55m a 712,4m y el tramo 750,9m a 772,75.

PALSUL22

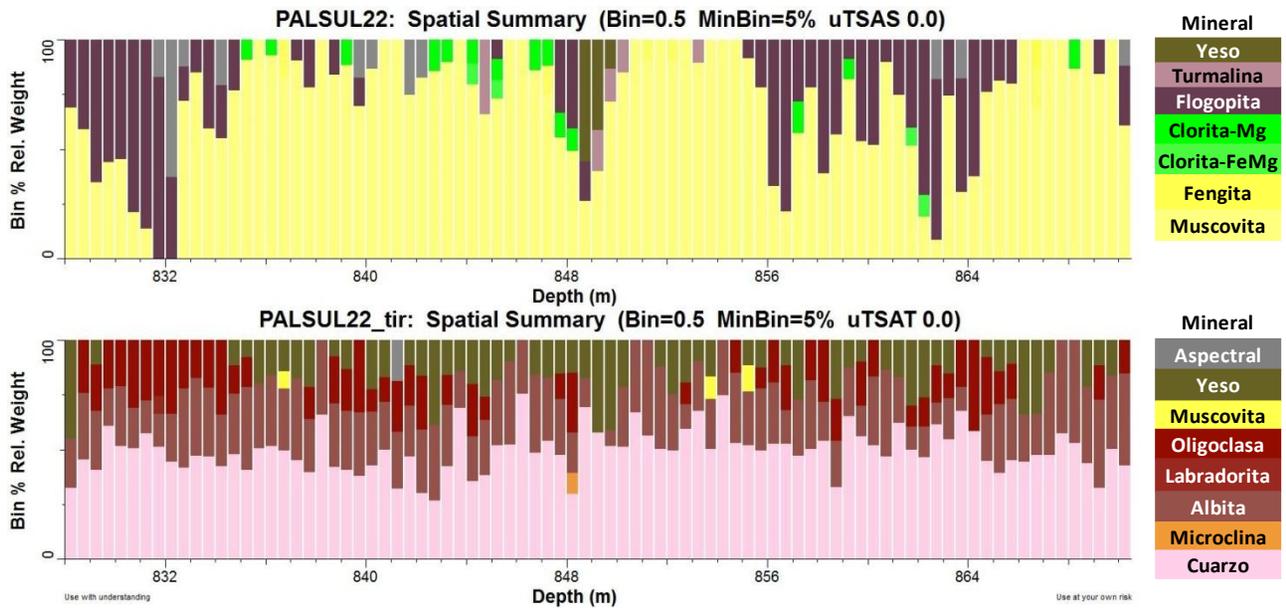


Imagen 92. Resultado del análisis HyLogger para el sondaje PALSUL22 en el tramo 828,3m a 871,05m.

PALSUL10

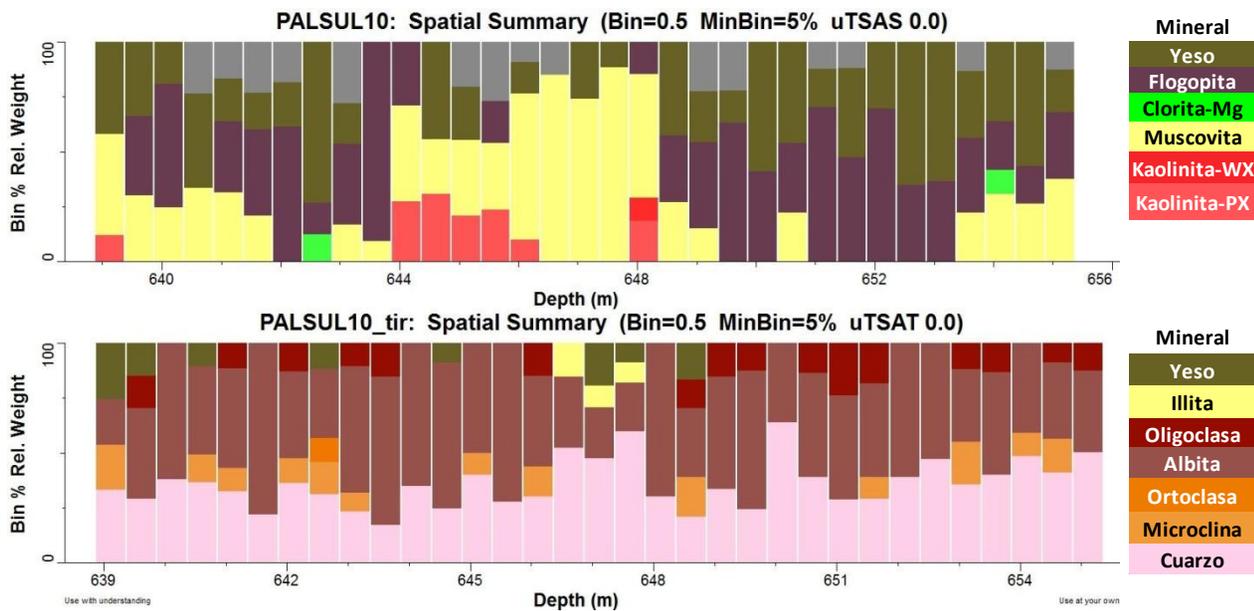


Imagen 93. Resultado del análisis HyLogger para el sondaje PALSUL10 en el tramo 638,9m a 655,25m.

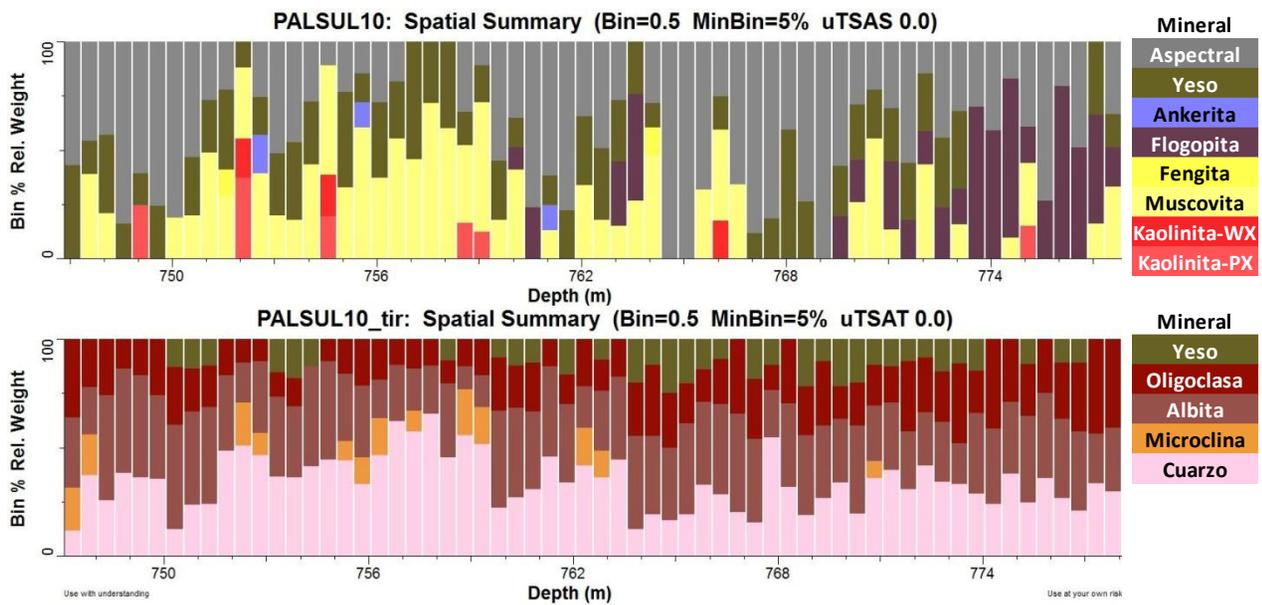


Imagen 94. Resultado del análisis HyLogger para el sondaje PALSUL10 en el tramo 747,15m a 779,05m.

PALSUL06

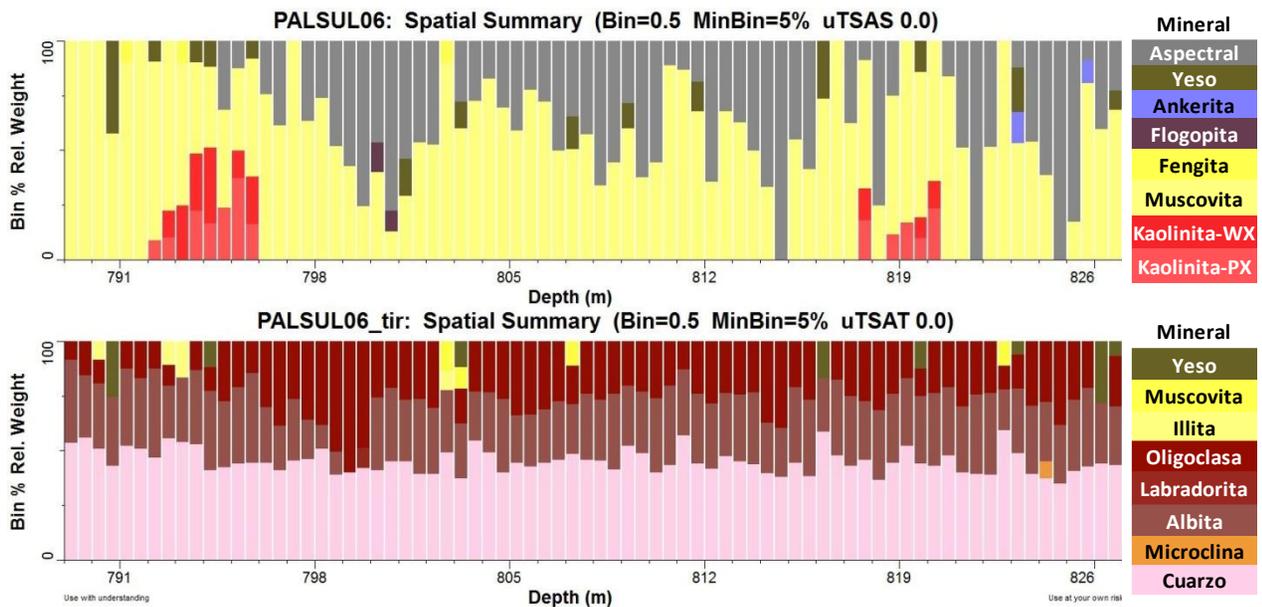


Imagen 95. Resultado del análisis HyLogger para el sondaje PALSUL06 en el tramo 789m a 827,17m.

PALSUL07

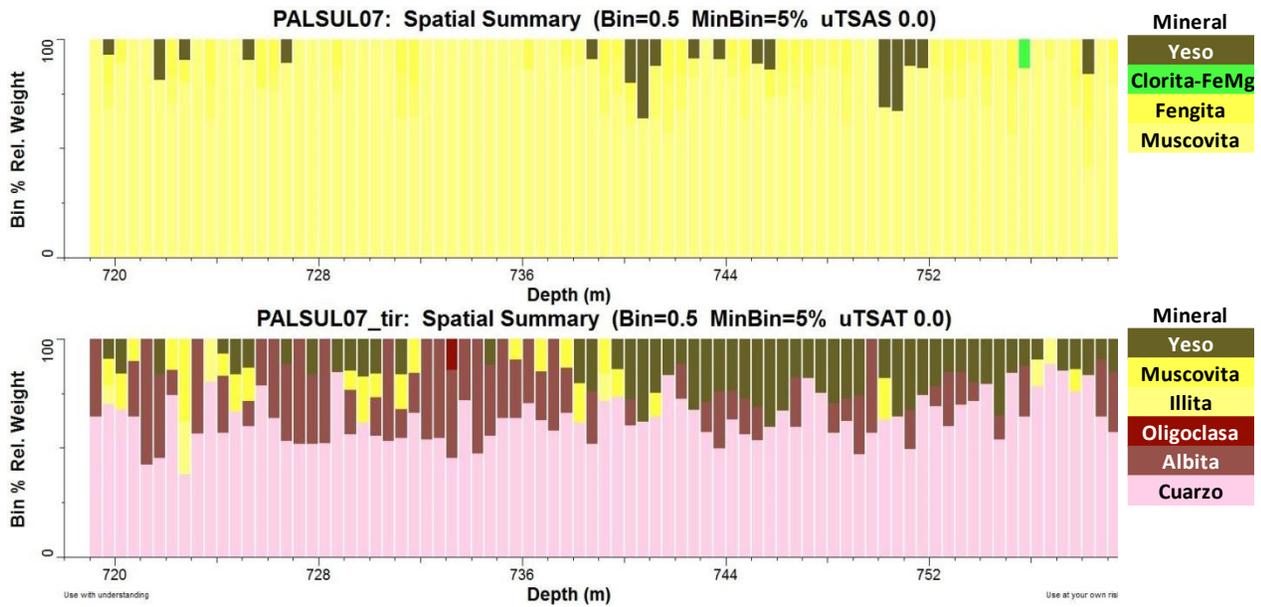


Imagen 96. Resultado del análisis HyLogger para el sondaje PALSUL07 en el tramo 718,95m a 760,45m.

PALSUL08

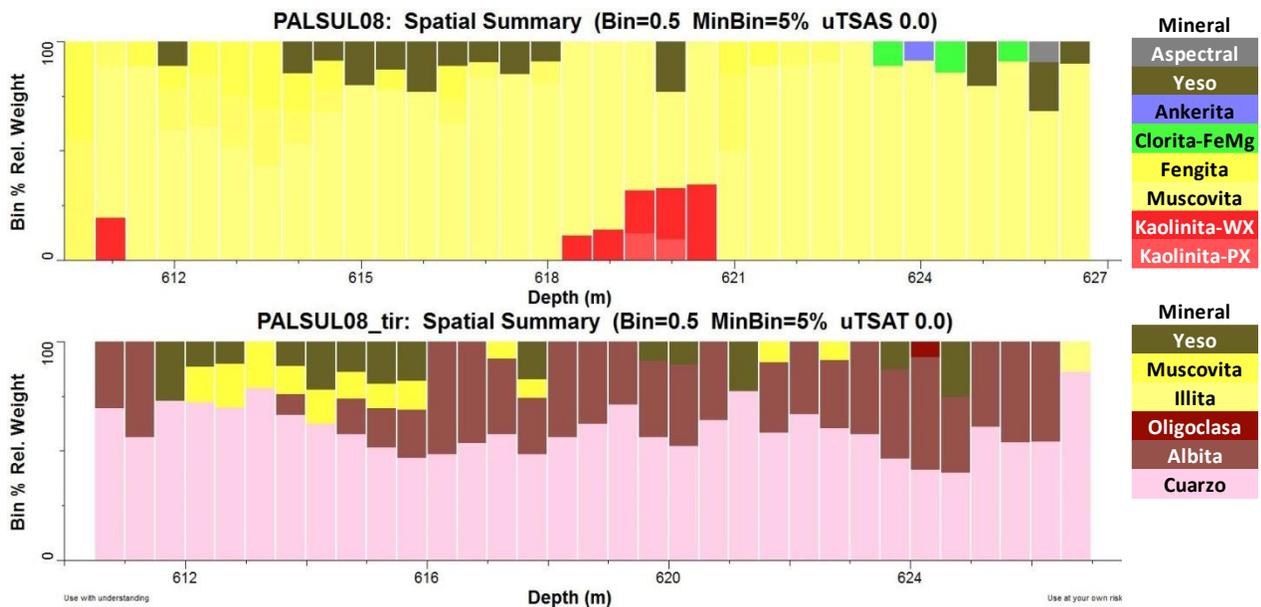


Imagen 97. Resultado del análisis HyLogger para el sondaje PALSUL08 en el tramo 610,65m a 626,65m.

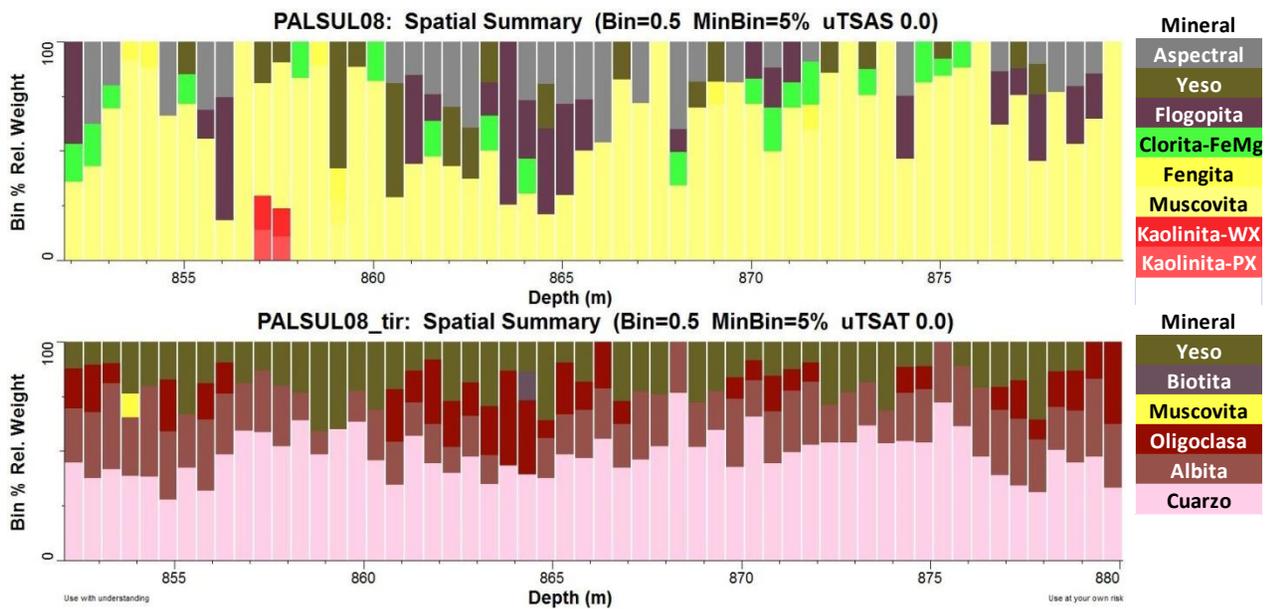


Imagen 98. Resultado del análisis HyLogger para el sondaje PALSUL12 en el tramo 852,2m a 879,4m.

PALSUL12

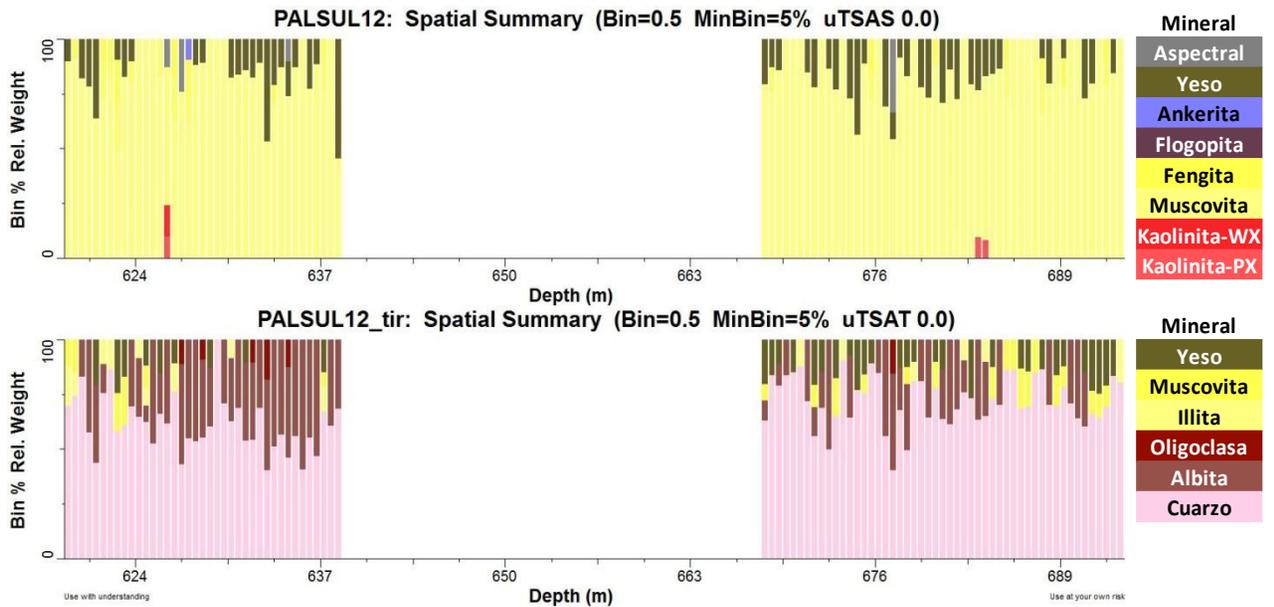


Imagen 99. Resultado del análisis HyLogger para el sondaje PALSUL12 en el tramo 619,2m a 638,1m y el tramo 668m a 693,9.

ANÁLISIS HYLOGGER: MUSCOVITA

PALSUL19

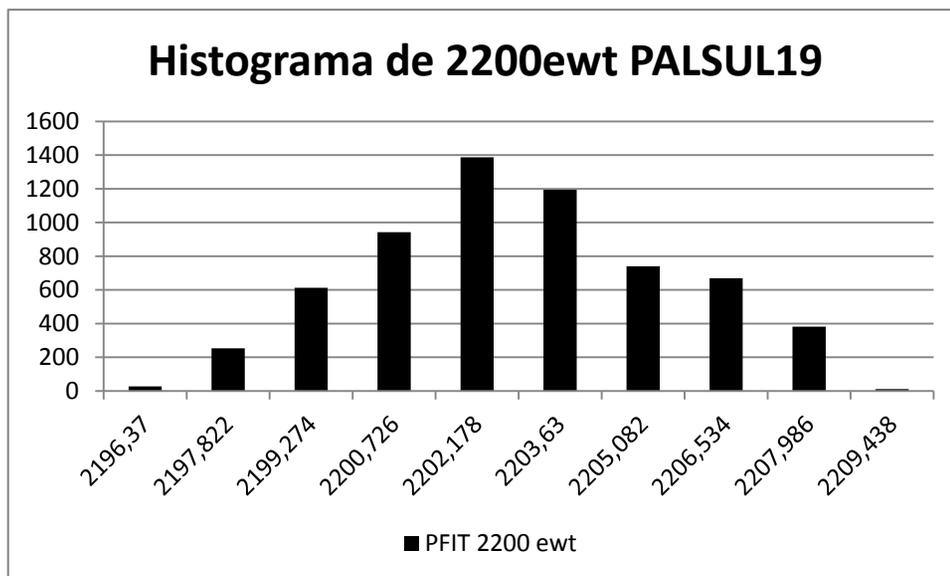


Imagen 100. Distribución de los valores de longitud de onda de la banda de Al-Oh en los tramos escogidos para el sondaje PALSUL19.

PALSUL23

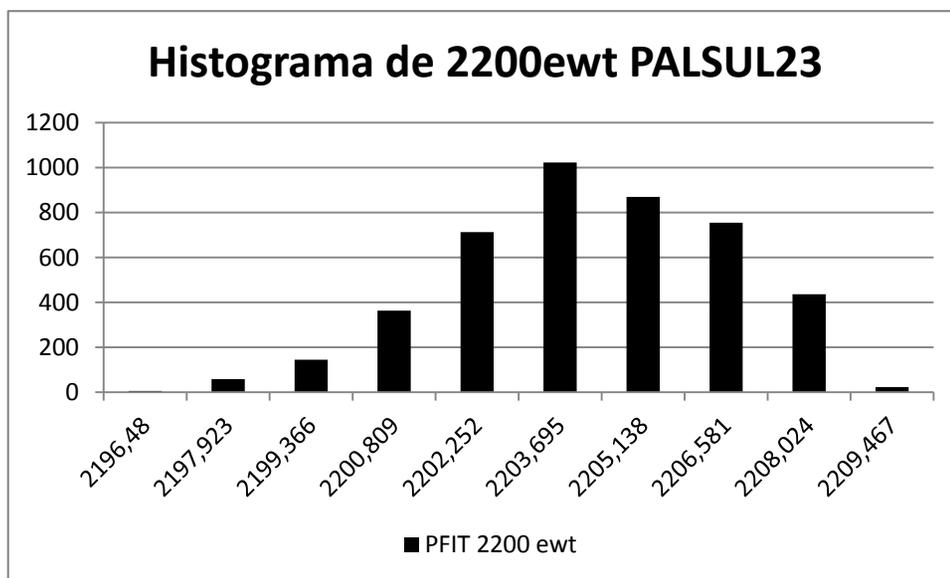


Imagen 101. Distribución de los valores de longitud de onda de la banda de Al-Oh en los tramo escogidos para el sondaje PALSUL23.

PALSUL22

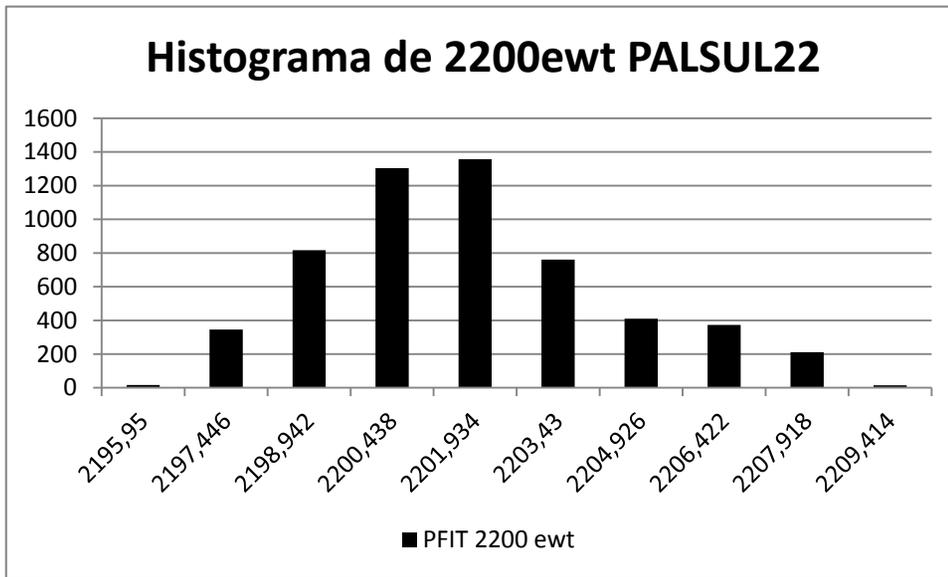


Imagen 102. Distribución de los valores de longitud de onda de la banda de Al-Oh en los tramos escogidos para el sondaje PALSUL22.

PALSUL10

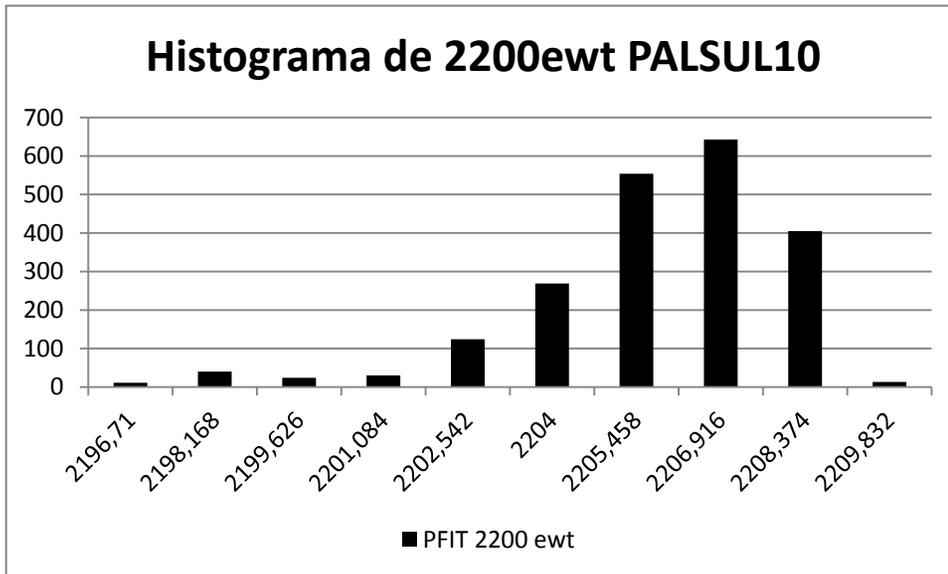


Imagen 103. Distribución de los valores de longitud de onda de la banda de Al-Oh en los tramos escogidos para el sondaje PALSUL10.

PALSUL06

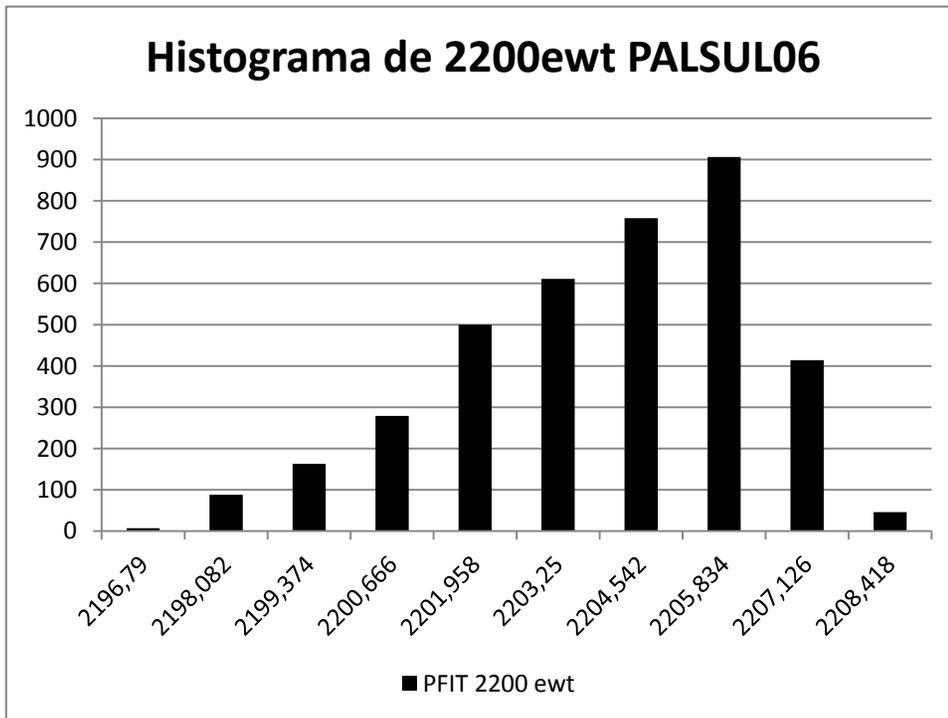


Imagen 104. Distribución de los valores de longitud de onda de la banda de Al-Oh en los tramos escogidos para el sondaje PALSUL06.

PALSUL07

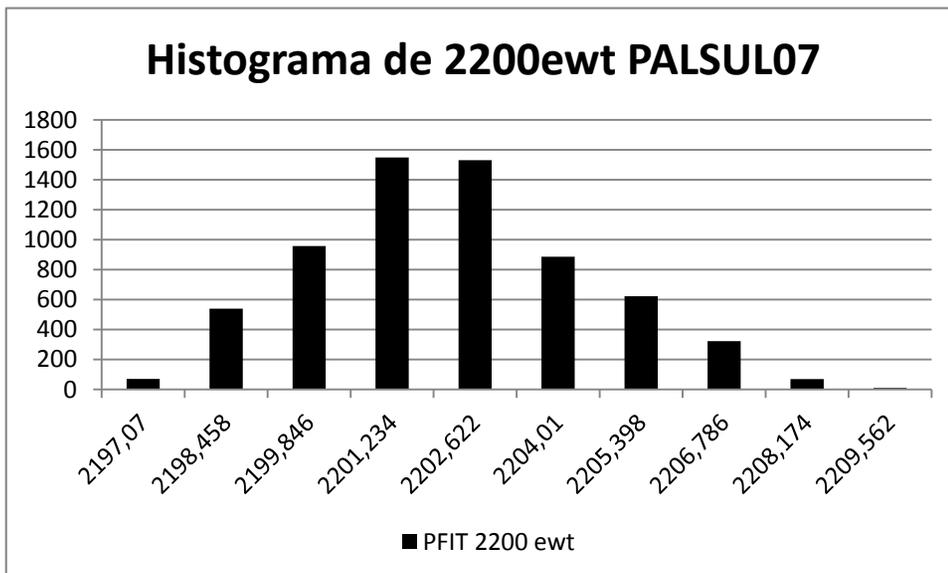


Imagen 105. Distribución de los valores de longitud de onda de la banda de Al-Oh en los tramos escogidos para el sondaje PALSUL07.

PALSUL08

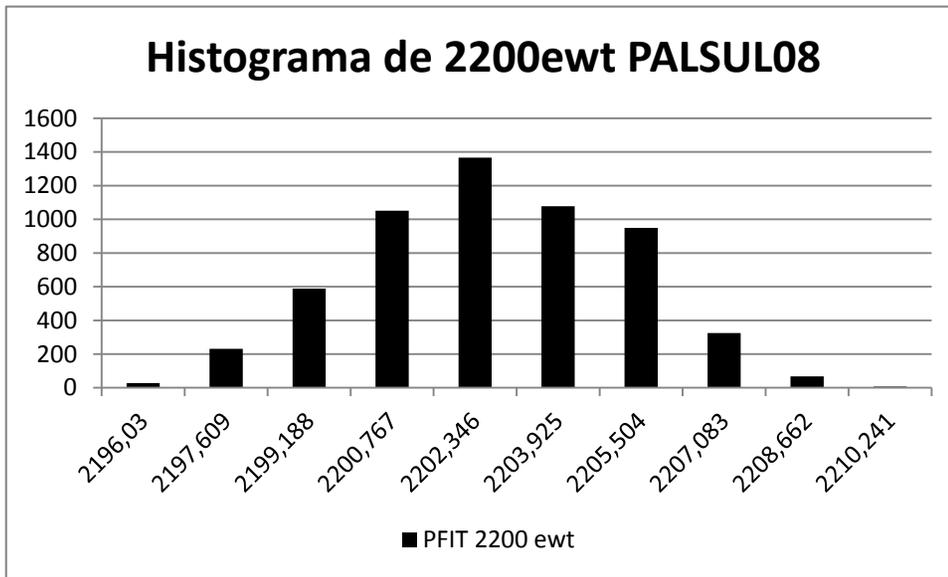


Imagen 106. Distribución de los valores de longitud de onda de la banda de Al-Oh en los tramos escogidos para el sondaje PALSUL08.

PALSUL12

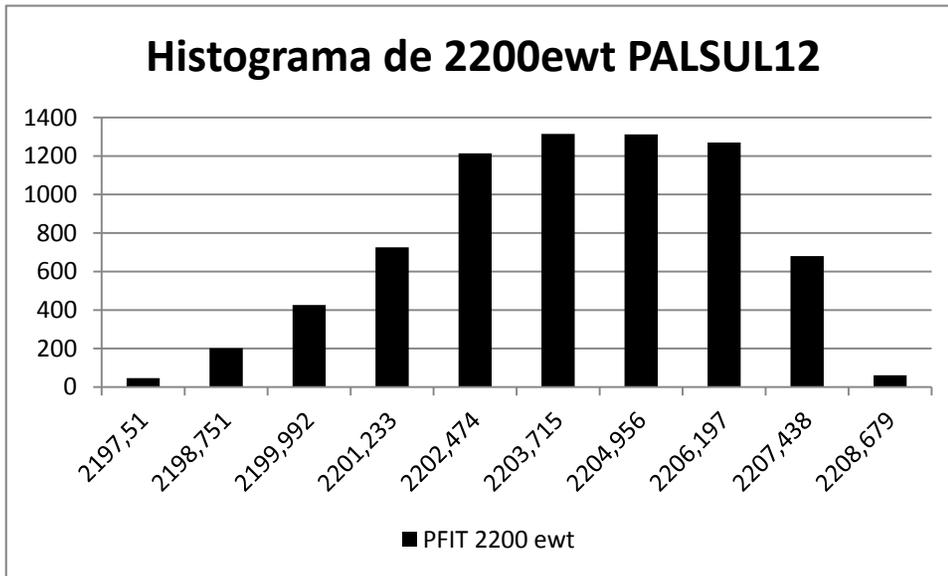


Imagen 107. Distribución de los valores de longitud de onda de la banda de Al-Oh en los tramos escogidos para el sondaje PALSUL12.