



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

**IMPACTOS GEOLÓGICOS EN EL GRADO DE LIBERACIÓN DE LOS SULFUROS
DE COBRE EN EL PROCESAMIENTO MINERAL DE LOS PÓRFIDOS CU-MO,
DISTRITO ESCONDIDA, REGIÓN DE ANTOFAGASTA**

**TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGÍSTER EN CIENCIAS,
MENCION GEOLOGÍA**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE GEÓLOGO

VELIN ALEXANDROV TCHOBANOV

**PROFESOR GUÍA:
BRIAN TOWNLEY CALLEJAS**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
KATJA DECKART
WILLY KRACHT GAJARDO**

**SANTIAGO DE CHILE
2016**

RESUMEN

El grado de liberación de los sulfuros de mena de Cu es uno de las principales incógnitas del procesamiento mineral. Como la flotación está fuertemente influida por la superficie libre de los minerales económicamente importantes, poder cuantificarlo sería de gran utilidad para optimizar los circuitos de molienda, y estimar la recuperación del mineral. La herramienta de uso común para cuantificar la liberación es QemSCAN, pero su costo elevado, junto a la no-aditividad del parámetro de liberación, no permiten la creación de un modelo confiable.

Esta tesis se enfoca en determinar los parámetros mineralógicos y texturales, y los parámetros de ensayos geometalúrgicos de dureza (SPI, BWI) más influyentes en determinar el grado de liberación de los minerales sulfurados de Cu. Las relaciones encontradas pueden servir de mejorar la precisión de un modelo de liberación, sin incrementar sustancialmente el costo. Se disponen de 120 ensayos QemSCAN de Escondida y Escondida Norte, datos de ensayos SAG PowerIndex (SPI) y Bond WorkIndex (BWI) y 20 cortes transparentes y pulidos de Escondida Norte.

Se muestra que la liberación >90% en las zonas de sulfuros secundarios, Cc+Py es menor que la liberación >90% de las zonas de sulfuros primarios y mezclados. Esto es concordante con las relaciones directas entre liberación y tipo de sulfuro, asociación con Pirita, asociaciones con minerales de forma lateral y asociaciones complejas. Al mismo tiempo, se detecta que la diseminación y la oclusión en otros minerales, no es un problema mayor de liberación. Se evidencia además la relación negativa entre liberación y mayor contenido de Arcillas, y una relación positiva con el mayor contenido de Qz+Feldespatos. Se identifica que un mayor tamaño de grano de los sulfuros de Cu también contribuye a una mejor liberación. Se muestra que los ensayos SPI y BWI tienen poca influencia en el grado de liberación, y se infiere que esto se debe a su metodología.

Los cortes transparentes/pulidos de Escondida Norte permitieron observar las asociaciones mineralógicas presentes y sus relaciones texturales. Se observó que el tamaño grano del sulfuro y los bordes de asociación simples y rectos pueden contribuir a la fácil liberación. Esto se ve principalmente en sulfuros primarios y en vetillas.

DEDICATORIA

A Daniela, Alexander y Sergio, por apoyarme incondicionalmente en todo lo que pudieron...A Stoyany Tsvetana, por ser mis pilares... A Emil, por sus consejos y ánimo.
A mis amigos, por haber estado siempre...

AGRADECIMIENTOS

Esta tesis no habría sido posible sin el liderazgo y apoyo del Dr. Brian Townley, mi profesor guía, que me entusiasmó con la geología económica, me ayudó en mis primeros pasos, y me guió en los 5 años del camino que compartimos.

Agradezco profundamente al Dr. Julián Ortíz, por creer en mí y acogerme en el Laboratorio ALGES, AMTC, dónde se insertó esta tesis. También, por sus consejos acertados y motivación.

Agradezco al Laboratorio ALGES, AMTC, por el financiamiento, pero por sobre todo, a todos los profesionales, tesistas y funcionarios que lo conforman y apoyaron en los momentos de duda.

Agradezco a mis profesores de geología y demás funcionarios de la Universidad de Chile, por permitirme llegar hasta aquí. Además, muchos de Uds. me regalaron palabras y consejos, que no olvidaré jamás.

A CONICYT, por el financiamiento. Sin esta ayuda, esta tesis hubiera peligrado su término.

TABLA DE CONTENIDO

1	Introducción	1
1.1	Formulación del problema	1
1.2	Hipótesis de Trabajo.....	2
1.3	Objetivos	3
1.3.1	Objetivos Generales	3
1.3.2	Objetivos específicos.....	3
1.4	Alcances del trabajo	4
1.5	Metodología.....	4
1.5.1	Investigación bibliográfica.....	4
1.5.2	Análisis exploratorio de datos.....	4
1.5.3	Análisis mineralógico y textural en cortes transparentes y pulidos.....	5
1.5.4	Análisis estadístico	5
1.6	Estado del arte	5
1.6.1	Caracterizando la liberación de calcopirita y su potencial de flotación: ejemplos de un depósito IOCG	6
2	Marco Teórico	7
2.1	Modelo de los pórfidos cupríferos	7
2.1.1	Contexto geo-tectónico de emplazamiento	7
2.1.2	Caracterización de la zona hipógena	8
2.1.3	Alteración hidrotermal.....	8
2.1.4	Transporte y precipitación de metales	12
2.2	Caracterización mineralógica: QemSCAN.....	13
2.3	Ensayos geometalúrgicos de moliendabilidad.....	15
2.3.1	Ensayo SAG Power Index (SPI)	15
2.3.2	Ensayo Bond Work Index (BWI)	17
2.4	Métodos estadísticos.....	19
2.4.1	Estimadores de la media y el coeficiente de variación	19
2.4.2	Histograma	20
2.4.3	Coeficiente de correlación de Pearson.....	20
3	Marco Geológico.....	22
3.1	Ubicación de Escondida y Escondida Norte.....	22
3.2	Mineralización económica del distrito Escondida	23
3.3	Marco geológico local de Escondida	23
3.3.1	Generalidades	23
3.3.2	Litología.....	24
3.3.3	Alteración hidrotermal hipógena	26
3.3.4	Alteración supérgena.....	30
3.3.5	Mineralización.....	31
3.4	Marco geológico local Escondida Norte	33

3.4.1	Litología.....	33
3.4.2	Alteración hidrotermal hipógena.....	34
3.4.3	Alteración supérgena.....	35
3.4.4	Mineralización hipógena.....	35
4	Resultados.....	36
4.1	Análisis de datos QemSCAN.....	36
4.1.1	Clasificación geológica de las muestras QemSCAN.....	37
4.1.2	Liberación.....	46
4.1.3	Liberación y mineralogía modal.....	64
4.1.4	Liberación y parámetros texturales.....	78
4.1.5	Liberación y ensayos de dureza.....	91
4.2	Petrografía y Calcografía.....	97
4.2.1	Litología.....	97
4.2.2	Alteración.....	98
4.2.3	Zona mineral (MINZ).....	101
4.2.4	Ocurrencia y parámetros texturales de los sulfuros.....	102
5	Discusiones.....	108
5.1	Análisis de datos QemSCAN.....	108
5.1.1	Clasificación de las muestras QemSCAN (Alteración y MINZ).....	108
5.1.2	Liberación QemSCAN.....	110
5.1.3	Liberación y mineralogía modal (general, por MINZ).....	111
5.1.4	Liberación y parámetros texturales.....	113
5.1.5	Liberación y ensayos de moliendabilidad.....	116
5.2	Petrografía y Calcografía.....	116
6	Conclusiones.....	118
7	Comentarios finales y recomendaciones.....	120
8	Bibliografía.....	121
9	Anexos.....	123

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Carga de bolas para el test estandarizado Bond Work Index (Bond, 1961):.....	17
Tabla 2.2: Valores promedio BWI para rocas promedio y minerales (Bond, 1961)	19
Tabla 3.1: Recursos y leyes de los depósitos del distrito de Escondida (Hervé, 2012).....	23
Tabla 3.2: Características de las 3 fases hidrotermales hipógenas del depósito Escondida (Padilla, 2001).....	27
Tabla 3.3: Mineralización por tipo de mena, Minera Escondida (Padilla, 2001)....	31
Tabla 4.1: Categorías de liberación y los rangos de tamaños para todas ellas en el QemSCAN.....	36
Tabla 4.2: Minerales de ganga considerados en el QemSCAN y los rangos de tamaños que aplican a todos ellos.	36
Tabla 4.3: Elementos considerados en el QemSCAN y rangos de tamaño aplicable a todos ellos.	37
Tabla 4.4: Sulfuros de Cu considerados en el QemSCAN, y rango de tamaños aplicable a todos ellos.	37
Tabla 4.5: Tamaños de partícula considerados en QemSCAN, y los rangos de tamaños para todos ellos.	37
Tabla 4.6: Asociaciones de sulfuros y otras partículas considerados en QemSCAN y los rangos de tamaños para todos ellos.	37
Tabla 4.7: Categorías de alteración según la hoja de codificación de Escondida FY12.....	38
Tabla 4.8: Categorías de alteración modificadas para las muestras de QemSCAN. N = 120 muestras.....	39
Tabla 4.9: Estadística del contenido modal de QemSCAN de los minerales índices para clasificación de alteración. N = 120 muestras.	40
Tabla 4.10: Leyenda de colores para alteración.	40
Tabla 4.11: Categorías de clasificación en zona mineral (MINZONE), según hoja de clasificación Escondida FY12.....	41
Tabla 4.12: Categorías de clasificación según MINZONE modificada. N = 120 muestras.....	42
Tabla 4.13: Resumen estadístico del contenido modal de sulfuros de Cu índices para la clasificación en MINZONE. N = 120 muestras.	43
Tabla 4.14: Leyenda de colores para MINZONE.	43
Tabla 4.15: Correspondencia entre alteración y zona mineral para las 120 muestras del QemSCAN.	45
Tabla 4.16: Coeficientes de correlación entre la liberación >90% global y el resto de parámetros de liberación. N = 120 muestras.....	52

Tabla 4.17: Coeficientes de correlación entre la liberación <30% global (diseminada) y el resto de los parámetros de liberación <30%. N = 120 muestras.....	55
Tabla 4.18: Coeficiente de correlación entre la liberación <30% global (ocluida) y el resto de los parámetros de liberación <30% (ocluida y lateral). N = 120 muestras. ..	55
Tabla 4.19: Coeficiente de correlación entre la liberación <30% global (lateral) y el resto de los parámetros de liberación <30% (lateral). N = 120 muestras.....	56
Tabla 4.20: Coeficientes de correlación entre parámetros de liberación globales y parámetros mineralógicos combinados. N = 120 muestras.....	65
Tabla 4.21: Coeficientes de correlación entre parámetros de liberación globales (>90%, <30% diseminado, ocluido y lateral) y parámetros mineralógicos combinados, Cu y Fe, para MINZ Cc+Py. N = 40 muestras.	71
Tabla 4.22: Coeficientes de correlación entre parámetros de liberación globales (>90%, <30% diseminado, ocluido y lateral) y parámetros mineralógicos combinados, Cu y Fe, para MINZ Cc/Cv+Py. N = 47 muestras.....	73
Tabla 4.23: Matriz de correlación entre los parámetros del QemSCAN %Qz, %Arcillas y % Qz+Feldespatos, para los rangos de tamaño -53/+5 y -5/+0 um. N = 120 datos.	74
Tabla 4.24: Coeficientes de correlación entre los parámetros de liberación global (>90% y <30% diseminado, ocluido y lateral) y los parámetros mineralógicos, para los MINZ primarios Cpy/Bn+Py. N = 57 muestras.....	74
Tabla 4.25: Correlaciones entre la liberación >90% global, y las liberación <30% globales con los parámetros mineralógicos, para los MINZ Cc+Cv+Py, mezclados, Cc/Cv+Cpy/Bn+Py y primarios, Cpy/Bn+Py. N = 73 muestras.....	76
Tabla 4.26: Coeficientes de correlación entre liberación >90% y <30% (diseminado, ocluido y lateral) y los parámetros mineralógicos de QemSCAN. Se consideran solo coeficientes >0.5 en valor absoluto. Solo zonas minerales primarias Cpy/Bn+Py. N = 57 muestras.	78
Tabla 4.27: Matriz de correlación entre los parámetros de liberación globales y el tamaño de partícula promedio combinado de sulfuros de Cu, Pirita y total (combinado). N = 120 muestras.....	79
Tabla 4.28: Matriz de correlación entre parámetros de liberación globales y las asociaciones de sulfuros de Cu con Py, Arcillas, Ganga y asociación compleja. N=120 muestras.....	83
Tabla 4.29: Matriz de correlación entre las liberaciones >90% y <30% diseminado, ocluido y lateral, y los parámetros texturales de asociación con Py, Arcillas, ganga y asociación compleja, por sus rangos de tamaños de partícula. N = 120 muestras.....	85
Tabla 4.30: Coeficientes de correlación entre SPI, BWI y la liberación >90%, <30% diseminada, ocluida y lateral, global y en todos los rangos de tamaño de partícula. N = 45 datos.	93
Tabla 4.31: Resumen de litología, alteración y zona mienral de las 20 muestras de cortes transparentes/pulidos.	97

Tabla 4.32: Modo de ocurrencia de los sulfuros de mena. dis: diseminado; vet: vetilla; Datos: 20 cortes pulidos de Escondida Norte, fase 5.....	103
Tabla 4.33: Resumen de clasificación de las 20 muestras de Escondida Norte según facilidad potencial de liberación.....	104
Tabla 5.1: Categorías de alteración modificadas para las muestras de QemSCAN. N = 120 muestras.....	108
Tabla 5.2: Categorías de clasificación según MINZONE modificada. N = 120 muestras.....	109
Tabla 5.3: Correspondencia entre alteración y zona mineral para las 120 muestras del QemSCAN.....	109

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 2.1: Diagrama de clasificación de alteraciones, según temperatura y pH (Corbett, 1998).	12
Figura 2.2: Flujograma de preparación de las briquetas para análisis QemSCAN – PMA/MLA (Barraza, 2012). Nota: los rangos de tamaños son sólo referenciales a la metodología QemSCAN.	14
Figura 2.3: Imágenes texturales QemSCAN - sulfuros de Cu (rojo) con menos de 30% de superficie de liberación: izquierda - diseminado; centro - ocluido; derecha - asociación lateral. También se muestran: Qz-Feldespatos (celeste), Arcillas (café), Pirita (amarillo).	15
Figura 2.4: Valores promedio BWI para rocas promedio y minerales (Bond, 1961).	19
Figura 2.5: Ejemplos de coeficientes de correlación de Pearson	21
Figura 3.1: Ubicación del distrito Escondida, con respecto al sistema de fallas Domeyko y otros pórfidos importantes de la faja metalogénica Eoceno medio - Oligoceno temprano. (Hervé, 2012).	22
Figura 3.2: Mapa litológico, estructural e iso-leyes del yacimiento Escondida. (Hervé, 2012)	26
Figura 3.3: Sección tipo de Alteración, Escondida (Hervé, 2012).	30
Figura 3.4: Mapa litológico, estructural e iso-leyes de Escondida Norte - Zaldívar. (Hervé, 2012)	34
Figura 3.5: Sección tipo de alteración, Escondida Norte (Hervé, 2012).	35
Figura 4.1: Histogramas de los minerales índice para determinación de la alteración. Colores corresponden a alteración, según leyenda (ver tabla). N = 120 muestras.	41
Figura 4.2: Histogramas de las concentraciones modelos relativas de los sulfuros de Cu índices para la clasificación en MINZONE. Coloración según leyenda (ver tabla). N = 120 muestras.	44
Figura 4.3: Clasificación de las muestras en MINZONE según contenido modal relativo de Calcosina y Calcopirita. Coloración según MINZONE. N = 120 muestras. ...	45
Figura 4.4: Histograma del grado de liberación >90% global (% de superficie). N = 120 muestras.	47
Figura 4.5: Histograma de liberación >90% -150/+53 um. N = 120 muestras.	47
Figura 4.6: Histograma de liberación >90% -53/0 um. N = 120 muestras.	48
Figura 4.7: Histograma de liberación 90-60% global. N = 120 muestras.	49
Figura 4.8: Histograma de liberación <30% global con ocurrencia diseminada. N = 120 muestras.	49
Figura 4.9: Histograma de liberación <30% global con ocurrencia ocluida. N = 120 muestras.	50
Figura 4.10: Histograma de liberación <30% global con ocurrencia lateral. N = 120 muestras.	51

Figura 4.11: Liberación >90% global vs liberación >90% en el rango -53/0 um. N = 120 muestras.....	52
Figura 4.12: Liberación >90% global vs la suma de las liberación >90% en los rangos -150/+53 y -53/0 um.	53
Figura 4.13: Repartición porcentual de la liberación >90% global entre los distintos tamaños de partícula. N = 120 muestras.....	53
Figura 4.14: Repartición porcentual de la liberación <30% diseminada entre los distintos tamaños de partícula. N = 129 muestras.	56
Figura 4.15: Repartición porcentual de la liberación <30% ocluida entre los distintos tamaños de partícula. N = 120 muestras.	57
Figura 4.16: Repartición porcentual de la liberación <30% lateral entre los distintos tamaños de partícula. N = 120 muestras.....	58
Figura 4.17: Histograma de liberación >90% global, coloreada por alteración. N = 120 muestras.....	59
Figura 4.18: Histograma de liberación <30% global con ocurrencia diseminada, coloreada por alteración. N = 120 muestras.....	59
Figura 4.19: Histograma de liberación <30% global con ocurrencia ocluida, coloreada por alteración. N = 120 muestras.....	60
Figura 4.20: Histograma de liberación <30% global con ocurrencia lateral, coloreada por alteración. N = 120 muestras.....	60
Figura 4.21: Triángulo de repartición entre los tres tipos de liberación <30% global, de asociación diseminada, ocluida y lateral, coloreados por alteración.	61
Figura 4.22: Histograma de la liberación >90% global coloreada por MINZ. N = 120 muestras.....	62
Figura 4.23: Histograma de la liberación <30% en ocurrencia diseminada, coloreada por MINZ. N = 120 muestras.	62
Figura 4.24: Histograma de la liberación <30% global en ocurrencia ocluida, coloreada por MINZ. N = 120 muestras.	63
Figura 4.25: Histograma de la liberación <30% global en ocurrencia lateral, coloreada por MINZ. N = 120 muestras.	63
Figura 4.26: Repartición de la liberación <30% global en las tres ocurrencias: diseminado, ocluido y lateral. Colores corresponden a MINZ. N = 120 muestras.	64
Figura 4.27: Relación negativa entre liberación >90% global y contenido modal de calcosina. Coloración por MINZ. N = 120 muestras.	66
Figura 4.28: Relación negativa entre liberación >90% global y contenido modal de calcosina relativo a los otros sulfuros de mena. Coloración por MINZ. N = 120 muestras.....	66
Figura 4.29: Relación entre liberación >90% global y contenido modal de calcopirita. Coloración por MINZ. Regresión lineal por grupo de MINZ. N = 120 muestras.....	67
Figura 4.30: Boxplot de liberación por zona mineral. N = 120 muestras.....	68

Figura 4.31: Boxplot de liberación >90% global, por alteración predominante. N = 120 muestras.....	69
Figura 4.32: Relación entre liberación >90% global y Calcopirita (izquierda) y Bornita (derecha), para MINZ Cc+Py. N = 40 muestras.	72
Figura 4.33: Relación entre liberación >90% global y los parámetros %Sericita, %Qz+Feld y %Pirita, para datos del MINZ primario Cpy+-Bn+Py. N = 57 muestras.....	75
Figura 4.34: Relación entre liberación <30% global por asociación lateral y %Py, para los MINZ Cc+Cv+Py, mezclados, Cc/Cv+Cpy/Bn+Py y primarios, Cpy/Bn+Py. N = 73 muestras.....	77
Figura 4.35: Relación entre liberación >90% global y el tamaño medio de sulfuro de Cu. Datos categorizados por zona mineral. N = 120 muestras.	80
Figura 4.36: Relación entre liberación >90% global y el tamaño medio de sulfuro de Cu. Izquierda: tamaño -1000/+150 um, centro: -150/+53 um, derecha: -53/0 um. Datos categorizados por zona mineral. N = 120 muestras.....	81
Figura 4.37: Relación entre liberación <30% por asociación lateral, y el tamaño medio de sulfuro de Cu. Datos categorizados por zona mineral. N = 120 muestras.	81
Figura 4.38: Relación entre la liberación <30% lateral por rango de tamaño y tamaño de partícula combinado. N = 120 datos.	82
Figura 4.39: Relación entre la asociación de los sulfuros de Cu+Pirita y: izquierda - Liberación >90% global; derecha - liberación <30% por asociación lateral. Datos coloreados por categoría de MINZ. N = 120 muestras.....	83
Figura 4.40: Relación entre la asociación compleja de los sulfuros de Cu con: izquierda - Liberación >90% global; derecha - liberación <30% por asociación lateral. Datos coloreados por categoría de MINZ. N = 120 muestras.	84
Figura 4.41: Relación entre la liberación >90% global y: izquierda - la asociación compleja de los sulfuros de Cu en los tamaños -150/+53; derecha - asociación CuS con Pirita en el tamaño -53/0 um. Datos coloreados por MINZ. N = 120 muestras.....	85
Figura 4.42: Triángulo de repartición de la asociación de los sulfuros de Cu con Py, Arcillas y mxs de ganga. Color por MINZ. N = 120 datos.....	86
Figura 4.43: Triángulo de repartición de la asociación de los sulfuros de Cu con Py, Arcillas y asociación compleja. Color por MINZ. N = 120 datos.....	87
Figura 4.44: Triángulo de repartición de la asociación de los sulfuros de Cu con Py, Arcillas y mxs de ganga. Color por Alteración. N = 120 datos	88
Figura 4.45: Triángulo de repartición de la asociación de los sulfuros de Cu con Py, Arcillas y asociación compleja. Color por MINZ. N = 120 datos.....	88
Figura 4.46: Relación entre porcentaje de Pirita y asociación de sulfuros de Cu con Py. Color por alteración. Correlación del R = 0.95. N = 120 datos.	89
Figura 4.47: Relación entre porcentaje de Pirita y asociación de sulfuros de Cu con Py. Alteraciones potásicas. Correlación del R = 0.95. N = 19 datos.....	89
Figura 4.48: Relación entre porcentaje de Pirita y asociación de sulfuros de Cu con Py. Colores por MINZ. Correlación del R = 0.95. N = 19 datos.	90

Figura 4.49: Relación entre la asociación compleja entre sulfuros de Cu y el contenido modal de Qz+Feldspatos. Colores por MINZ. N = 120 muestras.....	91
Figura 4.50: Bond Work Index (BWI) vs SAG Power Index (SPI). 5316 datos.....	92
Figura 4.51: Liberación >90% global, y liberación <30% global con asociación diseminada, ocluida y lateral, en relación con SAG Power Index (SPI). Datos coloreados por MINZ.....	94
Figura 4.52: Liberación >90% global, y liberación <30% global con asociación diseminada, ocluida y lateral, en relación con Bond Work Index (BWI). Datos coloreados por MINZ.....	95
Figura 4.53: Relación entre liberación <30% por oclusión y Bond Work Index. N = 45 muestras.....	96
Figura 4.54: Andesita con intensa alteración filica de cuarzo-sericita. Muestra EN-0115.	98
Figura 4.55: Pórfido feldespático con alteración cuarzo-sericítica, con buen desarrollo de cristales de muscovita. Muestra EN-0107.	99
Figura 4.56: Pórfido feldespático con alteración cuarzo-sericítica y posterior argilización moderada, especialmente en halos de vetillas. Muestra EN-0110.....	99
Figura 4.57: Pórfido feldespático con alteración potásica de biotita fina diseminada y feldespato potásico diseminado y en vetillas. Muestra EN-0111.....	100
Figura 4.58: Mineral relicto de biotita reemplazado por clorita y posteriormente por sericita. Muestra EN-114.....	100
Figura 4.59: Albitización selectiva en fenocristales de plagioclasa. Muestra EN-114.	101
Figura 4.60: Ejemplos del grupo de liberación potencial fácil. Arriba: sulfuros (Cpy) diseminados – izquierda EN-0108, derecha EN-0109. Abajo: sulfuros (Cpy) en vetillas – izquierda- EN-0102, derecha – EN-0108.	105
Figura 4.61: Ejemplos del grupo de liberación potencial difícil. Arriba izquierda: Cpy diseminada fina – EN-0107; arriba derecha: cpy diseminada fina – EN-0114; abajo izquierda: Cpy diseminada fina, con o sin asociación a Hm – EN-0102; abajo derecha: Cpy diseminada asociada a Py y arcillas – EN-0105.	106
Figura 4.62: Ejemplos no clasificados para facilidad de liberación. Izquierda: Calcopirita +- Cv-Dig sobrecrecidos a Pirita – EN-0104. Derecha: Calcopirita sobrecrecida y ocluida por Py – EN-0105.	107
Figura 5.1: Boxplot de liberación por zona mineral. N = 120 muestras.....	112
Figura 5.2: Relación entre liberación >90% global y el tamaño medio de sulfuro de Cu. Datos categorizados por zona mineral. N = 120 muestras.	113
Figura 5.3: Triángulo de repartición de la asociación de los sulfuros de Cu con Py, Arcillas y asociación compleja. Color por MINZ. N = 120 datos.	115
Figura 5.4: Relación entre liberación <30% por asociación lateral, y el tamaño medio de sulfuro de Cu. Datos categorizados por zona mineral. N = 120 muestras..	117

TABLAS DE ABREVIACIONES

Tabla i: Tabla de abreviaciones minerales.

Mineral	Abreviación
Albita	Ab
Alunita	Al
Arcilla	Arc
Biotita	Bt
Clorita	Chl
Cuarzo	Qz
Feldespato	Feld
Feldespato Potásico	Feld-K
Hornblenda	Hbl
Muscovita	Mus
Pirofilita	Pyr
Piroxeno	Px
Plagioclasa	Plg
Sericita	Ser

Tabla ii: Abreviaciones de parámetros QemSCAN.

Parámetro QemSCAN	Abreviación
Liberación >90%	Lib90
Liberación <30% por diseminación	Libdis
Liberación <30% por oclusión	Libocc
Liberación <30% por asociación lateral	Liblat
%w Qz en sección	%Qz
%w Feld-K en sección	%FdK
%w Ser en sección	%Ser
%w Kao en sección	%Kao
%w Bt en sección	%Bt
%w Chl en sección	%Chl
%w Ar en sección	%Ar
%w Qz+Feldespatos en sección	%Qz+F
%w sulfuros de Cu en sección	%Cu sulf
%w Py en sección	%Py
Tamaño medio de partícula de sulfuros de Cu	PSCu
Tamaño medio de partícula de Py	PSPy
Tamaño medio de partícula medio	PSP
% de sulfuros de Cu asociados a Py	CuS+Py
% de sulfuros de Cu asociados a Arcillas	CuS+Ar
% de sulfuros de Cu asociados a Ganga	CuS+Gng
% de sulfuros de Cu con asociación compleja	CuSComplex

1 Introducción

1.1 Formulación del problema

El proceso de flotación representa uno de los principales cuellos de botella en el procesamiento mineral de minera Escondida. Este proceso se realiza en las plantas concentradoras "Laguna Seca" y "Los Colorados", mediante molinos SAG y molinos de bola. Este cuello de botella se agravó con la expansión de las operaciones al comienzo de la extracción en Escondida Norte el año 2005. Debido a esto, la optimización de las líneas de procesamiento es vital, tanto para el "throughput" final, como para la optimización de la energía e insumos en el proceso.

La flotación permite la separación físico-química de las fases minerales sulfuradas, mediante la adhesión selectiva de partículas a burbujas de aire. Esto se logra mediante la adición de reactivos químicos al sistema, que le proporcionan las propiedades hidrofóbicas a la mena e hidrofílicas a la ganga, para finalmente lograr la separación y estabilizar la espuma en la superficie.

Para optimizar la recuperación de este proceso, es necesario determinar con precisión el tamaño de partícula y grado de liberación óptimos, lo que es determinado por el proceso de conminución en planta.

En una planta de tratamiento típica de pórfidos cupríferos, la energía requerida para la conminución del material oscila entre un 40 y 60% de la energía total lo que se traduce en un costo en torno al 50% del costo total del procesamiento mineral. En el caso de Minera Escondida y Escondida Norte, la molienda se hace a través de circuitos de molinos, que incluyen: Molinos de Bolas, Molinos Semi-Autógenos (SAG) y Molinos Autógenos.

Para predecir el consumo de energía de estos molinos y ayudar a optimizar el diseño de los circuitos de molienda se han estandarizado varios ensayos, como: Bond Work Index (BW_{BI} : Ball Mill, BW_{RI} : Rod Mill - Bond, 1952) y SAG Power Index (SPI – Starkey et al., 1996) – todos basados en pruebas empíricas de molienda a escala.

El presente estudio se enfoca en determinar la relación entre el grado de liberación de los minerales sulfurados y los datos mineralógicos, texturales y geomecánicos de la roca. Esto permitiría optimizar el consumo energético y tiempo de la conminución, con el objetivo de obtener el tamaño de partícula y grado de liberación óptimos para la flotación, y además mejorar las predicciones de recuperación.

Los datos dispuestos son:

- 120 ensayos QemSCAN con el porcentaje de partículas entre rangos porcentuales de liberación, la mineralogía modal, el tamaño de partículas de Cu, Py y total, y el porcentaje de sulfuros en asociación con otros sulfuros o ganga. Todos estos datos están subdivididos por rangos de tamaños.
- Moliendabilidad del material - ensayos SPI (SAG Power Index) y BWI (Bond Work Index).
- 20 cortes transparentes y sus pulidos correspondientes de Escondida Norte.

El estudio está enfocado en determinar los parámetros dominantes que controlan el grado de liberación para los minerales de mena de Cu.

1.2 Hipótesis de Trabajo

- Frente una molienda de granulometría dada, el grado de liberación de los sulfuros de Cu depende de sus características mineralógicas y texturales: el tipo de sulfuro, el tamaño, la forma y las relaciones de borde con los minerales adyacentes.
- Tanto la mineralogía, como los parámetros texturales están estrechamente relacionados con la metalogénesis que originó los sulfuros en cuestión. Con esto, la litología, la alteración, la zona mineral y la descripción petrográfica y calcográfica pueden ayudar a definir dominios de comportamiento mineral frente a la molienda.

- La dureza mineral, cuantificada a través de ensayos SPI (SAG Power Index) y BWI (Bond Work Index) pueden reflejar indirectamente las características texturales de la roca, por lo que pueden ser predictivos para el grado de liberación.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivos Generales

- Relacionar el grado de liberación de sulfuros de Cu con los datos mineralógicos y texturales de QemSCAN, los datos de dureza, BWI y SPI, y la descripción mineralógica y textural de los cortes transparentes y pulidos disponibles.

1.3.2 Objetivos específicos

- Clasificar las 120 muestras QemSCAN en grupos de alteración y zona mineral.
- Correlacionar los datos de liberación de QemSCAN entre sí.
- Correlacionar los datos de liberación con los datos mineralógicos del QemSCAN, de forma general como por grupos de alteración y zona mineral.
- Correlacionar los datos de liberación con los datos texturales del QemSCAN, de forma general, como por grupos de alteración y zona mineral.
- Cruzar los datos de QemSCAN con los ensayos metalúrgicos de dureza SPI, BWI, y correlacionarlos.
- Describir los 20 cortes transparentes y pulidos de Escondida Norte, y proponer los parámetros texturales importantes en la liberación para su clasificación.

- Discutir y concluir cuáles son los parámetros dominantes que controlan el grado de liberación de las partículas sulfuradas de Cu.

1.4 Alcances del trabajo

El presente estudio se desarrolla en el laboratorio “Advanced Laboratory for Geostatistical Supercomputing” (ALGES), dentro de las dependencias del “Advanced Mining Technology Center” (AMTC), y es financiado por Minera Escondida, a través del laboratorio ALGES, y CONICYT – Magíster Nacional 2014.

El estudio pretende determinar la relación entre el grado de liberación de los minerales sulfurados y los parámetros geológicos, geometalúrgicos y texturales de la roca. Se determinarán los parámetros dominantes y se analizarán sus interacciones. Esto puede servir para optimizar los circuitos de conminución y predecir la posterior recuperación en la flotación.

1.5 Metodología

1.5.1 Investigación bibliográfica

- Búsqueda de información acerca de metodologías para la obtención de datos: mapeo, ensayos geotécnicos y geometalúrgicos de dureza.
- Selección de publicaciones científicas y reportes técnicos, acerca de correlaciones entre tamaño de partícula y/o grado de liberación, y parámetros geológicos y geotécnicos.

1.5.2 Análisis exploratorio de datos

- Obtención, revisión e integración de las bases de datos proporcionadas por el área metalurgia de Minera Escondida: mapeo geológico (litología, alteración, zona mineral), dureza de la roca (SPI, BWI) y las leyes.
- Análisis estadístico de las base de datos proporcionadas: histogramas, diagramas de caja, matriz de correlación, análisis de componentes principales, etc.

- Inferencia de los parámetros de mayor impacto en el grado de liberación de los sulfuros de Cu, y definición de las necesidades para el estudio textural.

1.5.3 Análisis mineralógico y textural en cortes transparentes y pulidos

- Selección de los parámetros mineralógicos y texturales a evaluar, como: tipo de sulfuro, porcentaje, tamaño y forma de grano (cristal) y de poblaciones de granos, relación de contacto entre granos, fábrica, texturas, etc. Se dará prioridad a los parámetros con mayor importancia inferida a partir del estudio exploratorio.
- Análisis de cortes transparentes y pulidos de Escondida Norte en los laboratorios de la Universidad de Chile.

1.5.4 Análisis estadístico

- Análisis estadístico y multivariante de todos los datos, definidos a partir del análisis exploratorio y el análisis textural.
- Búsqueda de relaciones entre variables mediante correlaciones y diagramas de cajas y gráficos. Búsqueda por sub-grupos mediante parámetros categóricos como alteración y zona mineral. Cuantificación de las dependencias y relaciones encontradas.

1.6 Estado del arte

El procesamiento mineral se ha convertido en un foco de intensa investigación en la última década. Hasta ahora, el MLA (Mineral Liberation Analyser) y el QemSCAN son las soluciones más populares, debido al uso de análisis óptico de alta resolución, combinado con identificación de fases con Rayos-X. Sin embargo, dado a su alto costo y la no-aditividad de los parámetros de liberación, un método de bajo costo de estimación se ha mantenido esquivo. Un estudio de cuantificación textural para liberación se detalla a continuación:

1.6.1 Caracterizando la liberación de calcopirita y su potencial de flotación: ejemplos de un depósito IOCG

(Characterizing chalcopirite liberation and flotation potential: Examples from an IOCG deposit - Hunt, J., Berry, R., Bradshaw, D., 2011, Mineral Engineering)

El objetivo del estudio es estimar la liberación potencial de la calcopirita, a través de fotografías de microscopía óptica y posterior uso de algoritmos de simulación de fracturamiento.

Se usan 96 muestras de medio-testigo de 2 m, fracturados a un tamaño de partícula de +0.6 mm, 5 veces mayor a la partícula de calcopirita promedio, y se distribuyen en plaquetas. Se toman fotografías mediante microscopio óptico con luz polarizada y se identifican las fases automáticamente mediante el software Dafiniens Developer 7. Luego se usan algoritmos de fracturamiento simulado del mismo software, con grilla cuadrada de distintos tamaños, para hacer una estadística de los parámetros considerados. Estos son: ancho y largo del mineral de calcopirita, área del mineral relativa al tamaño de la grilla +- una constante para ajuste, y la proporción de calcopirita en el fragmento considerado.

Las predicciones del grado de liberación logradas en el estudio alcanzan una predicción con hasta $R^2 \approx 0.95$, comparados con los métodos de MLA (Mineral Liberation Análisis), que han sido el estándar hasta ahora. Sin embargo, se espera que con la masificación de la nueva metodología, los costos sean mucho inferiores a los del MLA.

Los autores concluyen que hay gran variabilidad en las muestras de baja ley, mientras que las de mayor ley se correlacionan mejor con los ensayos MLA. El esperado bajo costo del método permitiría que este se aplique a gran escala, clasificando las muestras en grados de liberación potencial, y generando información de buena densidad para ser usada en los modelos de bloques para geometalúrgia (Hunt, 2011).

2 Marco Teórico

2.1 Modelo de los pórfidos cupríferos

Alrededor del 60% de la producción de Cu en el mundo proviene de depósitos de pórfidos cupríferos. Estos depósitos son, además, una gran fuente de Mo, Au y Ag. A pesar de una ley promedio del 0.44% (depósitos de pórfido cuprífero explotados en 2008), los pórfidos cupríferos cobran el grado de su importancia por su enorme tamaño (generalmente en el rango 100-1000 Mt) y la alta longevidad de sus proyectos.

Los pórfidos cupríferos son depósitos de minerales de Cu \pm Mo \pm Au, de ocurrencia diseminada, en vetillas, en brechas o en relleno, relativamente bien distribuidos en un gran volumen de roca (>100 Mt), de ley media entre 0.3-2.0% Cu. La roca huésped consiste en granitoides, y estos se relacionan genéticamente con la alteración y la mineralización.

2.1.1 Contexto geo-tectónico de emplazamiento

Los pórfidos cupríferos ocurren en diversos ambientes geo-tectónicos, pero en su mayoría, respetan una relación espacial y temporal con la evolución de arco magmático en contexto de subducción de corteza oceánica debajo de una corteza continental engrosada, y magmatismo calco-alcalino, generando granitoides hidratados y oxidados en la corteza superior.

En la mayoría de los casos, en el momento del emplazamiento hay evidencias de un régimen de compresión o transpresión. Algunos autores sugieren que muchos depósitos de pórfidos cupríferos se formaron en períodos extraordinarios de la subducción, como por ejemplo, en subducción plana causada por subducción de estructuras con mayor flotabilidad, como dorsales, plateaus oceánicos o cadenas de montes submarinos. En estos períodos de relajación del esfuerzo compresional, fallas transtensionales e incluso débilmente extensionales, han permitido la intrusión de los enormes pórfidos (John, 2010).

Los sistemas de pórfidos cupríferos se desarrollan a paleo-profundidades del orden de 5-10 km, en la corteza superior. Dado que el contexto es de subducción, es

un ambiente tectónicamente inestable, con altas tasas de erosión, lo que explica que más del 90% de los pórfidos cupríferos tengan una edad Cenozoica a Mesozoica.

Los magmas son hidratados, de composición intermedia a félsica, con lo que el contraste de densidad con la roca circundante aporta una flotabilidad hasta la corteza superior, donde, al disminuir la diferencia de densidad, el magma se acumula y forma plutones o batolitos. A medida que el magma se enfría y cristaliza, fluidos magmáticos son exsolvidos. Por lo general, los pórfidos cupríferos se asocian a las etapas tardías de la evolución magmática.

Los pórfidos cupríferos se caracterizan, mayormente, por estar en zonas de alta densidad de fracturas. El ascenso es preferentemente por estructuras pre-existentes, e incluso por lugares de intersección de estructuras, mientras que la intrusión misma y su posterior cristalización causan fracturamiento adicional. Como las intrusiones son preferentemente de forma de diques laminares y de alto ángulo, se estipula que las condiciones de esfuerzo han sido de dos componentes horizontales notoriamente distintos (John, 2010).

2.1.2 Caracterización de la zona hipógena

Si la roca huésped es de origen intrusivo o volcánico, esta consiste principalmente de minerales primarios de Qz, Plg, Feld-K, Anf, micas, Px y minerales accesorios (Rutilo/Ilmenita, Apatito, Zircón). Casualmente puede tener feldespatoides, carbonatos y vidrio. Si la roca huésped es de origen sedimentario, esta puede contener minerales primarios de Cal, Dol, Arc, material orgánico, sulfato, sulfuros, Qz, Feld, micas, minerales Fe-Mg y fragmentos de rocas.

2.1.3 Alteración hidrotermal

La alteración hidrotermal es un proceso metasomático que cambia la composición geoquímica, mineralógica y textura de las rocas de un sistema de pórfido cuprífero, por la acción de interacción agua-roca entre los fluidos hidrotermales y la roca.

Entre los procesos que la caracterizan se encuentran: metasomatismo de álcalis, reacciones hidrolíticas (acidificación), óxido-reducción (sulfidización), reacciones de hidratación y carbonización, y precipitación por insolubilidad. Estos procesos afectan

tanto la roca huésped, como la roca caja de la intrusión y puede extenderse por varios kilómetros vertical y lateralmente, y son zonados temporal y espacialmente (John, 2010).

Las alteraciones hidrotermales dejan como evidencias asociaciones minerales (ganga y/o mena) específicas, a partir de los cuales se puede interpretar las características del fluido hidrotermal causante, si adicionalmente se dispone de las asociaciones minerales y la secuencia paragenética entre ellas. Esto es importante porque los fluidos hidrotermales son también los responsables del transporte y precipitación de los minerales de interés económico (Townley, 2006).

2.1.3.1 Fluidos hidrotermales

Los fluidos hidrotermales son el motor de la alteración y mineralización en pórfidos cupríferos. Estos pueden ser de origen magmático o meteórico, aunque la mayoría de los fluidos son de origen magmático (Giggenbach, 1997), y son los responsables de transportar iones en solución, que originan el metasomatismo y precipitación de minerales.

La solubilidad del agua depende de la composición del magma (magmas más félsicos tienen mayor solubilidad, en igualdad de condiciones), su temperatura (mayor temperatura significa menor solubilidad) y su presión (mayor presión significa mayor solubilidad), siendo el factor más importante la presión, considerando la composición relativamente constante. La partición de una fase líquida, por la pérdida de solubilidad por cambio en los parámetros P, T del magma se denomina “primera ebullición”.

La exsolución de agua (fase vapor y agua), durante el proceso de cristalización del magma y sin disminución de presión (proceso adiabático) es aún más violento y eficiente, y se denomina “segunda ebullición”. Esta separación masiva de la fase hidrotermal secuestra metales antes de su entrada en la estructura de la roca (microinclusiones en sulfuros primarios o estructura cristalina). Los parámetros importante para la eficiencia de extracción de metales al momento de la segunda ebullición como: presión, temperatura, velocidad y tipo de emplazamiento y velocidad y porcentaje de cristalización (Townley, 2006).

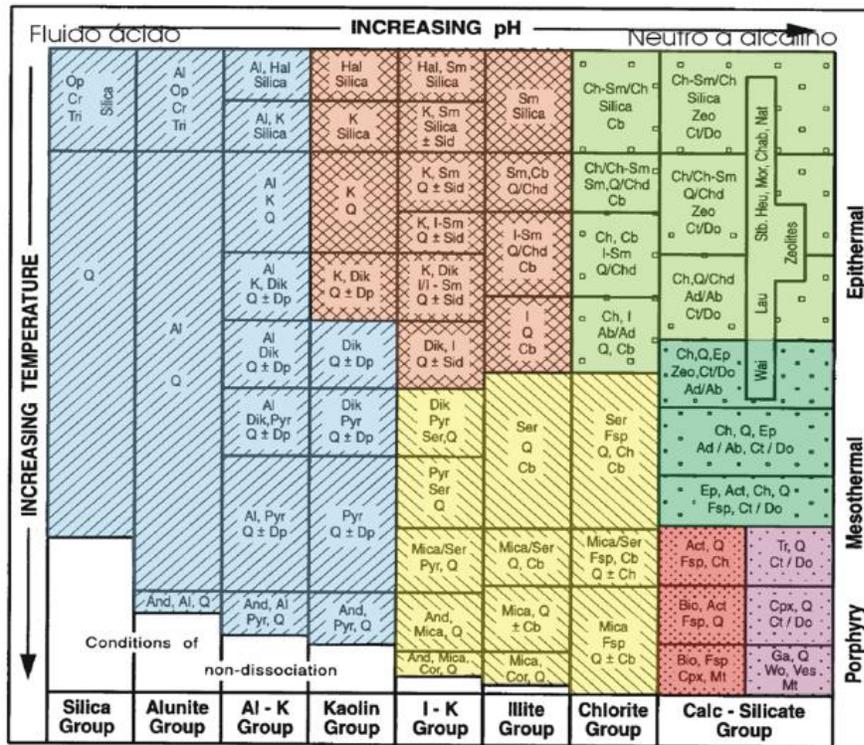
2.1.3.2 Tipos de alteración hidrotermal

El tipo e intensidad de alteración depende de factores como la composición del fluido hidrotermal, composición de la roca huésped, temperatura, pH, Eh, razón agua/roca y el tiempo de interacción entre estos. Estas son (Townley, 2006):

- Alteración Potásica: Feld-K y/o Bt \pm (Qz, Mt, Ser, Chl, Act, Py). Ocurre por reemplazo metasomático (alteración selectiva y penetrativa) de Hbl por Bt temprano (400-800°C), Bt en vetillas (350-400°C) y vetillas de Feld-K (300-350°C). Esto indica la transición desde un metamorfismo de contacto hasta alteración hidrotermal convectiva, asociada a la exsolución y circulación de fluidos hidrotermales. pH neutro a alcalino.
- Alteración Propilítica: Chl-Ep \pm (Qz, Mt, Illita, Ab, Cal, Act, Py). Ocurre halo gradacional y distal de una alteración potásica, variando desde Act-Bt en el contacto, hacia Act-Ep en el lado propilítico y distalmente a Ep-Chl-Ab-Carb. Temperatura entre 200-250°C, pH neutro a alcalino. Act (280-300°C).
- Alteración Cuarzo-Sericita: Qz-Ser \pm (Chl, Illita, Py). Temperatura > 250°C, pH 5-6. En temperaturas más bajas puede darse Illita (200-250°C) y Illita-Smectita (100-200°C). En temperaturas > 450°C pueden aparecer Corindón y Ser-Andalusita. pH = 5-6.
- Alteración Argílica Moderada: Arc (Kao) \pm (Qz). Kao (150-300°C), Pirofilita (T > 300°C). En el rango transicional de pH 3-4 puede aparecer Al. pH 4-5.
- Alteración Argílica Avanzada: Qz oqueroso \pm (Al, Jar, Kao, Pirofilita, Py). Amplio rango de temperatura. pH 1-3.5. A temperaturas > 350°C puede aparecer And-Qz. pH < 2 domina Qz, mientras que con pH > 2 domina Al.
- Albitización: Ab \pm (Act). Reemplazo selectivo de Plg. Asociada a la alteración propilítica. Es interpretada como una alteración temprana y profunda durante etapas tardías de cristalización de un magma.

- Carbonitización: Cal/Dol-Ankerita-Siderita ± (Ser, Ab, Py). Amplio rango de T y pH.
- Alteración calco-silicatada (skarn): silicatos de Ca o Mg, dependiendo de roca huésped (caliza o dolomita, respectivamente). Caliza: Grt, Andradita, Grosularia, Wollastonita, Ep, Diópsido, Idocrasa, Chl, Act. Dolomita: Forsterita, Ser, Talco, Tremolita, Chl. pH neutro a alcalino.
- Alteración tipo Greissen: Mus (grano grueso)-Feld-Qz ± (Topacio, Turmalina). Asociada a fases pneumatolíticas en rocas graníticas. Temperaturas > 250°C.

Las condiciones de temperatura y pH pueden ser visualizados con facilidad en el diagrama de la Figura 2.1 (Corbett, 1998):



Mineral Abbreviations :

Ab - albite; Act - actinolite; Ad - adularia; Al - alunite; And - andalusite; Bio - biotite; Cb - carbonate (Ca, Mg, Mn, Fe); Ch - chlorite; Chab - chabazite; Chd - chalcedony; Ch-Sm - chlorite-smectite; Cor - corundum; Cpx - clinopyroxene; Cr - cristobalite; Ct - calcite; Do - dolomite; Dik - dickite; Dp - diaspore; Ep - epidote; Fsp - feldspar; Ga - garnet; Hal - halloysite; Heu - heulandite; I - illite; I-Sm - illite-smectite; K - kaolinite; Lau - laumontite; Mt - magnetite; Mor - mordenite; Nat - natrolite; Op - opaline silica; Pyr - pyrophyllite; Q - quartz; Ser - sericite; Sid - siderite; Sm - smectite; Stb - stilbite; Tr - tremolite; Tri - tridymite; Ves - vesuvianite; Wai - wairakite; Wo - wollastonite; Zeo - zeolite

- Potassic
- Propylitic
- Outer / Sub Propylitic
- Skarn
- Argillic
- Advanced Argillic
- Phyllic

Figura 2.1: Diagrama de clasificación de alteraciones, según temperatura y pH (Corbett, 1998).

2.1.4 Transporte y precipitación de metales

El transporte de los metales ocurre mediante la fase hidrotermal particionada, hasta encontrar las condiciones adecuadas para la precipitación.

Los metales se encuentran en concentraciones traza, en solución y en forma de complejos metálicos, siendo los ligantes más importantes el Cl⁻, HS⁻, NH₃, OH⁻ y CH₃COO⁻ entre otros. El Cl⁻ es el ligante más abundante y por lo general, el mayor formador de complejos.

La precipitación ocurre cuando el fluido pierde solubilidad o cuando se desestabilizan los complejos, debido a cambios de las condiciones del ambiente hidrotermal.

Los fluidos hidrotermales tienen como electrolito dominante al NaCl \pm (KCl, Ca). Los fluidos de origen magmático, tienen salinidades altas de hasta más de 50% NaCl equivalente, aunque puede ser más bajo por disolución o por la partición de la fase vapor y condensación. El Eh suele ser bajo, mientras que el pH es cercano a neutro.

2.2 Caracterización mineralógica: QemSCAN

QemSCAN® (Quantitative Evaluation of Minerals by Scanning Electron Microscopy) es una herramienta automatizada, que integra resultados mineralógicos y petrográficos para rocas, aunque también se usa para minerales por separado y otros materiales artificiales. Integra un microscopio electrónico (SEM) con cuatro sensores de rayos X de elementos ligeros (EDS).

El QemSCAN de Minera Escondida se hace en el Centro Mineralogía Antofagasta (CMA), con la modalidad MLA (Mineral Liberation Analysis), ideal para el análisis de moliendabilidad y flotación (Barraza, 2012). Esta modalidad consiste en la obtención de una imagen BEI (Backscattered-Electron Image) en dos dimensiones, para determinar el perímetro, el área y la posición planar de cada partícula sobre la briqueta. La identificación mineral se hace a partir de los sensores EDX (Energy-Dispersive X-ray), en comparación con una base de datos de espectros conocidos (Gottlieb, 2000).

La preparación consiste de una molienda inicial, mediante molino de barras a escala, para un tamaño P80 -150 μm . Luego, se separa la fracción +53 μm , que es tamizada a 3 tamaños: -1000/+150, -150/+53 y -53/+5 μm . La fracción residual -53 μm , se junta con la fracción de la separación inicial, también -53 μm y conforma un 4to tamaño. El flujograma puede ser observado en el diagrama de la Figura 2.2.

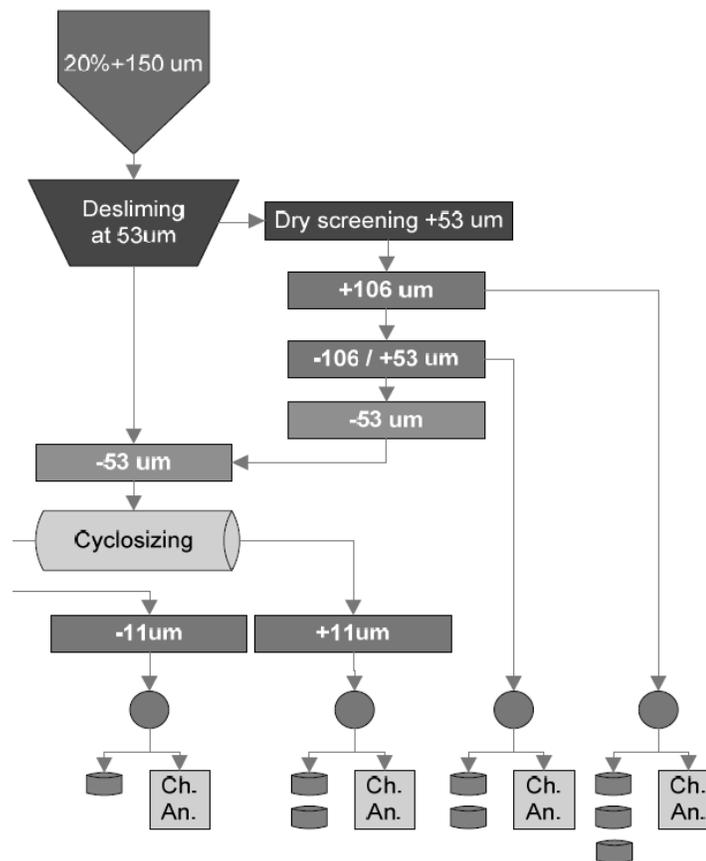


Figura 2.2: Flujograma de preparación de las briquetas para análisis QemSCAN – PMA/MLA (Barraza, 2012). Nota: los rangos de tamaños son sólo referenciales a la metodología QemSCAN.

Finalmente, la muestra (briqueta) debe ser estable en condiciones cercanas al vacío, y se sitúa sobre una superficie idealmente plana, cubierta por una fina capa con propiedades de conductividad eléctrica (por ejemplo, carbón).

Los algoritmos de búsqueda de partículas del QemSCAN, además de caracterizar las especies minerales y agruparlos en tamaños, permiten distinguir la liberación defectuosa <30% en: ocluida - cuando la partícula de Cu está totalmente incluida en otra especie(s) mineral(es), diseminada – cuando las partículas de Cu están insertas en otro mineral, y asociadas lateralmente – cuando las partículas de Cu están asociadas literalmente a otras especies (Figura 2.3: Imágenes texturales QemSCAN - sulfuros de Cu (rojo) con menos de 30% de superficie de liberación: izquierda - diseminado; centro - ocluido; derecha - asociación lateral. Figura 2.3).



Figura 2.3: Imágenes texturales QemSCAN - sulfuros de Cu (rojo) con menos de 30% de superficie de liberación: izquierda - diseminado; centro - ocluido; derecha - asociación lateral. También se muestran: Qz-Feldspatos (celeste), Arcillas (café), Pirita (amarillo).

2.3 Ensayos geometalúrgicos de moliendabilidad

Los ensayos geometalúrgicos de moliendabilidad nacen de las necesidades de predicción del comportamiento en molienda del procesamiento mineral, con el objetivo de optimizar los circuitos de conminución. Anterior a la aparición de estos ensayos a escala, determinar la moliendabilidad requería de pruebas a escala de los molinos existentes, lo que se traducía en un gran volumen de roca. Como consecuencia de esto, los estudios eran de pocas muestras, altos costos y baja representatividad.

Los molinos de bola y los molinos autógenos y semi-autógenos son los de mayor uso en la minería del Cobre. La correcta combinación de estos dos tipos de molinos, en cuanto a tamaño del molino y tamaño de transferencia de la roca de uno al otro pueden disminuir en gran medida la energía y finalmente los costos de molienda (Starkey J. , 1997).

Para estimar el consumo energético de estos molinos se han desarrollados ensayos estandarizados de molienda a escala: SAG Power Index (SPI) – para molinos semi-autógenos y Bond Work Index (BWI) – para molinos de bolas.

2.3.1 Ensayo SAG Power Index (SPI)

El ensayo estandarizado SAG Power Index (SPI) es un ensayo de moliendabilidad a escala, implementado por MinnovEX y calibrado para predecir el comportamiento geo-metalúrgico de las rocas objetivo en etapas de conminución en molinos semi-autógenos (Starkey J. D., 1994).

Los parámetros del ensayo SPI (Starkey J. D., 1996; Starkey J. , 1997) son:

- Tamaño del Molino SAG: 30.5 cm de diámetro por 10.2 cm de largo (D:L = 1:3).
- Carga de bolas: 2.5 cm de diámetro (15% v/v).
- Carga de material: 2 kg de roca seca 80% pasando 12.7 mm (1/2”) y 100% pasando 19 mm (3/4”) (15% v/v).
- Producto: 80% pasando #10 (1.7 mm).
- Procedimiento: se muele (en seco) el material hasta que el 80% pase la grilla 10 mesh (1.7 mm). Esto se hace por fases (batch test), aumentando el tiempo, hasta que logra interpolarse el tiempo para lograr el P_{80} pasando 10 mesh. Se reporta el tiempo en minutos requerido para lograr la reducción objetivo.

El tiempo determinado por el ensayo tiene una correlación lineal con la energía necesaria para reducción a #10 de un molino SAG en la planta (Starkey J. D., 1996):

$$SPI (kWh/t) = 0.11 T + 0.9$$

Para otros tamaños de producto (P_{80}) se aplica un factor de tamaño a la relación lineal, obteniendo una correlación de 0.94:

$$SPI (kWh/t) = P_{80}^{0.33}(2.2 + 0.1 T)$$

P_{80} es el tamaño del 80% del material producto en la planta y T es el tiempo en (min) que demoró la reducción en el laboratorio hasta el tamaño de producto objetivo.

Sin embargo, en la misma publicación, el autor reconoce que esta relación falla cuando la roca es dura (baja moliendabilidad).

Adicionalmente, el autor comenta que después de terminar el ensayo, el análisis granulométrico acumulativo muestra que hay muy poco material entre 6 mesh (3.35 mm) y 20 mesh (0.85 mm). Esto indica que después del ensayo, la roca se segrega en dos partes: una parte que circula, sin desmenuzarse, mayor a 6 mesh, y otra menor a

20 mesh que denomina “trituración natural de la roca”. Para el cálculo de esta trituración (o desmenuzado) natural, propone el criterio del 80% del P_{80} , o en otras palabras el P_{64} . El P_{64} para rocas “blandas” ($SPI < 60$) está típicamente en el rango $[400, 800]$ μm , mientras que para rocas “duras” ($SPI > 60$), está en el rango $[200, 500]$ μm , con éstas últimas requiriendo mayor tiempo total de molienda. Starkey et al. (1997) explica, además que esto se debe a que las rocas se abrazan con mayor dificultad a menor tamaño de grano, con lo que requieren mayor energía de molienda para la reducción hasta P_{80} menor a 10 mesh.

El error asociado del SPI es de ± 15 (min) (com. verbal, Casali, A., 2014).

2.3.2 Ensayo Bond Work Index (BWI)

El ensayo estandarizado Bond Work Index (BWI) es un ensayo de moliendabilidad a escala, calibrado para estimar la energía de molienda en los molinos de bola en la planta, para la reducción de tamaño de una tonelada corta del material, desde tamaño infinito hasta el 80% pasando 100 μm . Se realiza con los siguientes parámetros estándar (Bond, 1961):

- Tamaño del molino: 30.48 cm de diámetro y 30.48 cm de largo.
- Velocidad del molino: 70 rpm.
- Carga de bolas: un total de 21.125 kg, con los tamaños y cantidad especificados en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1: Carga de bolas para el test estandarizado Bond Work Index (Bond, 1961):

Diámetro (")	N° de bolas
1.45	43
1.17	67
1.00	10
0.75	71
0.61	94
Total:	285

- Carga de material: 10 kg de roca pasando 6 mesh (3.35 mm) – preparado por trituración del material hasta el tamaño adecuado de 6 mesh.

- Producto: P_{80} dependiendo de las necesidades de la minera, típicamente (65-270 mesh).
- Procedimiento: el ensayo se ejecuta en ciclo-cerrado, con una carga en circulación del 250%, hasta alcanzar el estado estacionario, respecto a la reposición de mineral fresco.

El índice se calcula a partir de la ecuación:

$$BWI \left(\frac{kWh}{t} \right) = 1.1 \cdot \frac{44.5}{P_i^{0.23} \cdot G_{pr}^{0.822} \cdot \left(\frac{10}{\sqrt{P_{80}}} - \frac{10}{\sqrt{F_{80}}} \right)}$$

Donde P_i es la malla de salida (μm), G_{pr} son los gramos de producto nuevo por ciclo, P_{80} y F_{80} son los tamaños del 80% del producto y entrada respectivamente.

Para la reducción de tamaño del material se establecen 3 dominios, que dependen naturalmente de características de la roca distinta. Para la reducción de roca del material más grueso (reducción de 100 mm a 10 mm) el parámetro principal es el fracturamiento de la roca y se mide por el Bond Work Crushing Index (BW_{cl}). Para la reducción de roca de tamaño medio (reducción de 10 mm a 2100 μm), el parámetro principal es la característica de la matriz y se mide mediante el Bond Work Rod Index (BW_{rl}). Por último, para el material más fino (reducción de 2100 μm a 100 μm) la medición se hace a través del Bond Work Ball Mill Index (BW_{bl} : referido en este estudio como “BWI”), y el factor dominante es la característica de los granos minerales (Doll, 2013).

En la Tabla 2.2 y la Figura 2.4 se muestran algunos valores promedio del ensayo Bond Work Index para rocas y minerales seleccionados.

Tabla 2.2: Valores promedio BWI para rocas promedio y minerales (Bond, 1961)

Material	BWI (kWh/t)
Barita	7.6
Arcilla	8.6
Dolomita	13.7
Carbón mineral	13.8
Caliza	14.1
Feldespato	14.2
Cuarzo	15.5
Mineral de Cu	15.9
Granito	17.4
Mineral de Fe	18.7
Basalto	24.7

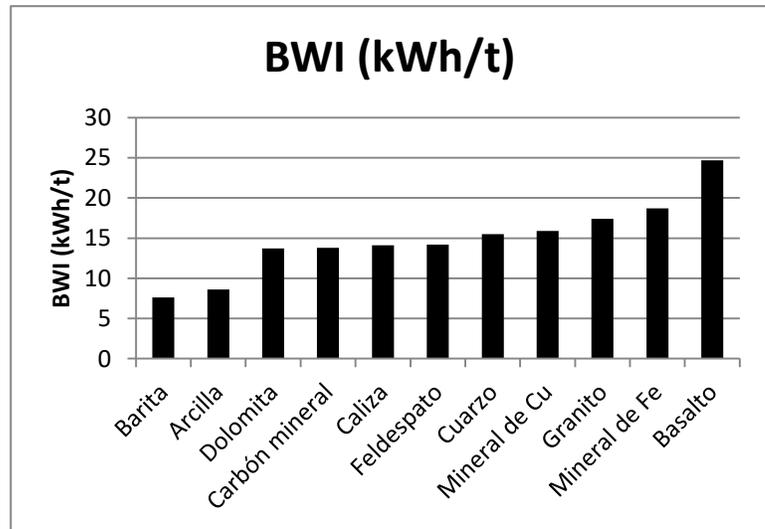


Figura 2.4: Valores promedio BWI para rocas promedio y minerales (Bond, 1961).

El error asociado al ensayo de moliendabilidad BWI, para un mismo laboratorio, según el procedimiento estandarizado de Bond (1961), es del orden de un $\pm 4\%$, (Mosher, 2001).

El ensayo Modified Bond Mill Test (MOD BWI) se ha estandarizado para utilizar sólo 1.2 kg de material de entrada, con las mismas características $F_{100} - 3.35$ mm. Para este test se usa un tiempo fijo, y se analiza la distribución granulométrica, calculando el BWI. Para esto es necesario una calibración contra un número suficiente de BWI estándar (típicamente un 10% del total de ensayos) (Verret, 2011).

2.4 Métodos estadísticos

2.4.1 Estimadores de la media y el coeficiente de variación

Para un conjunto de n observaciones X_i , de la variable aleatoria X , se pueden estimar la media (\bar{X}) y la varianza (S^2) como:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i ; S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2$$

La desviación estándar es definida como la raíz de la varianza: S .

El coeficiente de variación (C_v) es una medida de dispersión, tomando en cuenta en valor promedio de los datos. Se define como la razón entre la desviación estándar (S) y la media de la muestra (\bar{x}):

$$C_v = \frac{S}{|\bar{x}|}$$

2.4.2 Histograma

Es una representación de la frecuencia de ocurrencia para los rangos de valores posibles de la variable aleatoria. Se divide el rango de valores posibles en intervalos y se hace un conteo de los datos dentro de cada intervalo, para mostrar su frecuencia.

El histograma es útil para analizar la distribución de los datos, detectar la presencia de valores extremos (outliers) y la existencia de varias poblaciones distintas.

2.4.3 Coeficiente de correlación de Pearson

El coeficiente de correlación de Pearson es una medida de la relación lineal entre dos variables aleatorias cuantitativas (X e Y), pero a diferencia de la covarianza es normalizada (i.e. toma valores en rango $[0, 1]$):

$$\rho_{XY} = \frac{\sigma_{XY}}{\sigma_X \sigma_Y} = \frac{E[(X - \mu_X)(Y - \mu_Y)]}{\sigma_X \sigma_Y}$$

El estimador se puede calcular como:

$$r_{XY} = \frac{\sum x_i y_i - n \bar{x} \bar{y}}{n S_x S_y} = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{\sqrt{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \sqrt{n \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2}}$$

El signo de los coeficientes de correlación coincide con el signo de la pendiente de la relación lineal, mientras que su valor absoluto indica una medida de qué tan disperso es el conjunto de datos, como se en la Figura 2.5:

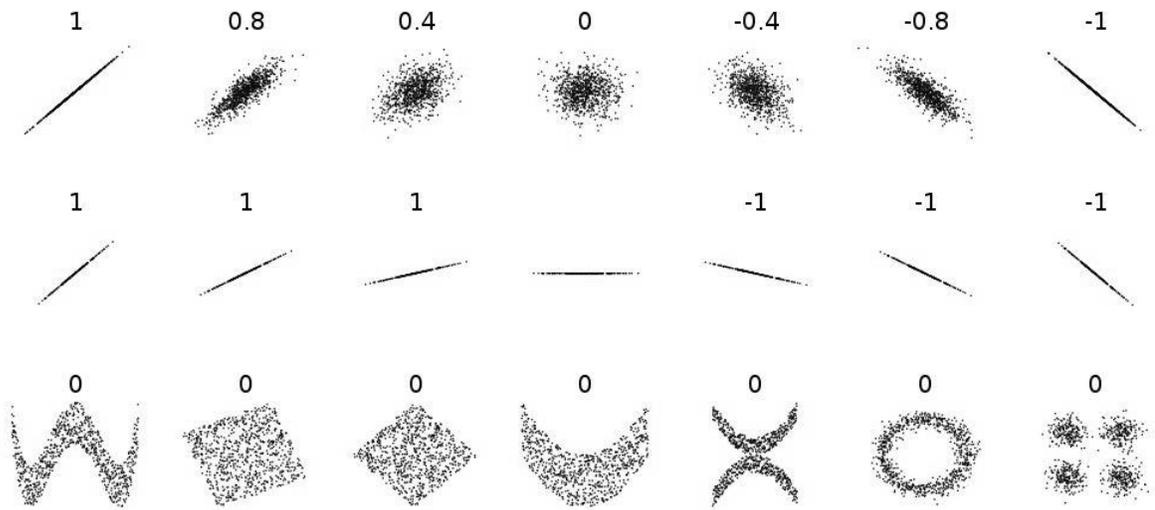


Figura 2.5: Ejemplos de coeficientes de correlación de Pearson

3 Marco Geológico

3.1 Ubicación de Escondida y Escondida Norte

El distrito Escondida se ubica en el desierto de Atacama, Norte de Chile, en la Región de Antofagasta, con coordenadas 24°16' S, 69°4' W (Minera Escondida). Se encuentra a unos 170 km al SE de la ciudad de Antofagasta, 200 km al S de Calama, y a unos 100 km SW del Salar de Atacama (Figura 3.1). El distrito está rodeado de las laderas de la cordillera Domeyko y sus formas morfológicas asociadas, a alturas entre los 2600 y 3500 m.s.n.m. Geológicamente se ubica en la faja metalogénica del Eoceno Superior – Oligoceno Inferior, en el sistema de fallas Domeyko, en el borde W de la Cordillera Domeyko. En el distrito se ubican los yacimientos Escondida, Escondida Norte y Zaldívar, además de Escondida Este, Pampa Escondida, Pinta Verde y Chimborazo (Hervé, 2012; Camus, 2003).

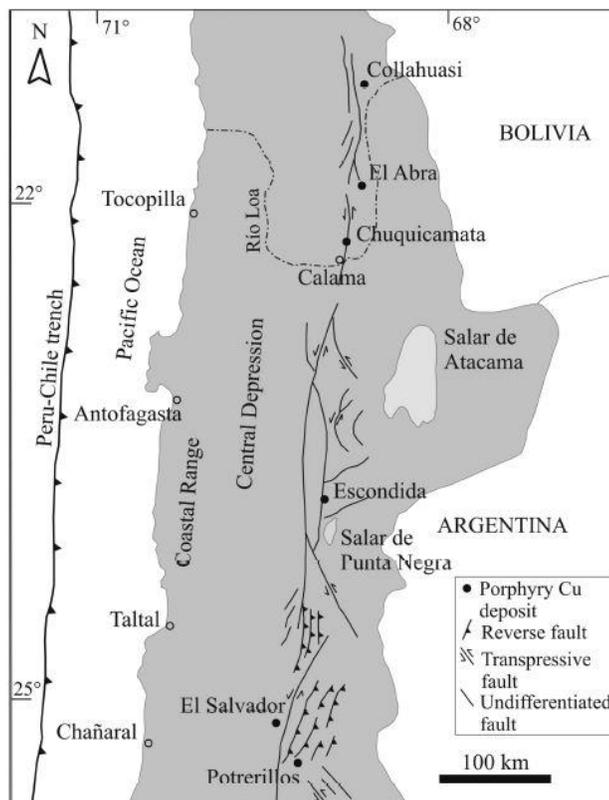


Figura 3.1: Ubicación del distrito Escondida, con respecto al sistema de fallas Domeyko y otros pórfidos importantes de la faja metalogénica Eoceno medio - Oligoceno temprano. (Hervé, 2012).

3.2 Mineralización económica del distrito Escondida

El distrito Escondida tiene una producción histórica de 19.74 Mt Cu (2012). Entre Escondida, Escondida Norte y Escondida Este, la producción histórica alcanza 17.7 Mt (Hervé, 2012).

El tonelaje total de Cu en la zona mineral hipógena asciende a 77.12 Mt. La ley de la parte hipógena es de 0.57%Cu, mientras que en la zona mixta es de 0.81 %Cu. La zona mineral supérgena en óxidos tiene una ley promedio de 0.63 %Cu, con un tonelaje total de 1.34 Mt Cu (Tabla 3.1).

Tabla 3.1: Recursos y leyes de los depósitos del distrito de Escondida (Hervé, 2012).

Depósito	Tipo de mena	Recurso total (Mt)	Ley (% Cu)	Tonelaje Cu (Mt)	Producción histórica 1 (Mt)
Escondida,	Óxidos	213	0.63	1.34	
Escondida Este y	Mixtos	183	0.81	1.48	17.7
Escondida Norte	Sulfuros + leach sulfuros	13540	0.57	77.12	
Pampa Escondida,	Sulfuros	7378	0.47	34.68	-
Pinta Verde	Óxidos	103	0.63	0.65	
Zaldívar	Sulfuros	72	0.46	0.33	
	Óxidos supérgenos + Sulfuros	829	0.53	4.39	2.04
	Hipógeno	~1000	~0.27	2.7	
Chimborazo	Sulfuros supérgenos	223	0.54	1.2	-
Distrito Escondida	Supérgeno + hipógeno			123.89	19.74

3.3 Marco geológico local de Escondida

3.3.1 Generalidades

El yacimiento Escondida se clasifica como un pórfido cuprífero Cu-Mo-Au. El rajo actual tiene dimensiones de 645 m de profundidad y 3.9 x 2.7 km en planta (Basto, 2012). BHP Billiton es dueño del 57.5% de Minera Escondida. El capital humano asciende a más de 4000 empleados y 10000 contratistas. Es uno de varios gigantes como Chuquicamata, El Salvador, El Abra y Collahuasi en el Norte de Chile, ubicados e lo largo de la Cordillera Domeyko.

El pórfido cuprífero Escondida se emplazó en el Eoceno Tardío – Oligoceno, como un complejo intrusivo (stocks), de composición cuarzo-monzonítica a granodiorítica, intruyendo rocas andesíticas del Paleoceno. El basamento de la Cordillera Domeyko, constituido por rocas sedimentarias Mesozoicas y rocas volcánicas Paleozoicas, subyace las rocas andesíticas Paleocenas (Padilla, 2001).

La evolución del sistema porfírico se ha desarrollado por sobreimposición de tres etapas hidrotermales, caracterizadas por alteraciones y mineralizaciones tanto penetrativas como en vetillas (Parelló, 1983; Quiroz, 1998).

En las secciones de litología y alteración del marco geológico, como también en el desarrollo, se usan indistintamente los nombres de los minerales y sus abreviaciones, de acuerdo a la Tabla i (en páginas iniciales de este trabajo).

3.3.2 Litología

La roca caja del yacimiento Escondida es un complejo subvolcánico, correlacionada con la Fm. Augusta Victoria del Paleoceno – Eoceno Inferior (Parelló, 1984; Marinovich, 1992). Se caracteriza por lavas andesíticas de textura porfírica, con abundante Plagioclasa y Clinopiroxenos, en matriz afanítica de feldespatos, Biotita y Hornblenda subordinada. Aflora al SW de la pared del rajo Escondida (Figura 3.2).

La Fm. Santa Ana del Jurásico – Cretácico Temprano está compuesta de areniscas y limolitas con horizontes carbonatados, intercalado con estratos de andesitas y riolitas, y aflora al SW del distrito Escondida. La Fm. El Profeta, de la misma edad, está compuesta de hasta 1000 m de potencia de calizas fosilíferas y lentes de areniscas y limo, con ocasionales intercalaciones de lavas andesíticas porfíricas (Richards, 1999).

La Fm. La Tabla, de edad Carbonífero a Pérmico, es una secuencia de rocas extrusivas e intrusivas de composición intermedia a félsica, que corresponden al basamento cristalino de Escondida, y aflora al E de Escondida, como también en el rajo de Escondida Norte (Hervé, 2012).

El stock intrusivo principal, conocido como el “Complejo Intrusivo Feldespático Escondida” (CIFE) y está formado por al menos tres fases intrusivas (Parelló, 1983; Quiroz, 1998; Camus, 2003). Su geometría es elíptica, elongada N30-40°W, con eje mayor de 4.5 km y eje menor de 2.5 km (Padilla, 2001).

Las primeras dos fases intrusivas del CIFE son “Colorado Grande”, y “Escondida” respectivamente. Son similares en mineralogía, pero difieren en su contenido de fenocristales (Colorado Grande: 60%; Escondida: 40%), la continuidad de vetillas y la intensidad de alteración. Los fenocristales son de Plg oligoclasa-andesina (60-70%; 0.5-5 mm; euhedral-subhedral, con zonación concéntrica), Ortoclasa (20-30%; 0.5-3 mm; subhedral; macla Carlsbad), Qz (2-8%; 0.5-3 mm; subredondeados) y Bt (1-3%; 0.5-1.5 mm; euhedral) con tamaños de cristal entre 1-5 mm y raramente sobre 8 mm. La masa fundamental está compuesta esencialmente por Plg, Ortoclasa, Qz y Bt.

La tercera fase intrusiva del CIFE consiste en un pórfido-brecha, con una forma elongada N10°W, con un eje mayor de 1 km y un eje menor de 250 m. Es similar al contenido de fenocristales que el pórfido de la fase Escondida, pero contiene fragmentos de las dos fases previas y de andesita. Contiene en promedio 8% de fragmentos (líticos), pero también hay partes dónde este número asciende al 60%, mostrando la textura de una brecha intrusiva (Padilla, 2001).

Posteriormente, un domo riolítico y un dique riolítico intruyen al CIFE. El último evento intrusivo, consiste en delgados diques cuarzo-monzoníticos sin mineralización (Figura 3.2).

En la evolución del pórfido Escondida, se formaron al menos cuatro tipos de brechas: brechas intrusivas asociadas a la tercera etapa intrusiva del CIFE, brechas de enfriamiento en las zonas de contacto entre los domos riolíticos y la andesita, “pebble dikes” mineralizados y secos, posteriores al emplazamiento de las riolitas, y brechas tectónicas de diferentes edades.

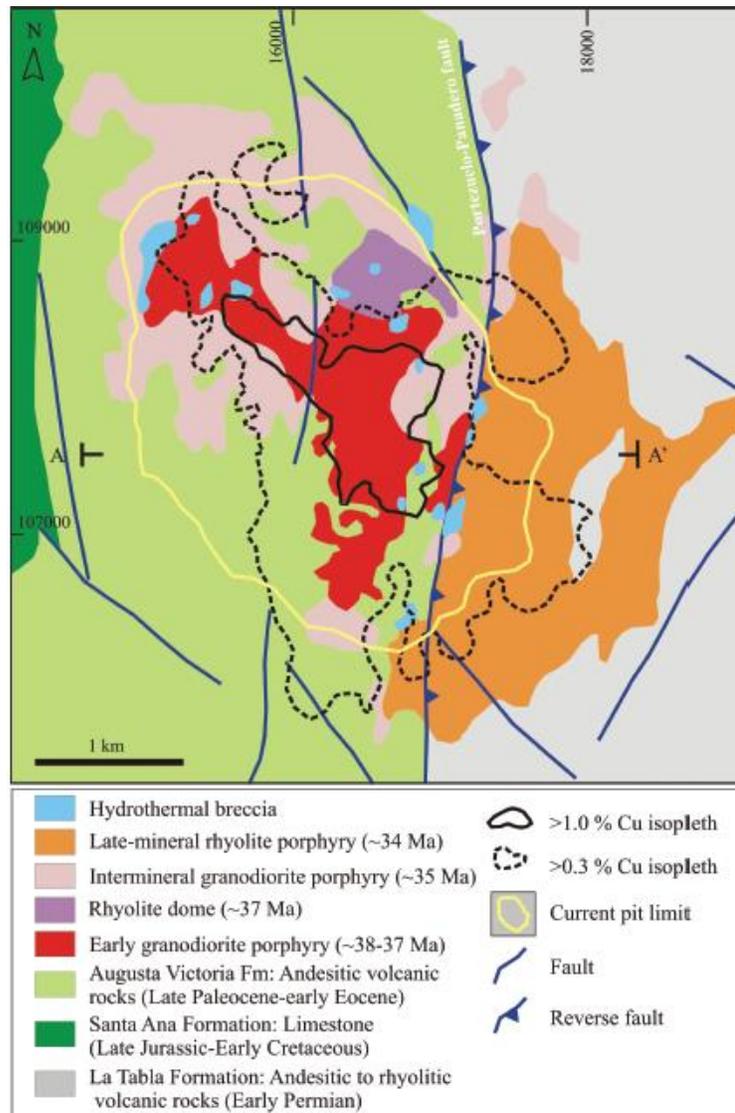


Figura 3.2: Mapa litológico, estructural e iso-leyes del yacimiento Escondida. (Hervé, 2012)

3.3.3 Alteración hidrotermal hipógena

El yacimiento Escondida tiene una gran variedad de alteraciones, tanto penetrativas, como en vetillas, sobrepuestas entre sí, por lo que es necesario considerar tanto los dominios espaciales como temporales. A continuación se presenta una tabla resumen de las distintas alteraciones y su mineralogía y vetillas asociadas, mientras que más abajo se presenta una descripción detallada de cada alteración (Tabla 3.2).

Tabla 3.2: Características de las 3 fases hidrotermales hipógenas del depósito Escondida (Padilla, 2001).

Etapa	Alteración	Mineralogía
1	Potásica	Andesita: Bt de grano fino pervasiva +- Ortoclasa-(Mt, Bn, Cpy); Intrusivo: Ortoclasa-Qz +- Bt-Anh + (Bn, Cpy) en vetillas y pervasivo
	Propilítica	Ep-Chl-Zeolitas + (Py +- Cpy, Grosularia, Ab)
	Silisificación	Cáscara de silisificación, en la zona de contacto entre Intrusivo-Andesita
	Chl-Ser+-Qz	Alteración en venillas, alterando la andesita con alteración biotítica; En intrusivo altera selectivamente los minerales máficos y en menor medida Ortoclasa, y también en fracturas en venillas de la 1ra etapa. (Cpy+-Py-Mo)
2	Qz-Ser	Alteración en venillas, alterando las rocas intrusivas, especialmente en zonas de fallas. Color verdoso a gris, por Ser. Cpy+-Py-Mo
	Py-Ser	Alteración en vetillas Py+Cpy, con halos de Ser blanca+Py diseminada.
	Argílica Avanzada	Pirofilita-Ser-Qz-Alunita + (Bn-Cpy-Py-Cv+-Cc,En,Esf, exolución de Tn,Cpy,Gal). Ocurre principalmente en zonas de fallas, y pervasivamente en zonas de contacto con riolita.

3.3.3.1 1ª Fase Hidrotermal

La primera fase hidrotermal considera el desarrollo de una alteración potásica, una propilítica y silisificación en los contactos pórfido-andesitas:

3.3.3.1.1 Alteración Potásica

La alteración potásica muestra fuerte control litológico. En el Pórfido feldespático (CIFE), la alteración se presenta como débil reemplazo de Plg y matriz por Ortoclasa, dándole un tono rosáceo a las rocas.

En las andesitas, la alteración se representa por reemplazo de Plg, los fases máficas y matriz por biotita secundaria, y en menor medida Fd-K diseminado y en vetillas, también con presencia de Anh, caracterizadas por ser de color negro. En las

andesitas, la biotita secundaria es mayormente microcristalina (<0.1 mm), y hay una gradación de alteración potásica-biotítica a alteración propilítica Chl-Ser (Padilla, 2001).

3.3.3.1.2 Alteración Propilítica

Ep \pm (Chl, Montmorillonita, Bt, Grosularia) y vetillas de Carbonatos y Zeolitas. Estos minerales reemplazan Anf y Plg en andesita. La grosularia se encuentra sólo reemplazando Plg. Se estima que el reemplazo Plg->Grosularia es contemporáneo con la alteración biotítica en andesita y la ortoclasa en rocas intrusivas. Algunos cristales de Plg revelan halo albitico. La alteración propilítica se presenta como halo gradacional desde la alteración potásica, con destrucción total o parcial de la textura original de la roca (Padilla, 2001).

3.3.3.1.3 Silisificación

La silisificación está presente en las zonas de contacto entre el CIFE y las rocas volcánicas (20-40 m de espesor), afectando ambas rocas. Es considerado como una alteración metasomática por contacto. Es pervasiva, generando una textura afanítica con Qz microcristalino < 50 μ m, y oblitera el resto de las texturas originales. Se considera una de las alteraciones más tempranas, por ser cortada por todas las vetillas de alteraciones de las fases hidrotermales 2 y 3. Se encuentra fuertemente fracturado (Padilla, 2001).

3.3.3.1.4 Vetillas tempranas

Las vetillas tempranas de ésta fase hidrotermal son de Qz o Qz-Ortoclasa \pm Bt \pm Anh, encontrándose en la zona NW del rajo o en profundidad.

Vetillas 1a: vetillas de Qz sinuosidales y discontinuas, con bordes irregulares bien definidos y sin halos de alteración. Ocurrencia preferente en las rocas intrusivas, pero también en andesitas en cercanía del contacto. Generalmente de longitud < 10 cm, con ancho de 1-20 mm.

Vetillas 1b: vetillas de Qz-Fd-K \pm Bt \pm Anh, con halos de alteración de Fd-K rosáceo, lo que hace de bordes poco definidos. Continuas y menor sinuosidales que las 1a. Ancho entre 1-3 mm.

Vetillas 1c: vetillas de Qz, sin halo de alteración. Continuas y con bordes irregulares bien definidos. Ocurren sólo en la roca intrusiva. Largo hasta 70 cm, ancho entre 1-5 cm. Clara temporalidad posterior a 1ª (Padilla, 2001).

3.3.3.2 2ª Fase Hidrotermal

3.3.3.2.1 Alteración Chl-Ser ± Qz

Esta alteración tiene variabilidad de predominantemente Chl a predominantemente Ser, y una zona de 1-2 km de ancho, expuesta en las zonas NE y SE del depósito. Ocurre diseminada y en vetillas en la andesita con alteración biotítica previa. En el CIFE es selectiva y reemplaza la Bt, fases máficas y el Fd-K a Chl-Ser, y adicionalmente por la precipitación de Chl en vetillas re-abiertas. Las rocas se ven de color verde oscuro a tonos pasteles. La densidad de estructuras de esta alteración es moderada, con fracturamiento mayormente en la andesita. Las texturas originales, tanto en la andesita como en las rocas intrusivas se encuentra preservada, excepto en las vetillas y la primera parte de su halo (Padilla, 2001).

Las vetillas son numeradas como 2a, con largos entre pocos cm hasta 50 cm, con un ancho entre 1 y 3 cm. Son más continuas que las potásicas, pero con bordes irregulares y difusos. En andesita, las vetillas presentan zonación - internamente ricas en sulfuros con poco o nada de Qz, cambiando a Ser-Chl en el halo y Chl verde oscura en el extremo, con Ser subordinada.

3.3.3.2.2 Alteración Qz-Ser

La alteración Qz-Ser es la principal en el centro del depósito. Afecta a la porción SE del CIFE, y la andesita cerca de la zona de contacto con el intrusivo. Ocurre en forma de vetillas y halos de alteración. Cuando es muy intensa, oblitera la textura de la roca, convirtiéndola en una masa blanca, preservándose solo los ojos de Qz (en la roca intrusiva). Las rocas tienen colores de entre verde pastel, gris oscuro y blanco.

Las vetillas son identificadas como 2b y 2c, con longitudes de más de 20 cm, y hasta 1 m, con anchos de 1-15 cm con bordes irregulares. Son rellenas de Qz y sulfuros en el centro de la vetillas, con alteración sericítica destructiva. Hacia afuera, la

alteración se hace menos intensa, reemplazando los feldespatos a sericita y creando aureolas de sericita verde (Padilla, 2001) (Figura 3.3).

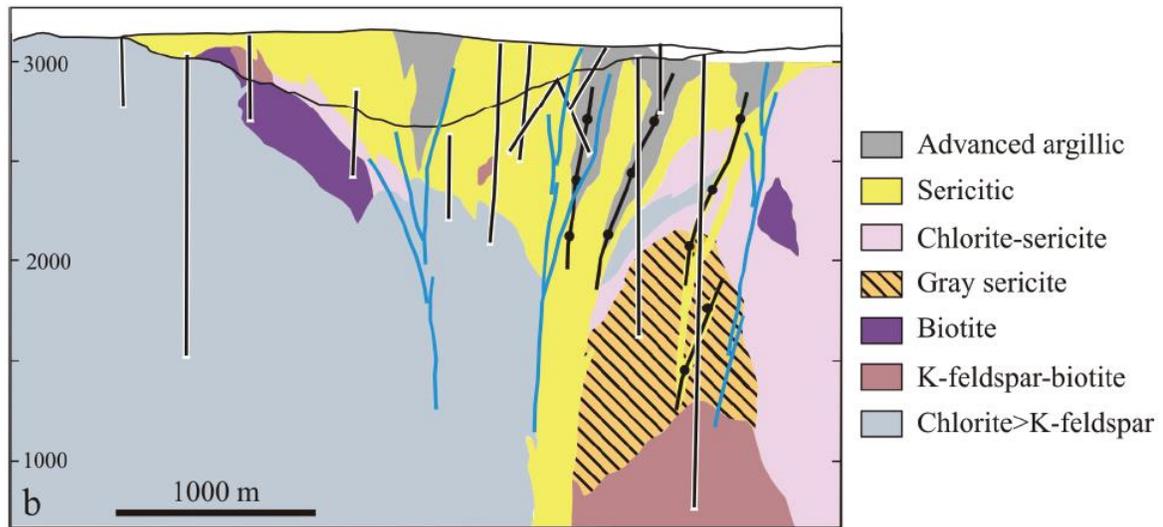


Figura 3.3: Sección tipo de Alteración, Escondida (Hervé, 2012).

3.3.3.3 3ª Fase Hidrotermal

3.3.3.3.1 Alteración Argílica

La alteración argílica es la última alteración en el depósito, siendo la única alteración hipógena que afecta a la riolita. Afecta tanto al CIFE, como a la Andesita. Su ocurrencia está relacionada a las fallas mayores del depósito y a la zona de contacto entre la riolita y la andesita. La mineralogía es Pirofilita, Alunita y Qz, con presencia de vetillas bandeadas y abundantes sulfuros.

Las vetillas 3 varían entre espesores milimétricos a 1-2 m, con texturas bandeadas, masivas y brechosas. Se aprecia Qz euhedral, sulfuros y en menor medida alunita. En los bordes se aprecian bandas de <1-10 cm, de Qz azucarado (< 500 μm) y Qz de grano fino (<70 μm) (Padilla, 2001).

3.3.4 Alteración supérgena

El perfil de Escondida presenta un leach capping hematítico, con un promedio de 200 m de potencia, y hasta el doble en algunos sectores. En esta zona existe presencia de Al, con dataciones de ~18 a 14 Ma.

Debajo de ésta zona lixiviada hay un desarrollo de la zona de enriquecimiento supérgeno con una extensión lateral de 4.5 x 1 km en orientación NW, y una potencia máxima de 400 m (Ojeda, 1986). La zona está dominada por minerales del grupo de la Cc en la parte superior, mientras que en la parte inferior, el dominio es de Cv y sulfuros hipógenos remanentes (Hervé, 2012).

Existe un enriquecimiento secundario de óxidos menor, concentrado principalmente en las rocas volcánicas andesíticas con alteración biotítica y Chl-Ser. Las fases dominantes son Brocantita y Antlerita, con cantidades menores de Crisocola, Atacamita, fosfatos de Cu. Hay cantidades menores de Cuprita y Cu nativo, concentradas en la parte superior del enriquecimiento de óxidos (Ojeda, 1986).

3.3.5 Mineralización

La mineralización en Escondida se subdivide en tres tipos: sulfuros hipógenos, sulfuros supérgenos y óxidos de cobre. Considerando una ley de corte de 0.3 %Cu, la mayoría de la mineralización está hospedada en el CIFE (~59% @ 1.12 %Cu), mientras que el resto está hospedado en Andesita (~41% @ 0.75 %Cu) (Padilla, 2001) (Tabla 3.3).

Tabla 3.3: Mineralización por tipo de mena, Minera Escondida (Padilla, 2001).

Mena	Pórfido		Andesita	
	Total Cu (wt%)	Ley Cu (wt%)	Total Cu (wt%)	Ley Cu (wt%)
Primario	25	0.66	34	0.54
Enriquecimiento (alto)	44	1.39	39	1.06
Enriquecimiento (bajo)	28	0.96	18	0.69
Óxidos de Cu	3	0.59	9	0.57

3.3.5.1 Mineralización hipógena

La mineralización hipógena tiene su ocurrencia principal en las zonas profundas del yacimiento, pero también en las zonas marginales y como relictos en los mantos de enriquecimiento supérgeno. Está estrechamente relacionada a las fases hidrotermales, antes mencionadas.

Las leyes de Cu siguen una distribución consistente con la sobreimposición de estas alteraciones. En zonas de alteración potásica, sin sobreimposición de otras alteraciones, las leyes no superan 0.3 wt% Cu. En zonas con fuerte alteración Qz-Ser, las leyes varían entre 0.4 y 0.6 wt% Cu. Cuando a esto se le sobreponen vetillas de la última etapa hidrotermal, las leyes ascienden hasta más de 1 wt% Cu.

En la primera fase hidrotermal:

La alteración potásica los sulfuros presentes son esencialmente Cpy-Bn en vetillas reabiertas de la etapa 1, generalmente < 0.5 wt%. En andesita, con Bt pervasiva, hay fuerte presencia de Mt en microcristales (< 60 μm , hasta 2 wt%), parte de la cual está siendo reemplazada por Bn. El contenido total de sulfuros es < 0.5 wt% y la ley de Cu < 0.2 wt%. En las andesitas o intrusivos donde la asociación es FdK-Qz \pm Bt, Anh, las leyes de Cu varían entre < 0.1 y 0.3 wt%.

La alteración propilitica presenta Py y localmente Py-Cpy en vetillas, generalmente con leyes < 0.1 wt% Cu.

Segunda etapa:

La alteración Ser o Chl-Ser está asociada con sulfuros de Cpy \pm Mb, Py hasta 2 wt%. Proporción Cpy/Py = 3/1. En las zonas de intenso desarrollo de la alteración, la presencia de sulfuros llega hasta 20 wt% en vetillas finas, mientras que en los halos hasta 2 wt%. Las leyes varían entre 0.4 y 0.6 % Cu.

Tercera etapa:

La alteración argílica (ácido-sulfática) de la tercera etapa es la más rica en sulfuros, atribuyéndoseles los sulfuros Cpy, Bn, Py, Cv (laminar), Cc, En, Sp, Gal y Tenantina. Esta etapa creó sus propias vetillas, pero además, reabrió y mineralizó vetillas de etapas anteriores (Padilla, 2001).

3.4 Marco geológico local Escondida Norte

3.4.1 Litología

El depósito Escondida Norte está hospedado por rocas volcánicas de la Fm. La Tabla ($\sim 294.4 \pm 4.6$ Ma), y fases intrusivas contemporáneas. Hacia el W, ésta está sobreyacida por secuencias riolíticas, principalmente ignimbritas soldadas (290.0 ± 4.0 Ma). Las intrusiones son de monzogranitos de grano grueso, pórfidos granodioríticos ($\sim 290.0 \pm 4.0 - 298.8 \pm 2.6$ Ma) y dioritas (Hervé, 2012; Richards, 1999). En la parte SE del depósito está también presente el pórfido pérmico Qz-diorítico y Qz-monzonítico (Hervé, 2012) (Figura 3.4).

Existen intrusiones de diques de orientación NE y cuerpos mayores de pórfidos granodioríticos con Bt, de temporalidad variada, pre-mineralización, inter y post-mineralización. Las fases pre e inter-mineralización están datadas a 38.0 ± 0.5 y 37.5 ± 0.5 Ma, mientras que las fases post-mineralización son datadas a 36.0 ± 0.8 , 35.7 ± 0.7 y 35.5 ± 0.8 Ma (Jara, 2009).

Existen brechas polimícticas magmático-hidrotermales, asociadas con los pórfidos pre e inter-mineralización. Éstas están con alteración Ser a Chl-Ser, con cemento de Qz-Py, y Cpy a baja profundidad, y de Qz-Bt-Anh \pm Feld-K \pm Mgt, con Cpy-Bn en profundidad. Éstas brechas tienen generalmente mayor ley que el resto de las rocas mineralizadas (Hervé, 2012).

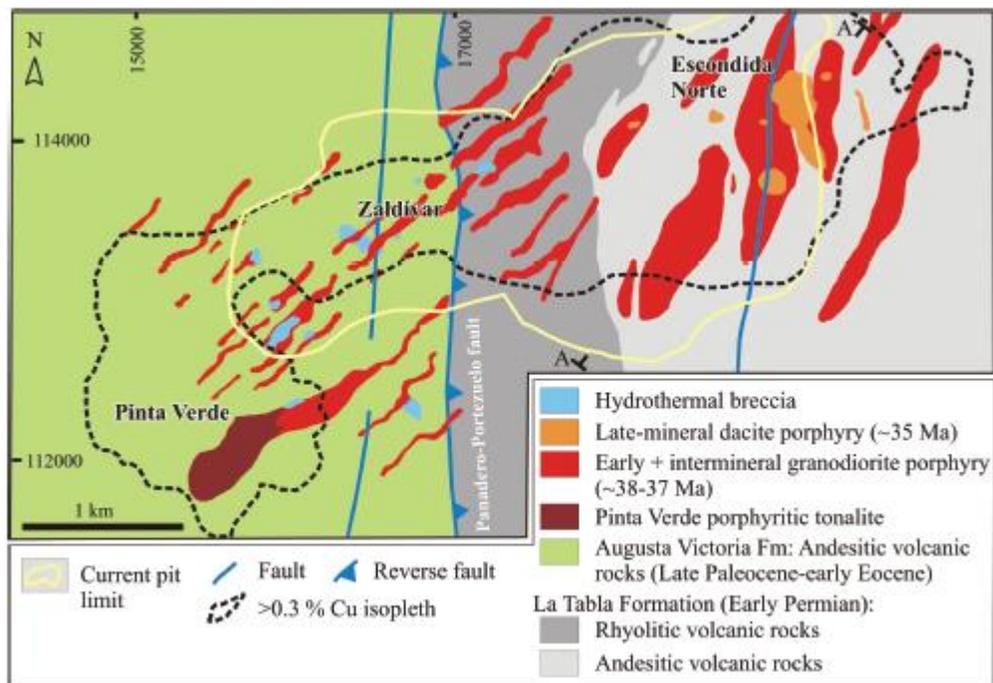


Figura 3.4: Mapa litológico, estructural e iso-leyes de Escondida Norte - Zaldívar. (Hervé, 2012)

3.4.2 Alteración hidrotermal hipógena

En profundidad hay buen desarrollo de alteración potásica, con mejor expresión en las rocas félsicas (Bt, Feld-K). En las rocas volcánicas andesíticas y dioríticas predomina una asociación más máfica (Bt, Mgt). Esta alteración viene asociada con vetillas de Bt y Mgt tempranas, y vetillas tipo A de Feld-K y Qz-Feld-K. Hay presencia de escasas vetillas de Ser gris, sobreimpuestas (Hervé, 2012).

En niveles más superficiales se desarrolla la alteración Chl-Ser sobrepuesta a la alteración potásica, destruyendo las asociaciones propias de ésta. La alteración Chl-Ser se asocia con vetillas de Chl-sulfuros. Localmente hay sobreimposición de alteración argílica avanzada con Qz-Pyr \pm Al, relacionada a estructuras NW, con abundancias de vetillas de alta sulfuración (Hervé, 2012) (Figura 3.5).

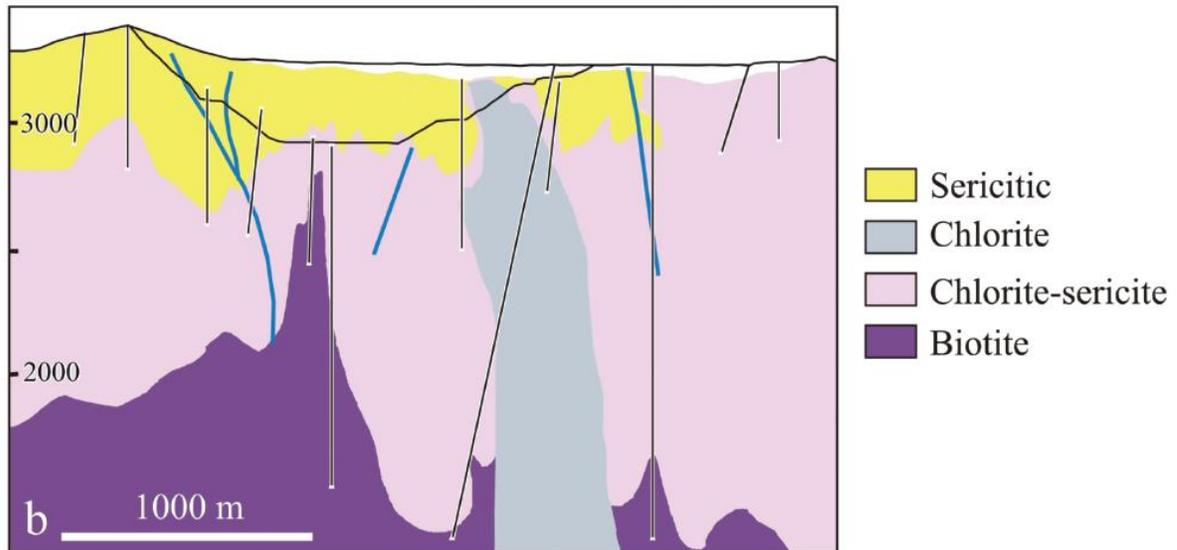


Figura 3.5: Sección tipo de alteración, Escondida Norte (Hervé, 2012).

3.4.3 Alteración supérgena

La alteración supérgena en el área Escondida Norte - Zaldívar está bien desarrollada, con un leach capping, con potencia promedio entre 100 a 200 m y un máximo de 350 m. Debajo hay una zona de enriquecimiento secundario de 20 a 250 m de potencia con una extensión lateral de 2 x 1.5 km, que constituye el principal cuerpo mineralizado. Está compuesto por una zona de alta ley con Cc dominante, y debajo de ésta, una zona de menor ley con Cv, con Py poco reemplazada (Hervé, 2012).

Las zonas de enriquecimiento de óxidos son irregulares, dispuestos por sobre la zona de sulfuros secundarios, con principalmente Antlerita, Brocantita en la zona central de mayor ley, y Crisocola y Atacamita en las periferias (Hervé, 2012).

3.4.4 Mineralización hipógena

La mayoría de la mineralización hipógena consiste en Cpy y Py, mientras que las asociaciones Cpy-Bn±Cc están localizadas y restringidas a la zona potásica, con lo que las leyes en profundidad tienden a bajar. Esto es sugerente de que la etapa mineralizadora predominante está asociada a la alteración Chl-Ser. En las zonas de alta sulfuración se observan vetillas de Py, En, Tenn y Sph (Hervé, 2012).

Los cuerpos de pórfidos de Escondida Norte son aparentemente controlados por la falla Portezuelo-Panadero (Navarro, 2009).

4 Resultados

4.1 Análisis de datos QemSCAN

En esta sección se muestra el análisis de las distintas relaciones entre la liberación y el resto de los datos que proporciona el ensayo QemSCAN, además de las relaciones entre liberación (QemSCAN) y los datos metalúrgicos de dureza SPI y BWI.

Se tienen 120 QemSCAN, en su modalidad para liberación. Estos análisis provienen de muestras de Escondida (96 datos) y Escondida Norte (24 datos). Los datos QemSCAN son los únicos datos que poseen información del grado de liberación de sulfuro, por lo que toda la información geológica y metalúrgica debe ser correlacionada con éstos (Tabla 4.1).

Los datos que se utilizaran del QemSCAN son de liberación, mineralógicos (minerales de ganga - Tabla 4.2, elementos - Tabla 4.3 y sulfuros de Cu - Tabla 4.4), tamaño de partícula - Tabla 4.5 y texturales (asociación del sulfuro) - Tabla 4.6.

Tabla 4.1: Categorías de liberación y los rangos de tamaños para todas ellas en el QemSCAN.

Liberación	Rango de tamaño
Lib90	Global
Libdis	-1000/+150
Libocc	-150/+53
Liblat	-53/0

Tabla 4.2: Minerales de ganga considerados en el QemSCAN y los rangos de tamaños que aplican a todos ellos.

Minerales de ganga	Rango de tamaños
%Qz comb	Combinado
%FdK comb	-1000/150
%Ser comb	-150/+53
%Kao comb	-53/+5
%Bt comb	-5/0
%Chl comb	
%Cu sulf comb	
%Py comb	
%Ar comb	
%Qz+F comb	

Tabla 4.3: Elementos considerados en el QemSCAN y rangos de tamaño aplicable a todos ellos.

Elementos	Rango de tamaños
%Cu	Combinado
%Fe	-1000/+150
	-150/+53
	-53/0

Tabla 4.4: Sulfuros de Cu considerados en el QemSCAN, y rango de tamaños aplicable a todos ellos.

Sulfuros de Cu	Rango de tamaños
Chalcocite	Combinado
Covellite	
Chalcopyrite	
Bornite	

Tabla 4.5: Tamaños de partícula considerados en QemSCAN, y los rangos de tamaños para todos ellos.

Tamaño de partícula	Rango de tamaños
PSCu	Combinado
PSPy	-1000/+150
PSP	-150/+53
	-53/0

Tabla 4.6: Asociaciones de sulfuros y otras partículas considerados en QemSCAN y los rangos de tamaños para todos ellos.

Asociación	Rango de tamaños
CuS+Py	Combinado
CuS+Ar	-1000/+150
CuS+Gng	-150/+53
CuS Complex	-53/0

4.1.1 Clasificación geológica de las muestras QemSCAN

4.1.1.1 Clasificación por alteración

Se disponen de 36 datos de mapeo geológico que se corresponden con los datos QemSCAN. Para trabajar con una cantidad de datos mayor y mejorar la significancia estadística, se clasificará el resto de las muestras a partir de la información mineralógica para definir su alteración predominante. Para esto, se tomarán en cuenta los minerales índices: Biotita, Ortoclasa (Feld-K), Clorita, Sericita y Caolinita.

Para la clasificación de alteraciones se usa la codificación de Escondida (FY12). La hoja de codificación completa se puede encontrar en anexos 9.1. Las alteraciones con mineralización económica son principalmente la alteración potásica, clorítica y sericítica (Tabla 4.7). Todas las muestras que cruzan entre QemSCAN y mapeo geológico se clasifican en estas alteraciones, y además, todas las muestras de QemSCAN se clasifican en estas alteraciones. Se agrega la alteración de argilización supérgena por las 3 muestras encontradas que califican para ésta.

Tabla 4.7: Categorías de alteración según la hoja de codificación de Escondida FY12.

Alteración	Abrev.	Código
Potásico (Sólo Bt secundaria)	K1	30
Feld K > Bt	K2	31
Feld K < Bt	K3	32
(Bt sec +/- Feld K) > Cl	K4	33
Clorita-Sericita-Arcillas	SCC1	40
Clorita-Sericita-Cuarzo	SCC2	41
Clorita-Biotita +/- Feld K	SCC3	42
Sericita-Cuarzo	S1	51
Sericita-Cuarzo-Arcilla	S2	52
Sericita Gris Verde	S4	54
Argilización Supérgena	AA	61

Para la clasificación se tomaron en cuenta los minerales índice - Biotita, Ortoclasa (Feld-K), Clorita, Sericita, Kaolinita - y además los minerales necesarios para hacer la distinción de los sub-grupos de la alteración - Cuarzo, Arcillas y los parámetros Biotita-FeldK, Sericita+Cuarzo y Arcillas-Sericita.

Existen varias alteraciones con definición ambigua:

- Potásico (sólo Bt secundaria) (30) es ambigua con Feld K < Bt (32). Una solución es definir un umbral mínimo de Feld-K para diferenciar entre las dos alteraciones, pero esto sería arbitrario. Además el Feld-K puede venir desde el protolito (pórfido), sin ser de alteración, lo que el QemSCAN no diferencia. Se decide no usar la alteración Potásica con sólo Bt secundaria (30).
- Feld-K > Bt (31) podría generar un error porque el Feld-K puede no ser de alteración, sino del protolito. Se clasificará con la siguiente alteración dominante en los casos de presentar menos de 1% Biotita.
- (Bt sec +/- Feld K) > Cl (33) ambigua con el resto de las alteraciones potásicas (30, 31, 32). Una posible solución es determinar un umbral mínimo de Clorita, pero esto es arbitrario por lo que se descarta de la clasificación.

- Clorita-Biotita +/- Feld K es ambigua con el resto de las alteraciones cloríticas, porque no menciona una condición para el contenido de Sericita, Cuarzo y Arcillas. Si se ocupa la condición de que la suma $Bt+FeldK > Ser+Qz$ o $Ser+Arc$, no hay muestras que se clasifican en ésta. Además, la Biotita es una mica, pero arcilla en QemSCAN, que crea más problemas al diferenciar entre las alteraciones 40 y 42. Se decide no usar esta alteración (42) para clasificación.
- Sericita Gris verde (54) es ambigua con el resto de las alteraciones Cuarzo-Sericíticas (51 y 52), por lo que se descarta de la clasificación.
- Clorita+Sericita+Cuarzo (41) se elimina como grupo propio, por contener una sola muestra, y se modifica el grupo Clorita+Sericita+Arcillas para incluir +-Cuarzo (40), con un total de 9 muestras.

Los errores más comunes encontrados en el mapeo geológico son entre las alteraciones Cuarzo-Sericíticas: Sericita-Cuarzo (51) y Sericita-Cuarzo-Arcillas (52). El problema es la distinción con lupa entre sericita y las otras arcillas (Caolinita, Pirofilita, Esmectita, Illita, etc.). Otra posibilidad en la discrepancia entre el mapeo y el QemSCAN podría ser el metraje de la evaluación geológica y el lugar en el que se sacó la muestra para QemSCAN.

La clasificación completa de las muestras se puede encontrar en anexos 9.2. Adicionalmente se muestran las alteraciones definidas por el mapeo geológico.

Tabla 4.8: Categorías de alteración modificadas para las muestras de QemSCAN. N = 120 muestras.

Código	Alteración	# Muestras
31	FeldK > Bt	12
32	FeldK < Bt	7
40	Chl+Ser+Arc+Qz	9
51	Ser+Qz	29
52	Ser+Qz+Arc	60
61	Alt Supérgena	3

Se muestran los mínimos, máximos, promedios y desviación estándar de los minerales índices de las alteraciones con más de 5 miembros (31,32,40,51,52) (Tabla 4.9) y el histograma asociado a cada mineral índice (Figura 4.1).

Tabla 4.9: Estadística del contenido modal de QemSCAN de los minerales índices para clasificación de alteración. N = 120 muestras.

Alteración		%Bt	%Fdk	%Chl	%Ser	%Kao	%Qz	%Ar
31	min	1.10	6.74	1.37	9.79	0.87	21.27	17.88
	max	7.32	16.53	8.89	29.66	7.93	39.25	44.96
	x	3.28	9.65	5.13	17.39	3.60	31.59	33.19
	σ	1.85	2.84	2.37	6.61	2.38	5.58	8.04
32	min	4.57	3.01	6.70	5.18	0.82	18.62	30.01
	max	18.01	8.25	8.72	25.81	1.92	32.06	42.11
	x	10.35	5.27	7.64	11.17	1.41	23.02	35.04
	σ	4.22	1.76	0.68	7.02	0.44	4.80	4.17
40	min	1.62	1.44	6.43	12.93	1.98	19.17	35.95
	max	7.44	7.64	13.36	33.73	9.06	36.36	55.82
	x	3.75	3.30	9.24	27.19	3.82	28.19	48.21
	σ	1.89	1.93	2.15	6.36	2.35	4.97	5.65
51	min	0.01	2.33	0.01	14.61	0.44	29.09	19.23
	max	0.65	15.93	2.77	45.08	3.57	55.45	48.98
	x	0.10	5.47	0.26	33.55	1.87	42.61	37.41
	σ	0.13	3.81	0.68	8.16	1.01	7.02	7.29
52	min	0.01	1.37	0.01	14.22	0.80	22.76	26.17
	max	2.69	17.26	5.68	43.68	15.24	51.52	57.39
	x	0.19	4.13	0.45	28.75	5.17	42.69	41.43
	σ	0.39	3.28	1.07	5.94	3.31	5.27	6.00

Se utilizará la siguiente leyenda de colores para agrupar por alteración (Tabla 4.10):

Tabla 4.10: Leyenda de colores para alteración.

Color	Alteración
	FeldK > Bt
	FeldK < Bt
	Chl+Ser+Arc+Qz
	Ser+Qz
	Ser+Qz+Arc
	Alt Supérgena

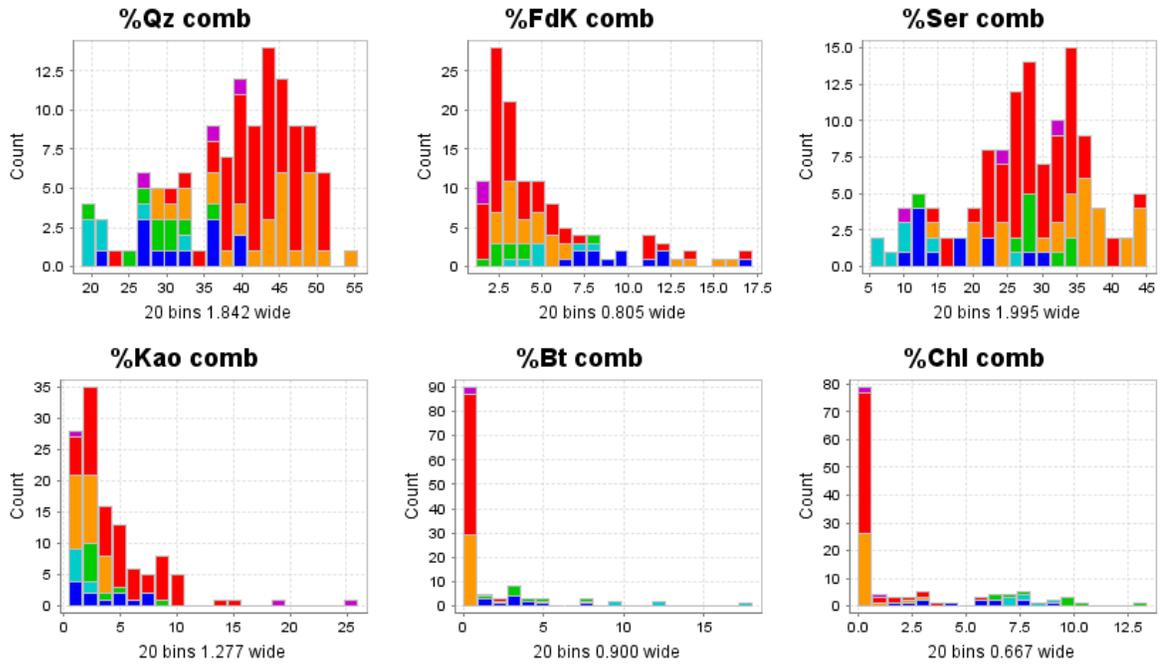


Figura 4.1: Histogramas de los minerales índice para determinación de la alteración. Colores corresponden a alteración, según leyenda (ver tabla). N = 120 muestras.

4.1.1.2 Clasificación por Zona Mineral (MINZ)

Se disponen de 36 datos de mapeo geológico que se cruzan con los datos QemSCAN. El resto de las muestras QemSCAN se clasificarán en clases de MINZ según la hoja de codificación FY12 de Minera Escondida (Tabla 4.11). Se crearon los parámetros del porcentaje relativo de los sulfuros de Cu %rCc, %rCv, %rCpy y %rBn, que suman 100% entre sí.

Tabla 4.11: Categorías de clasificación en zona mineral (MINZONE), según hoja de clasificación Escondida FY12.

Código	MINZone
50	Cc+Py
51	Cc+Cv+Py
60	Cc+Cpy+Py
61	Cc+Cv+Cpy+Py
62	Cv+Cpy+Py
70	Cpy+Py
71	Bn+Cpy(+Py)

Para clasificar las muestras se consideró que sólo los sulfuros con %r > 20% son considerados para la clasificación. La clasificación de las 120 muestras se muestra en

anexos 9.2, al igual que su clasificación según el mapeo geológico disponible. Existen diferencias de clasificación, que pueden deberse a:

- Dificultad de identificar sulfuros macroscópicamente (con lupa)
- La definición del criterio %r > 20% puede no coincidir con la metodología de clasificación, en el momento del mapeo de las muestras
- Cierta espaciamiento entre la muestra que sirvió al geólogo de mapeo y la que fue enviada a QemSCAN
- Las zonas minerales Cc+Cv+Cpy+Py (61) y Cv+Cpy+Py (62) contienen 2 y 5 muestras respectivamente (ver tabla), por lo que se combinarán en el grupo Cc+Cpy+Py (60), redefiniéndolo como Cc+Cv+Cpy+Py (60).
- Se muestra el resumen de la clasificación y las estadísticas por sulfuro y por categoría de MINZone (Tabla 4.12).

Tabla 4.12: Categorías de clasificación según MINZONE modificada. N = 120 muestras.

Código	MINZone	Muestras
50	Cc+Py	40
51	Cc+Cv+Py	7
60	Cc+Cv+Cpy+Py	16
70	Cpy+Py	50
71	Bn+Cpy(+Py)	7

Por cada zona mineral se muestra el resumen de los porcentajes relativos de cada sulfuro de Cu (Tabla 4.13) y los histogramas asociados a cada sulfuro (Figura 4.2).

Tabla 4.13: Resumen estadístico del contenido modal de sulfuros de Cu índices para la clasificación en MINZONE. N = 120 muestras.

MINZ		%rCc	%rCv	%rCpy	%rBn
50	min	0.66	0.02	0.03	0.01
	max	0.94	0.17	0.16	0.08
	x	0.80	0.07	0.09	0.03
	o	0.06	0.04	0.03	0.02
51	min	0.46	0.30	0.02	0.00
	max	0.66	0.45	0.09	0.04
	x	0.55	0.38	0.06	0.02
	o	0.08	0.06	0.03	0.01
60	min	0.21	0.01	0.23	0.01
	max	0.60	0.17	0.77	0.06
	x	0.38	0.09	0.50	0.03
	o	0.16	0.07	0.22	0.02
61	min	0.28	0.26	0.27	0.00
	max	0.46	0.37	0.34	0.01
	x	0.37	0.32	0.31	0.01
	o	0.12	0.08	0.05	0.00
62	min	0.07	0.21	0.36	0.01
	max	0.17	0.46	0.71	0.01
	x	0.12	0.37	0.51	0.01
	o	0.04	0.10	0.14	0.00
70	min	0.02	0.00	0.68	0.00
	max	0.16	0.18	0.97	0.16
	x	0.09	0.04	0.84	0.03
	o	0.04	0.04	0.08	0.04
71	min	0.06	0.00	0.48	0.20
	max	0.21	0.03	0.68	0.31
	x	0.16	0.01	0.57	0.26
	o	0.05	0.01	0.08	0.04

Se utilizará la siguiente leyenda de colores para zona mineral – MINZ (

Tabla 4.14):

Tabla 4.14: Leyenda de colores para MINZONE.

Color	MINZone
	Cc+Py
	Cc+Cv+Py
	Cc+Cv+Cpy+Py
	Cpy+Py

Bn+Cpy(+Py)

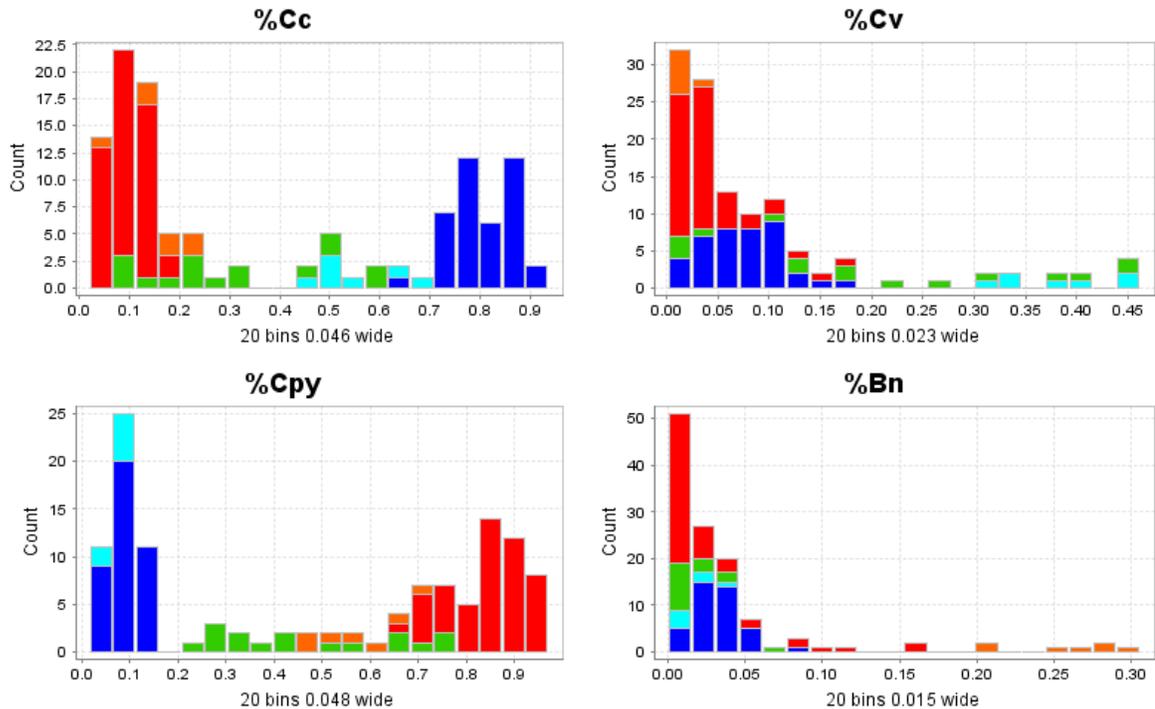


Figura 4.2: Histogramas de las concentraciones modelos relativas de los sulfuros de Cu índices para la clasificación en MINZONE. Coloración según leyenda (ver tabla). N = 120 muestras.

La zona mineral queda definida mayormente por el porcentaje relativo entre Calcosina y Calcopirita, que por lo general es el mayor porcentaje de sulfuros de Cu contenido en cada muestra. Por esto se logra discriminar con facilidad las zonas minerales en un gráfico Cc-Cpy. Las zonas Cc y Cc+Cv quedan aisladas en un porcentaje bajo de Cpy, con una distancia entre ellas por el porcentaje de Cc, cuyo complemento es de Cv. Las zonas Cpy y Cpy+Bn quedan en la esquina de baja Cc y alta Cpy, con la zona Cpy+Bn levemente con menor porcentaje de Cpy. Las mezclas de zonas de primario y secundario quedan repartidas entre estos dos grupos extremos (Figura 4.3).

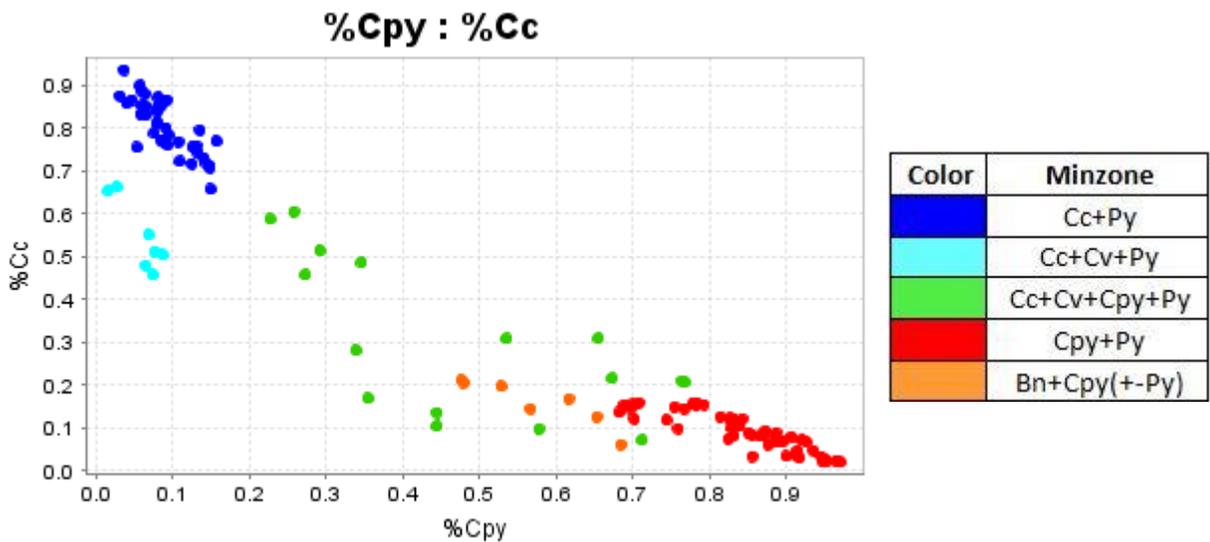


Figura 4.3: Clasificación de las muestras en MINZONE según contenido modal relativo de Calcosina y Calcopirita. Coloración según MINZONE. N = 120 muestras.

4.1.1.3 Relación entre alteración y zona mineral

Se hace un conteo de la correspondencia entre alteración y zona mineral para las 120 muestras del QemSCAN (Tabla 4.15).

Tabla 4.15: Correspondencia entre alteración y zona mineral para las 120 muestras del QemSCAN.

ALT MINZ	Cc+Py	Cc+Cv+Py	Cc+Cv+Cpy+Py	Cpy+Py	Bn+Cpy(+Py)
FeldK > Bt			3	6	3
FeldK < Bt				3	4
Chl+Ser+Arc+Qz				9	
Ser+Qz	10	3	7	9	
Ser+Qz+Arc	28	3	6	23	
Alt Supérgena	2	1			

Las zonas mineralógicas secundarias Cc+-Cv+Py ocurren en alteraciones Sericíticas (Ser+Qz +- Arcillas), con preferencia a la alteración sericítica con presencia de arcillas y en las alteraciones argílicas, aunque sólo tres muestras tienen esta alteración.

La zonas mineralógica primaria Cpy+Py ocurre en todas las alteraciones excepto argílica: potásicas (+-Bt+-FeldK), Cloríticas (Chl+Ser+-Arc+-Qz) y Sericíticas (Ser+Qz

+Arcillas). La zona mineralógica Bn+Cpy+-Py se encuentra sólo en las alteraciones potásicas.

La zona mineralógica que combina sulfuros primarios y secundarios (Cc+-Cv+Cpy+Py) se encuentra repartida entre las distintas alteraciones, sin embargo está subrepresentada en número de muestras (16), por lo que no es concluyente.

4.1.2 Liberación

La liberación en el QemSCAN viene especificada como el porcentaje de las partículas liberadas, por porcentaje de superficie libre (>90%, 90-60%, 60-30% y <30%) y por granulometría (global, -1000/+150, -150/+53 y -53/0 μm) del sulfuro de Cu. La liberación <30% viene separada en 3 grupos, dependiendo de la relación del sulfuro con el resto de los minerales: diseminado, ocluido y lateral.

El enfoque de este estudio se centra en las partículas satisfactoriamente liberadas (>90%) y en las partículas cuya liberación es defectuosa (<30% - diseminado, ocluido y lateral), con la idea de encontrar una relación entre estas categorías de liberación extremas y algún parámetro mineralógico o textural. Las categorías intermedias (90-60% y 60-30%) se pueden modelar con referencia al comportamiento de los extremos.

4.1.2.1 Histogramas de liberación

La liberación >90% global (todos los tamaños de partícula) tiene un mínimo = 28.82%, max = 87.38% y media = 59.91%, con una desviación estándar $\sigma = 13.31$. En el histograma de la liberación >90% global se observan 3 grupos - 31.5-38.5%, 38.5-56% y 56-80.5% (Figura 4.4).

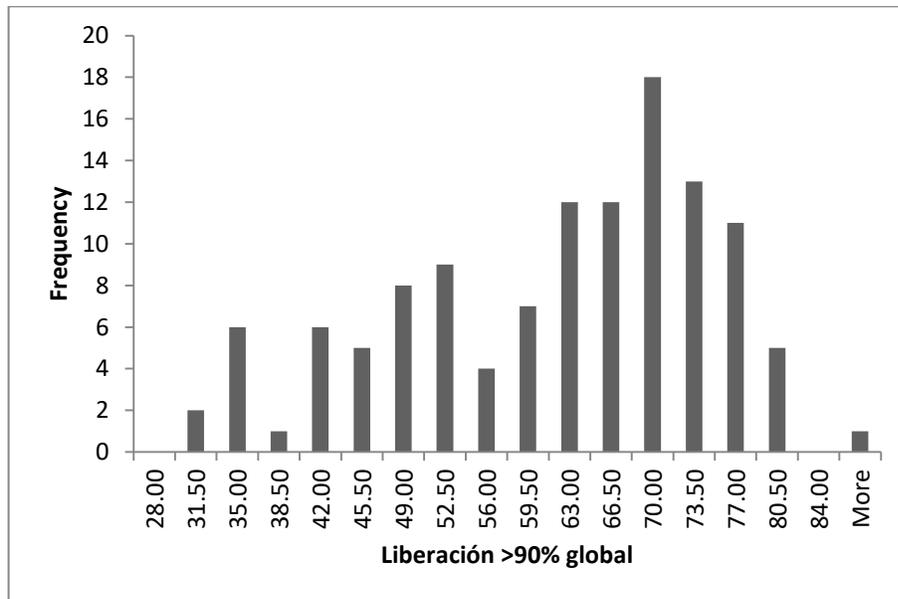


Figura 4.4: Histograma del grado de liberación >90% global (% de superficie). N = 120 muestras.

La liberación >90% en el rango -150/+53 μm tiene un mínimo = 2.63%, max = 24.48% y media = 10.14%, con una desviación estándar $\sigma = 4.65$. En el histograma de la liberación >90% -150/+53 μm se observan 3 grupos: 4-14.5%, 14.5-20.5% y 20.5-25% (Figura 4.5). Los últimos dos están definidos de forma débil y representan pocos datos.

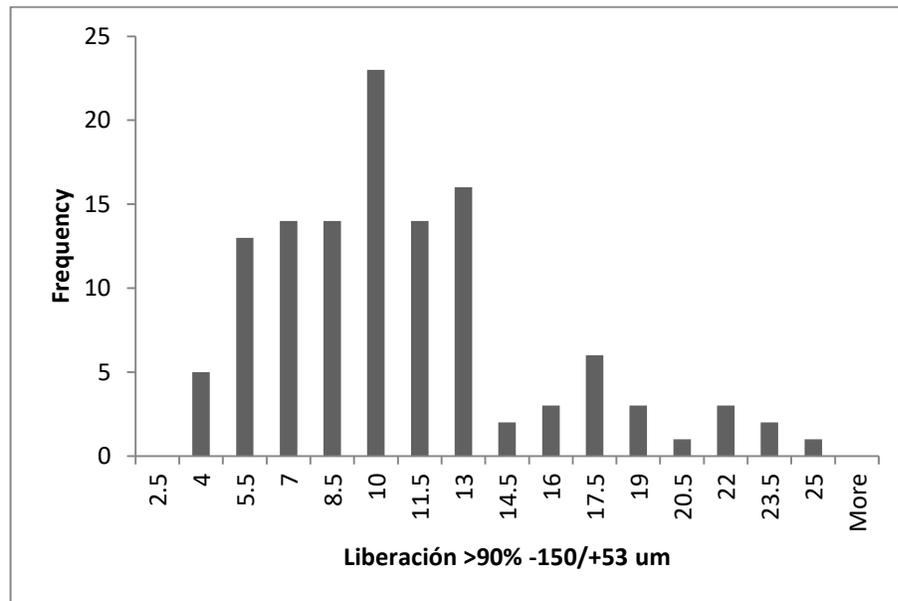


Figura 4.5: Histograma de liberación >90% -150/+53 μm . N = 120 muestras.

La liberación >90% en el rango -53/0 μm tiene un mínimo = 25.12%, max = 81.96% y media = 48.92%, con una desviación estándar $\sigma = 11.64$. En el histograma de la liberación >90% -53/0 μm se observa una distribución algo difusa, con alta densidad de datos alrededor de 55% (Figura 4.6).

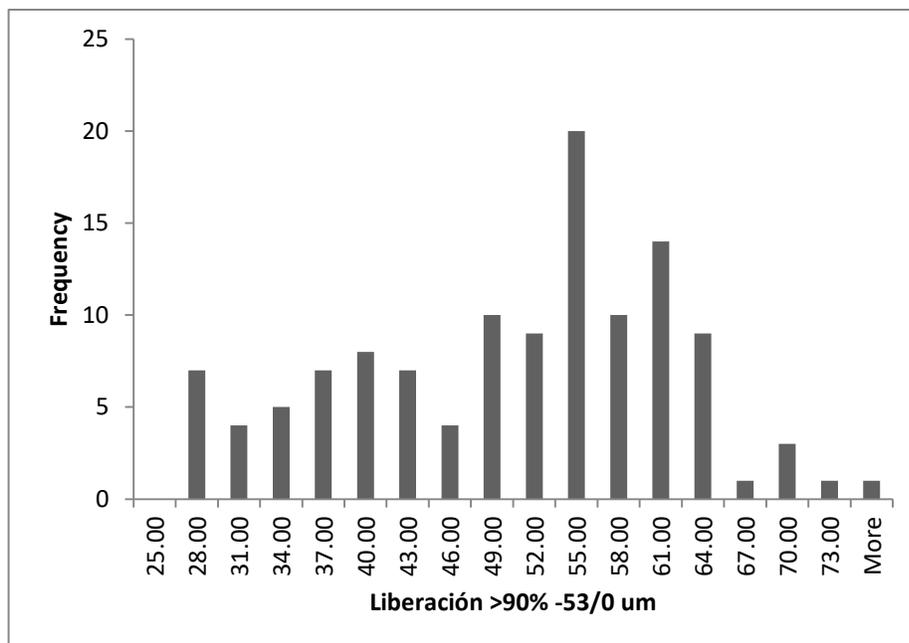


Figura 4.6: Histograma de liberación >90% -53/0 μm . N = 120 muestras.

La liberación 90-60% global (todos los tamaños de partícula) tiene un mínimo = 2.49%, max = 38.64% y media = 17.24%, con una desviación estándar $\sigma = 6.28$. En el histograma de la liberación 90-60% global se observa 1 grupo, relativamente normal y bien definido, con valores extremos bajos y altos (Figura 4.7). La parte superior del grupo podría tratarse de un grupo independiente.

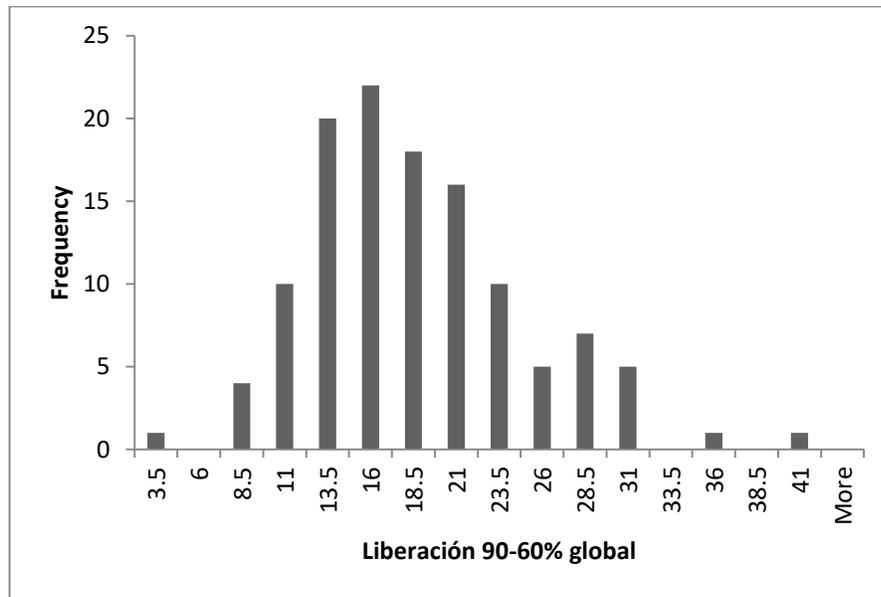


Figura 4.7: Histograma de liberación 90-60% global. N = 120 muestras.

La liberación <30% diseminado global (todos los tamaños de partícula) tiene un mínimo = 0.46%, max = 14.58% y media = 1.60%, con una desviación estándar $\sigma = 2.13$. En el histograma se observa 1 grupo entre 0.5 y 3%, algo difuso hacia el extremo superior, y 5 valores extremos: uno alrededor de 4% y tres entre 11 y 15% (Figura 4.8).

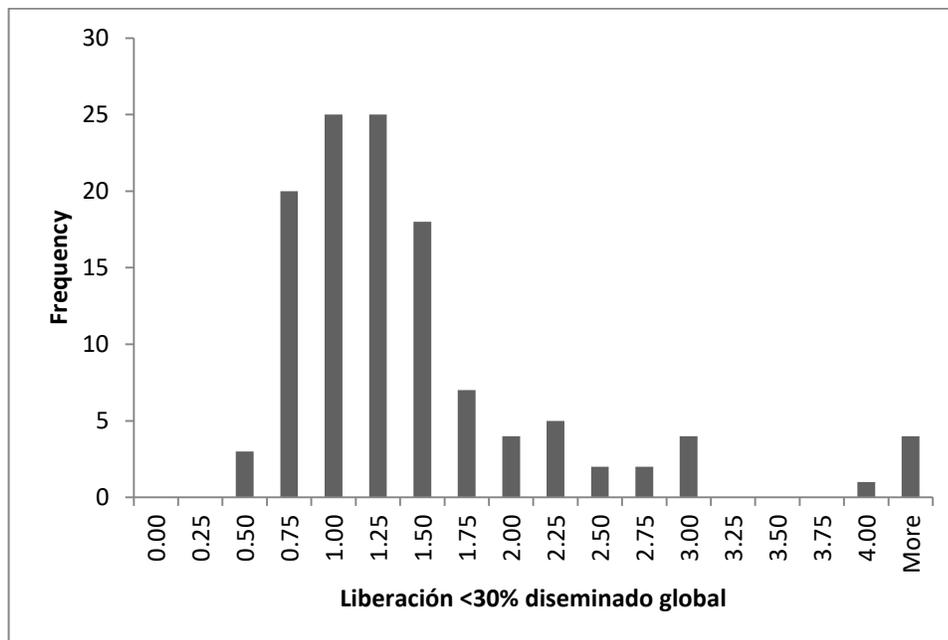


Figura 4.8: Histograma de liberación <30% global con ocurrencia diseminada. N = 120 muestras.

La liberación <30% ocluido global (todos los tamaños de partícula) tiene un mínimo = 0.48%, max = 8.22% y media = 1.79%, con una desviación estándar $\sigma = 1.00$. En el histograma se observa un grupo entre 1 y 4% y un valor extremo de 8.22% (Figura 4.9).

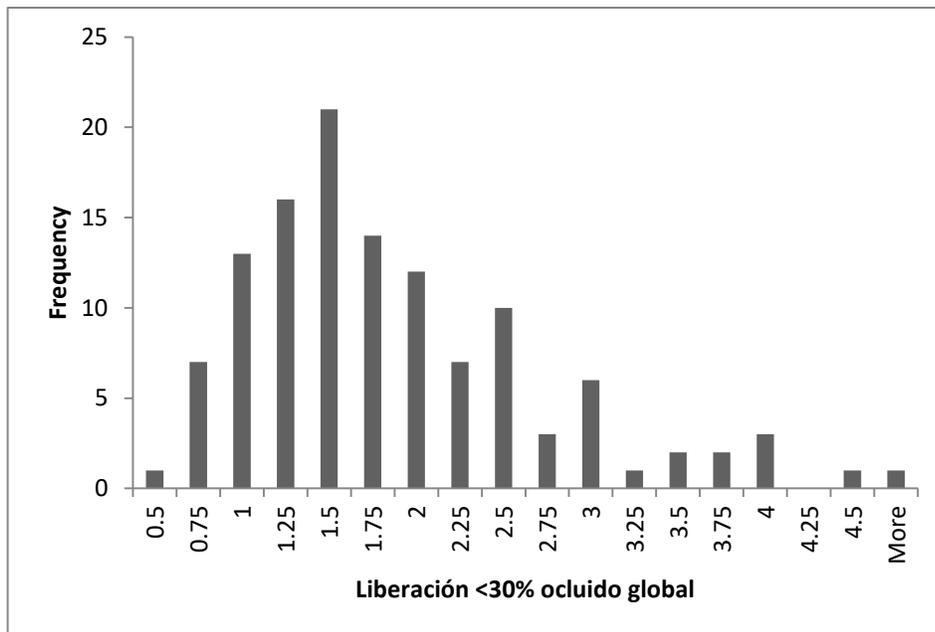


Figura 4.9: Histograma de liberación <30% global con ocurrencia ocluida. N = 120 muestras.

La liberación <30% por asociación lateral global (todos los tamaños de partícula) tiene un mínimo = 3.86%, max = 24.59% y media = 10.02%, con una desviación estándar $\sigma = 4.40$. El histograma presenta un grupo entre 4 y 20% y valores extremos entre 22 y 25% (Figura 4.10).

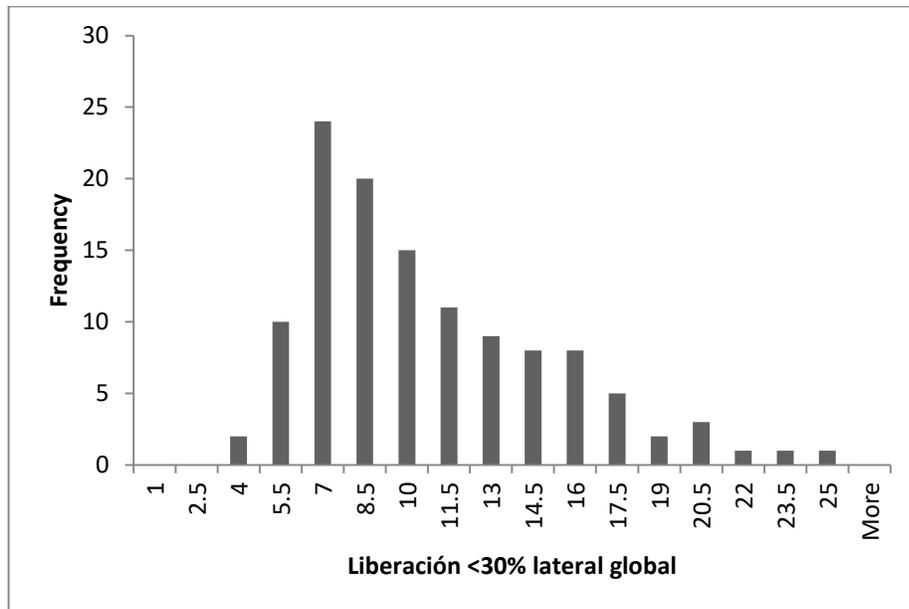


Figura 4.10: Histograma de liberación <30% global con ocurrencia lateral. N = 120 muestras.

4.1.2.2 Correlación entre datos de liberación

La matriz de correlación entre los datos de liberación en todos los porcentajes de liberación y rangos de tamaño se puede encontrar en anexos 9.3. Aquí se muestran las correlaciones de las variables liberación >90% global, liberación 90-60% global y liberación <30% diseminado, ocluido y lateral.

Se observa que la liberación >90% global tiene una fuerte correlación ($r = 0.92$) con la liberación >90% en el rango $-53/0 \mu\text{m}$ (Tabla 4.16 y Figura 4.11). La correlación mejora a $r = 0.99$ si se considera la relación entre la liberación >90% global y la suma de la liberación >90% en los rangos de tamaño $-150/+53$ y $-53/0 \mu\text{m}$ (Figura 4.12). Esto tiene relación con que la liberación >90% global es la suma de la liberación en los tres tamaños, y la liberación >90% en el tamaño $-1000/+150 \mu\text{m}$ es mucho más baja que en los otros dos tamaños menores (Figura 4.13).

Tabla 4.16: Coeficientes de correlación entre la liberación >90% global y el resto de parámetros de liberación. N = 120 muestras.

	<i>Lib90 Global</i>
Lib90 Global	1.00
Lib90 -1000/150	0.06
Lib90 -150/+53	0.54
Lib90 -53/+0	0.92
Libdis glob	0.06
Libdis -1000/150	-0.18
Libdis -150/+53	0.10
Libdis -53/0	0.10
Libocc glob	0.11
Libocc -1000/+150	0.04
Libocc -150/+53	0.04
Libocc -53/0	0.19
Liblat glob	-0.66
Liblat -1000/+150	-0.51
Liblat -150/+53	-0.63
Liblat -53/0	-0.56

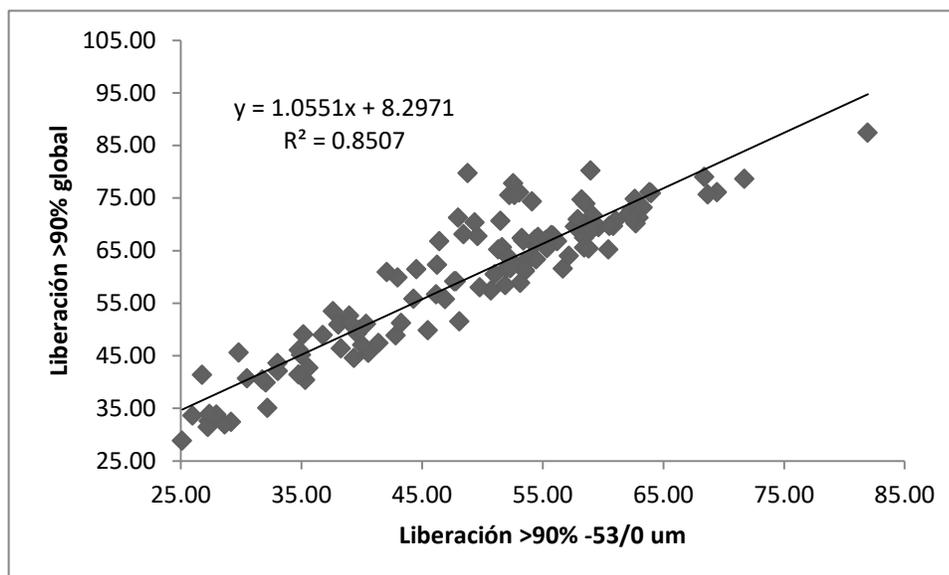


Figura 4.11: Liberación >90% global vs liberación >90% en el rango -53/0 um. N = 120 muestras.

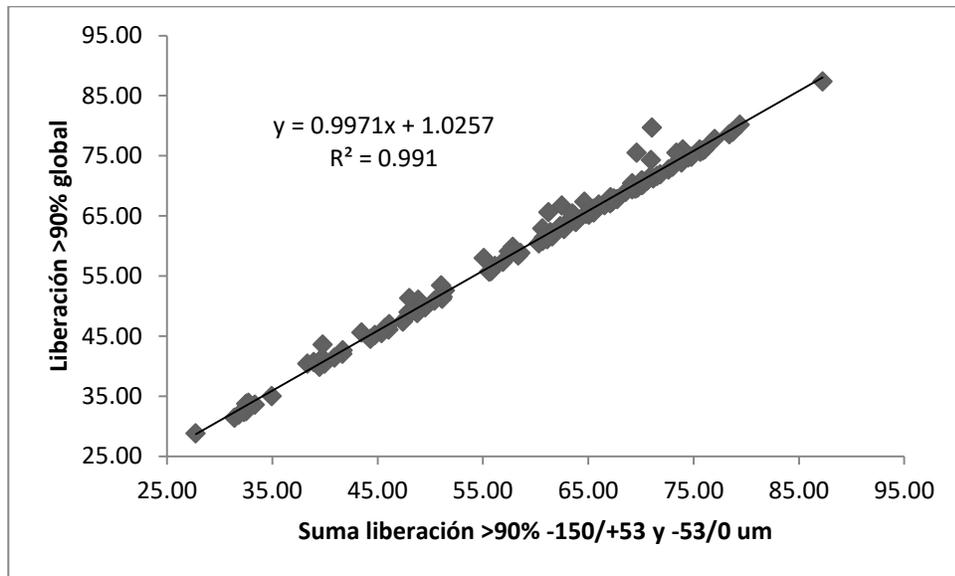


Figura 4.12: Liberación >90% global vs la suma de las liberación >90% en los rangos -150/+53 y -53/0 um.

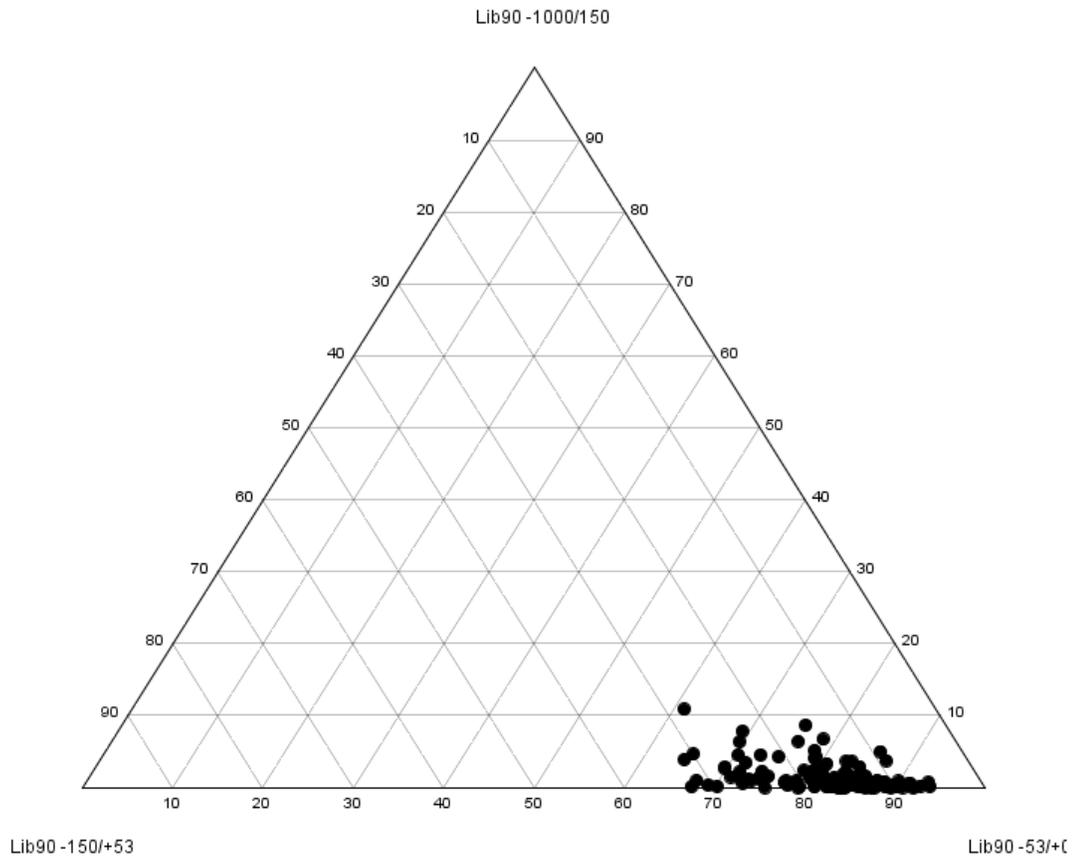


Figura 4.13: Repartición porcentual de la liberación >90% global entre los distintos tamaños de partícula. N = 120 muestras.

La liberación >90% global se correlaciona inversamente con la liberación <30% por asociación lateral global y sus sub-categorías de tamaños (-1000/+150, -150/+53 y -53/0 μm), con coeficientes entre $r = -0.51$ y $r = -0.66$, lo que está relativamente impuesto debido a que el porcentaje de liberación en todas las categorías de liberación debe sumar 100% (Tabla 4.16).

Se observa que la liberación >90% global tiene una correlación inversa con la liberación 90-60% ($r = -0.80$). Esto es porque entre los 6 grupos de % de liberación (>90, 90-60, 60-30, <30 dis, <30 occ, <30 lat) deben sumar 100%, y los grupos >90% y 90-60 suman la gran parte de las partículas de sulfuros (min = 54.54%, max = 90.09%, media = 77.15%) (Tabla 4.16).

La liberación <30% en ocurrencia diseminada global (Libdis glob) se correlaciona bien con la liberación <30% en ocurrencia diseminada en los rangos de tamaño -150/+53 y -53/0 μm , con $r = 0.96$ y $r = 0.94$ respectivamente. La correlación se mantiene también con el tamaño más grande -1000/+150, aunque de forma más débil, $r = 0.62$ (Tabla 4.17).

Además, la liberación <30% en ocurrencia diseminada se correlaciona con $r = 0.73$ con la liberación <30% de partículas ocluidas -53/0 μm y cada vez menos a medida que aumenta el tamaño de partícula ocluida (-150/+53 y -1000/+150) (Tabla 4.17). Esto podría deberse a la semejanza de las partículas diseminadas y ocluidas frente al ensayo de QemSCAN en el rango de tamaño más pequeño y su mejor diferenciación en tamaños mayores.

Tabla 4.17: Coeficientes de correlación entre la liberación <30% global (diseminada) y el resto de los parámetros de liberación <30%. N = 120 muestras.

	<i>Libdis glob</i>
Libdis -1000/150	0.62
Libdis -150/+53	0.96
Libdis -53/0	0.94
Libocc glob	0.39
Libocc -1000/+150	-0.08
Libocc -150/+53	0.52
Libocc -53/0	0.73
Liblat glob	0.23
Liblat -1000/+150	-0.03
Liblat -150/+53	0.22
Liblat -53/0	0.33

La liberación <30% de partículas ocluidas global (Libocc glob) se correlaciona relativamente bien con la liberación <30% ocluida en los rangos de tamaño -1000/+150 y -150/+53 μm , con $r = 0.81$ y $r = 0.77$ respectivamente (Tabla 4.18). La disminución de la correlación puede explicarse por la semejanza de los sulfuros diseminados y ocluidos en los tamaños menores frente al ensayo QemSCAN.

Tabla 4.18: Coeficiente de correlación entre la liberación <30% global (ocluida) y el resto de los parámetros de liberación <30% (ocluida y lateral). N = 120 muestras.

	<i>Libocc glob</i>
Libocc -1000/+150	0.81
Libocc -150/+53	0.77
Libocc -53/0	0.41
Liblat glob	-0.10
Liblat -1000/+150	-0.14
Liblat -150/+53	-0.13
Liblat -53/0	0.01

La liberación <30% de sulfuros laterales global (Liblat glob) se correlaciona bien con la liberación <30% por asociación lateral, en los rangos de tamaño -150/+53 y -53/0 μm , con $r = 0.93$ y $r = 0.90$ respectivamente (Tabla 4.19). La correlación se mantiene de forma más débil en el rango de tamaño más grande -1000/+150, con $r = 0.73$.

Tabla 4.19: Coeficiente de correlación entre la liberación <30% global (lateral) y el resto de los parámetros de liberación <30% (lateral). N = 120 muestras.

	<i>Liblat glob</i>
Liblat -1000/+150	0.73
Liblat -150/+53	0.93
Liblat -53/0	0.90

La liberación <30% en ocurrencia diseminada, tiene aporte repartido entre los distintos tamaños, con leve preferencia al tamaño -150/+53 μm (Figura 4.14).

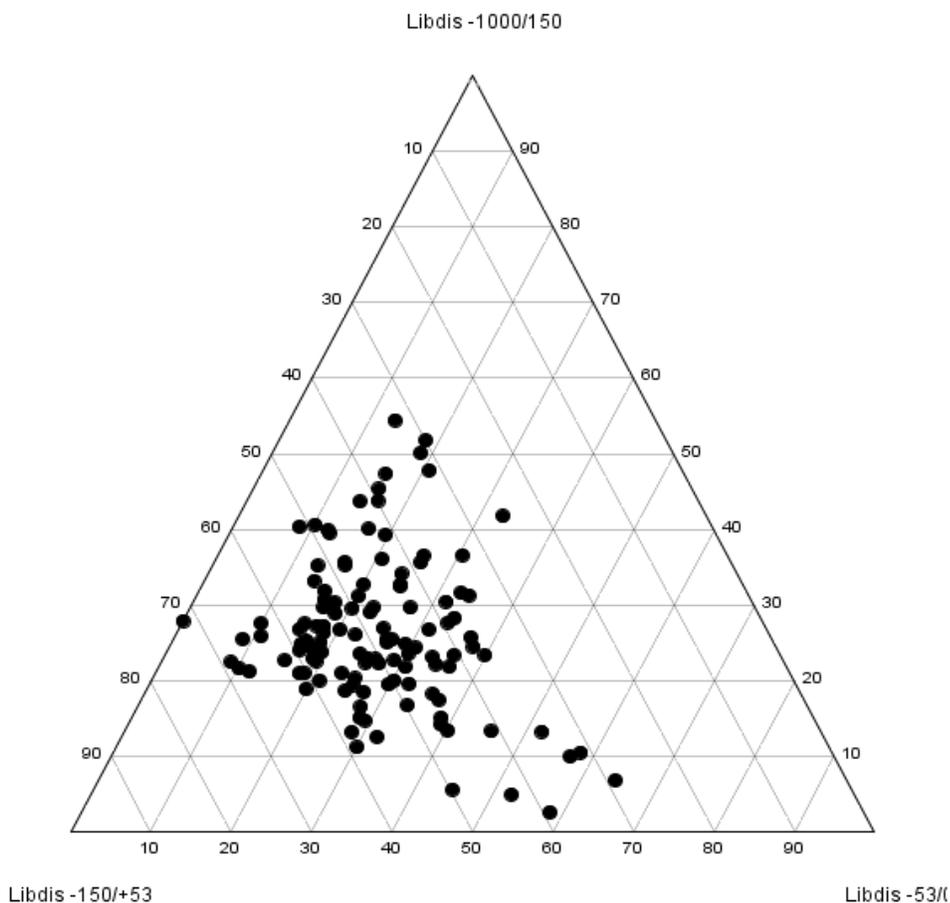


Figura 4.14: Repartición porcentual de la liberación <30% diseminada entre los distintos tamaños de partícula. N = 129 muestras.

La liberación <30% ocluida tiene su aporte mayor en el tamaño -1000/+150 μm , en segundo lugar en el tamaño -150/+53 μm mayormente, y sólo algunas muestras muestran aporte significativo en el tamaño menor a 53 μm (Figura 4.15).

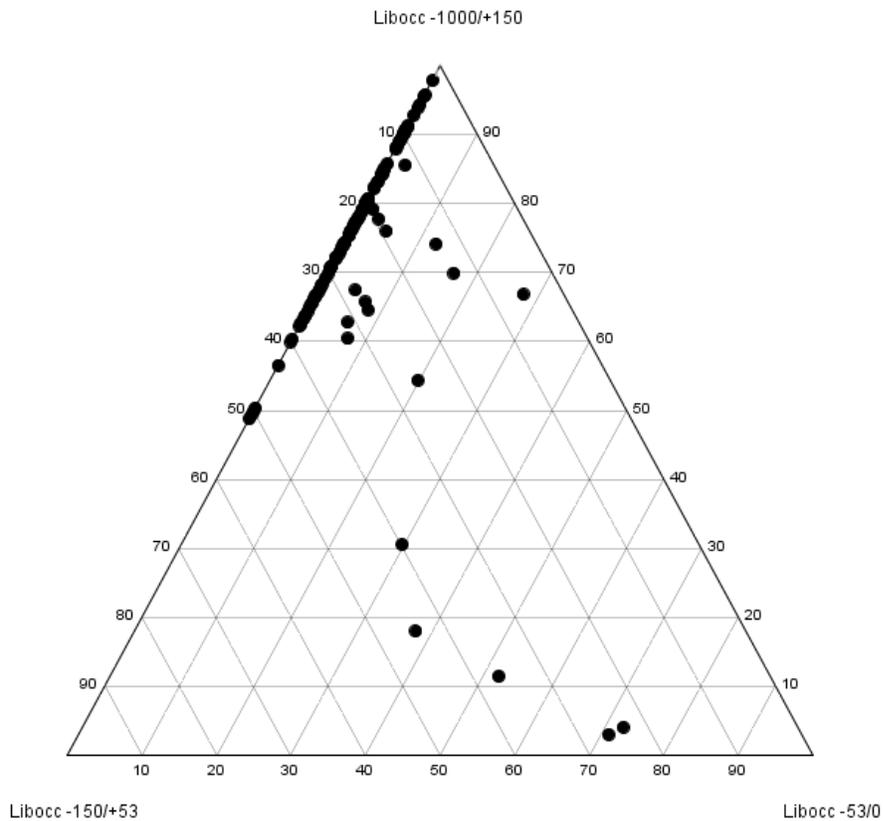


Figura 4.15: Repartición porcentual de la liberación <30% ocluida entre los distintos tamaños de partícula. N = 120 muestras.

La liberación <30% por asociación lateral global tiene su aporte mayormente (>60%) mediante los tamaños -150/+53 y -1000/+150 μm , con solo 2 muestras con más del 40% en el rango -53/0 μm (Figura 4.16).

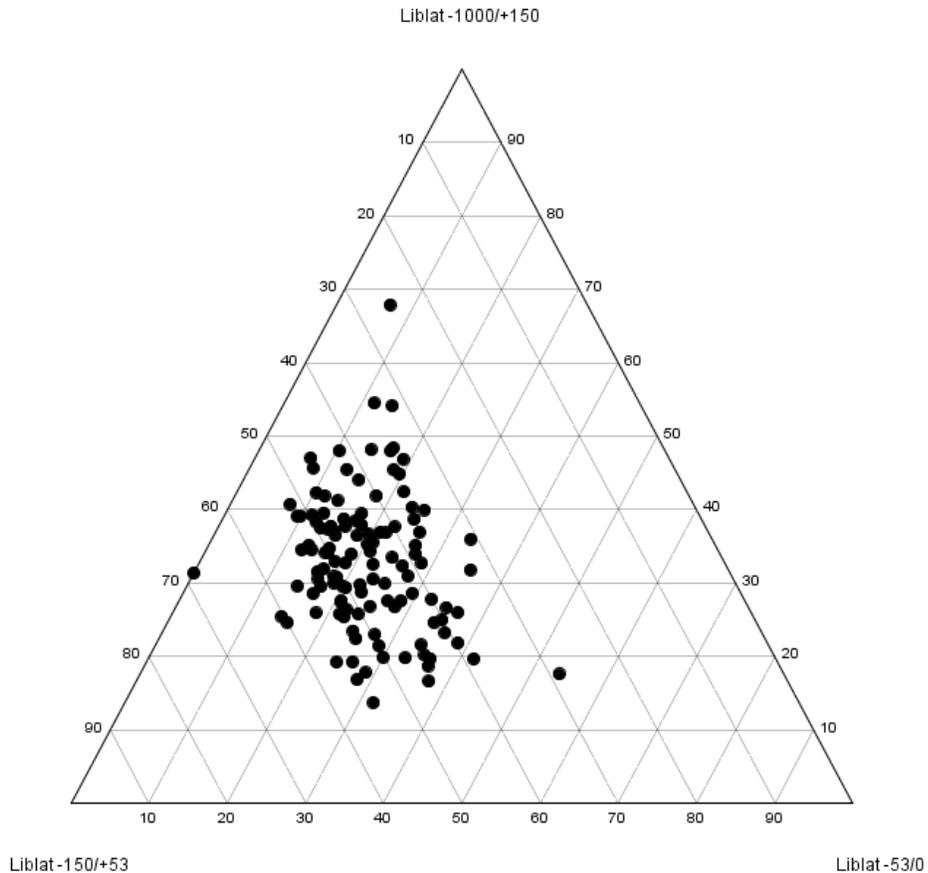


Figura 4.16: Repartición porcentual de la liberación <30% lateral entre los distintos tamaños de partícula. N = 120 muestras.

4.1.2.3 Liberación por grupos de alteración

Se hace el análisis de histogramas coloreando por alteración. Se muestran los histogramas de liberación >90% global y de la liberación <30% en sus tres ocurrencias - diseminado, ocluido y lateral.

La liberación >90% global de las alteraciones cuarzo-sericíticas y la alteración supérgena se distribuyen por todo el rango de liberación, mientras que el resto de las alteraciones tienen una cota inferior de 50% de partículas liberadas (Figura 4.17). Esto se reafirma con la liberación lateral, donde todas las alteraciones excepto las cuarzo-sericíticas tienen valores más bajos que ésta, con cota superior 17.5%.

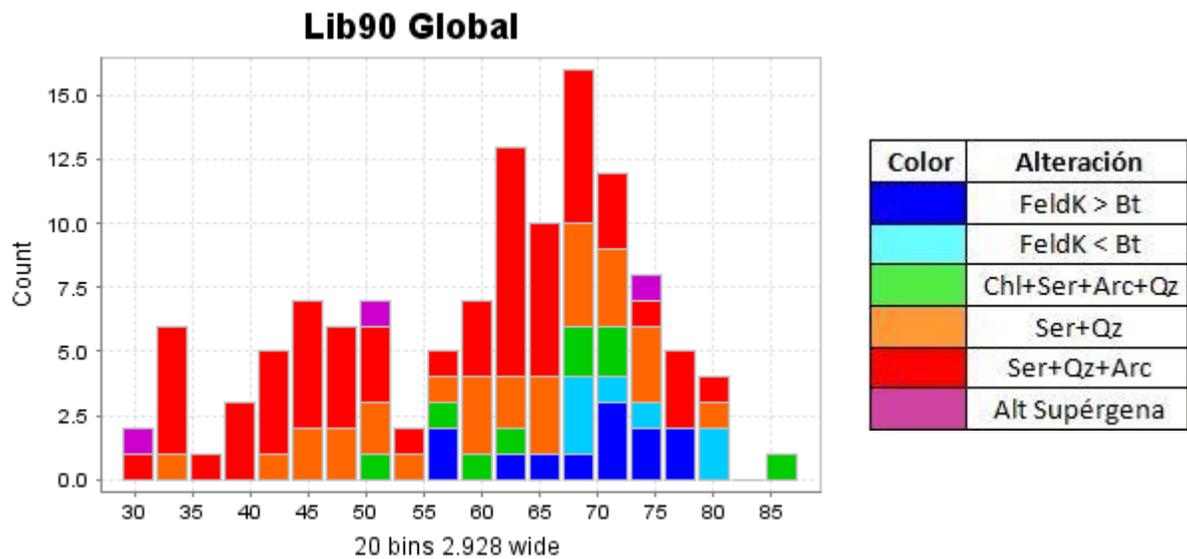


Figura 4.17: Histograma de liberación >90% global, coloreada por alteración. N = 120 muestras.

No se observa una diferencia predominante entre las alteraciones para la liberación <30% en ocurrencia diseminada (Figura 4.18), pero se observan 4 valores extremos, con valores >10%, con alteración Potásica y Clorítica. Tampoco se identifica diferencias importantes entre la liberación <30% por oclusión y los grupos de alteración (Figura 4.19).

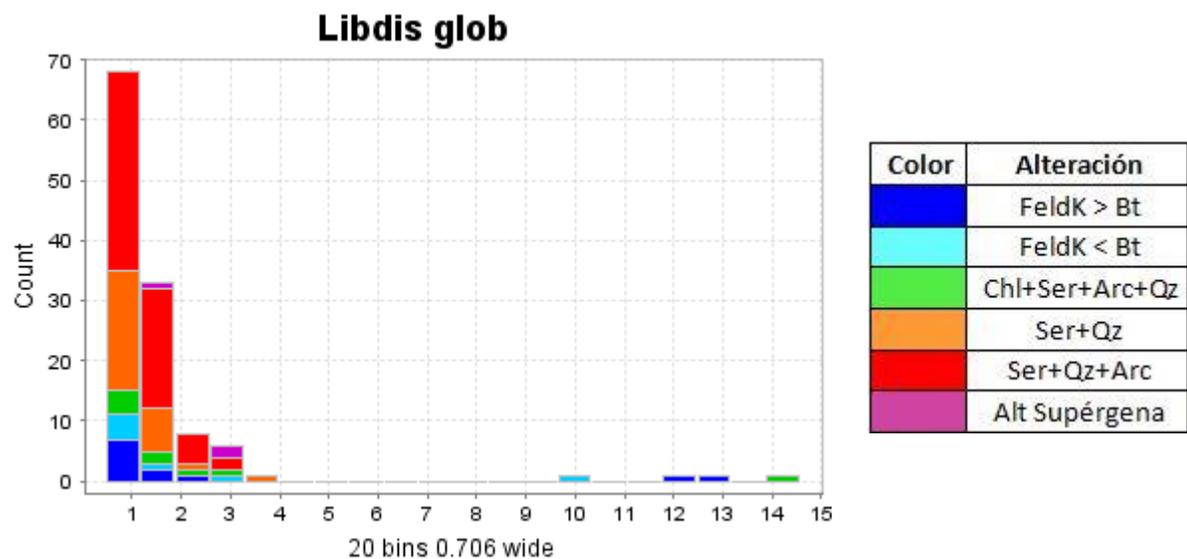


Figura 4.18: Histograma de liberación <30% global con ocurrencia diseminada, coloreada por alteración. N = 120 muestras.

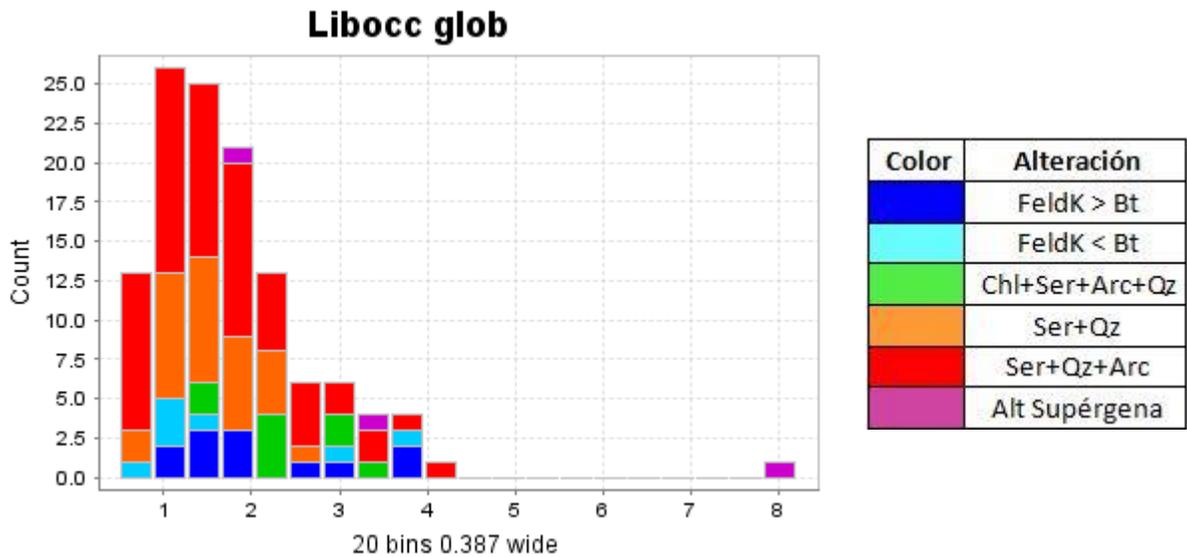


Figura 4.19: Histograma de liberación <30% global con ocurrencia ocluida, coloreada por alteración. N = 120 muestras.

En el triángulo de liberación <30% diseminado, en ocurrencia ocluida y lateral, se observa una tendencia de las alteraciones cuarzo-sericíticas de tener un mayor porcentaje relativo de liberación <30% por asociación lateral que el resto de las alteraciones (Figura 4.21).

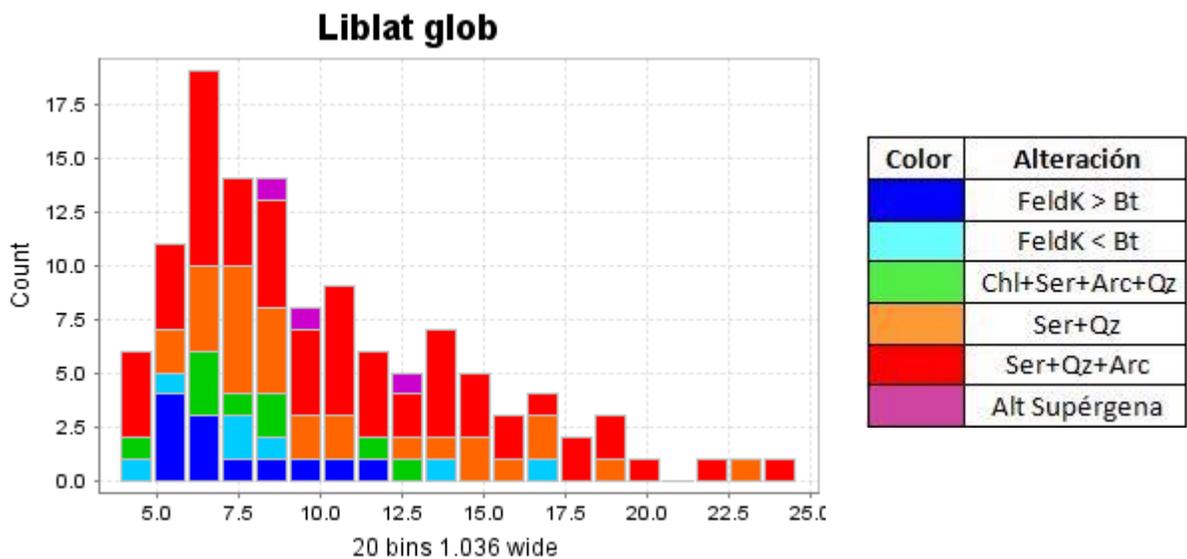


Figura 4.20: Histograma de liberación <30% global con ocurrencia lateral, coloreada por alteración. N = 120 muestras.

Cuatro muestras (3 de alteraciones potásicas y 1 de clorítica) se comportan como extremos, con liberación <30% en ocurrencia diseminada muy superior al resto de las muestras.

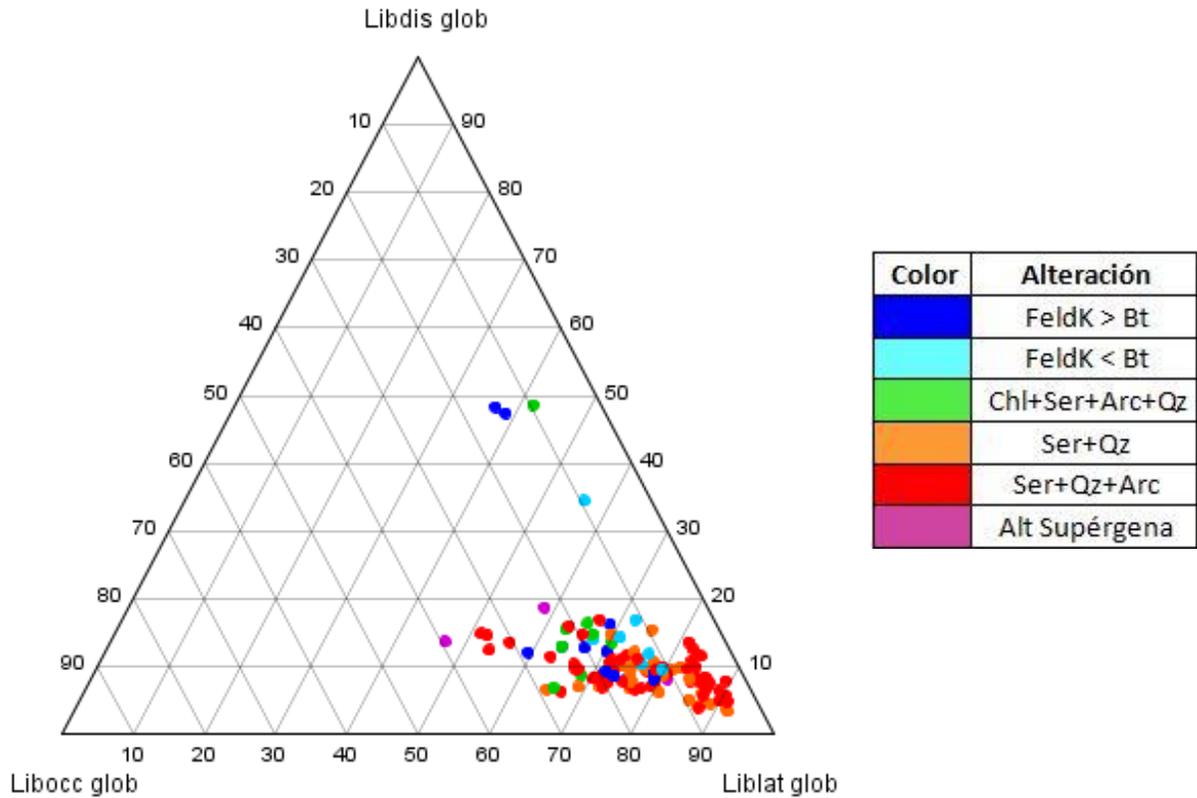


Figura 4.21: Triángulo de repartición entre los tres tipos de liberación <30% global, de asociación diseminada, ocluida y lateral, coloreados por alteración.

4.1.2.4 Liberación por zona mineral (MINZ)

Se hace el análisis de histogramas coloreando por zona mineral. Se muestran los histogramas de liberación >90% global y de la liberación <30% en sus tres ocurrencias, diseminado, ocluido y lateral.

Se observa que la liberación >90% global es mayor para los MINZ de mineralización primaria Cpy+Py y Cpy+Bn+Py, mientras que los MINZ de mineralización secundaria Cc+Py y Cc+Cv+Py mantienen una liberación >90% global inferior (Figura 4.22).

Los MINZ con sulfuros primarios y secundarios son más cercanos al comportamiento de liberación de los MINZ primarios predominantemente, con tasa de

liberación generalmente mejor que los sulfuros los MINZ secundarios Cc+-Cv+Py, lo que se puede observar en varias figuras (Figura 4.22 a Figura 4.25).

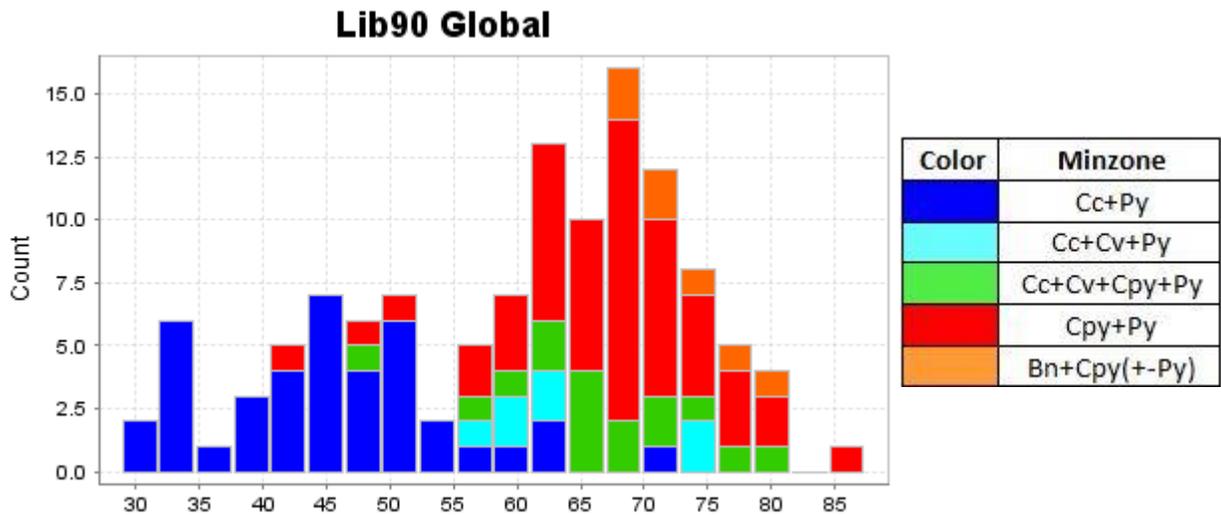


Figura 4.22: Histograma de la liberación >90% global coloreada por MINZ. N = 120 muestras.

Hay 4 valores extremos en la liberación <30% en ocurrencia diseminada, con valores >10%, con MINZ Cpy-Py y Cpy-Bo-Py, pertenecientes a MINZ primario (Figura 4.23) y un valor extremo en ocurrencia ocluida, perteneciente a MINZ secundario Cc+Py (Figura 4.23).

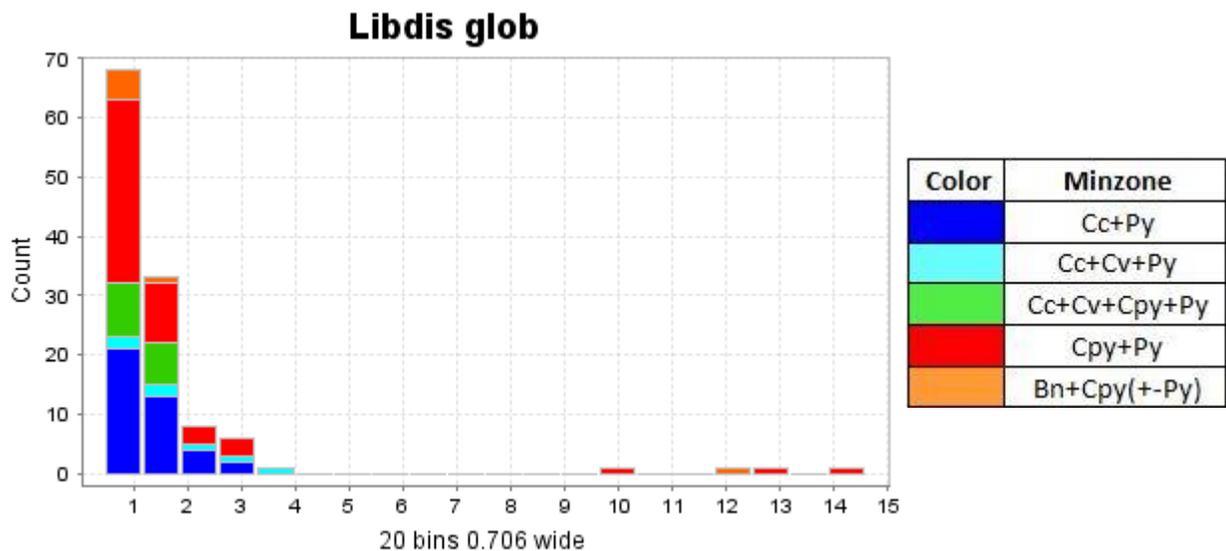


Figura 4.23: Histograma de la liberación <30% en ocurrencia diseminada, coloreada por MINZ. N = 120 muestras.

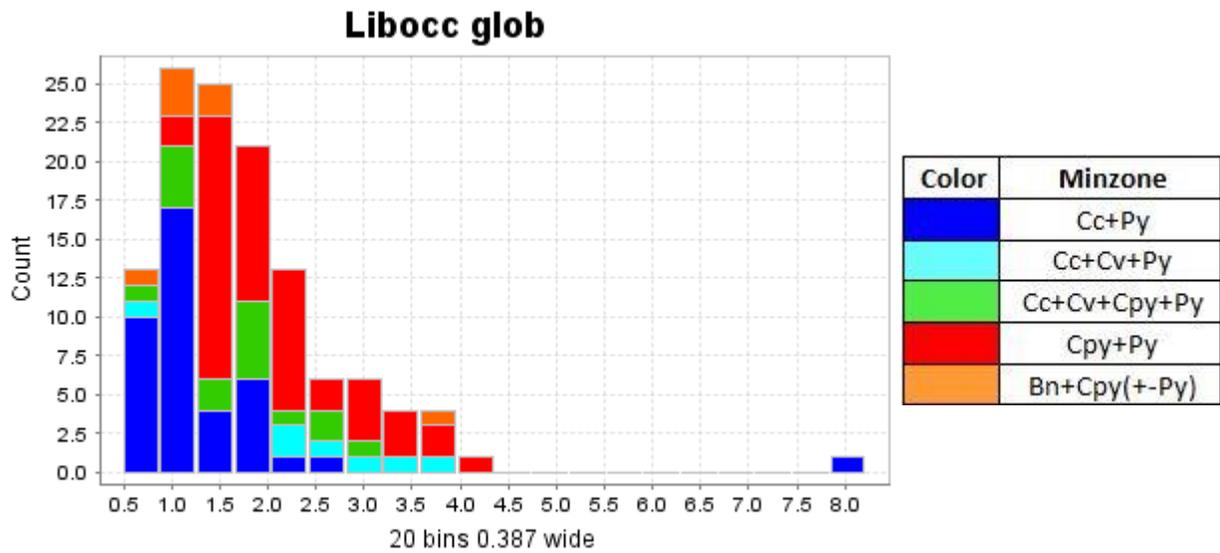


Figura 4.24: Histograma de la liberación <math><30\%</math> global en ocurrencia ocluida, coloreada por MINZ. N = 120 muestras.

La liberación <math><30\%</math> por asociación lateral, que es más baja para los MINZ primarios Cpy+Py y Cpy+Bn+Py y más alta para los MINZ secundarios Cc+Py y Cc+Cv+Py (Figura 4.25).

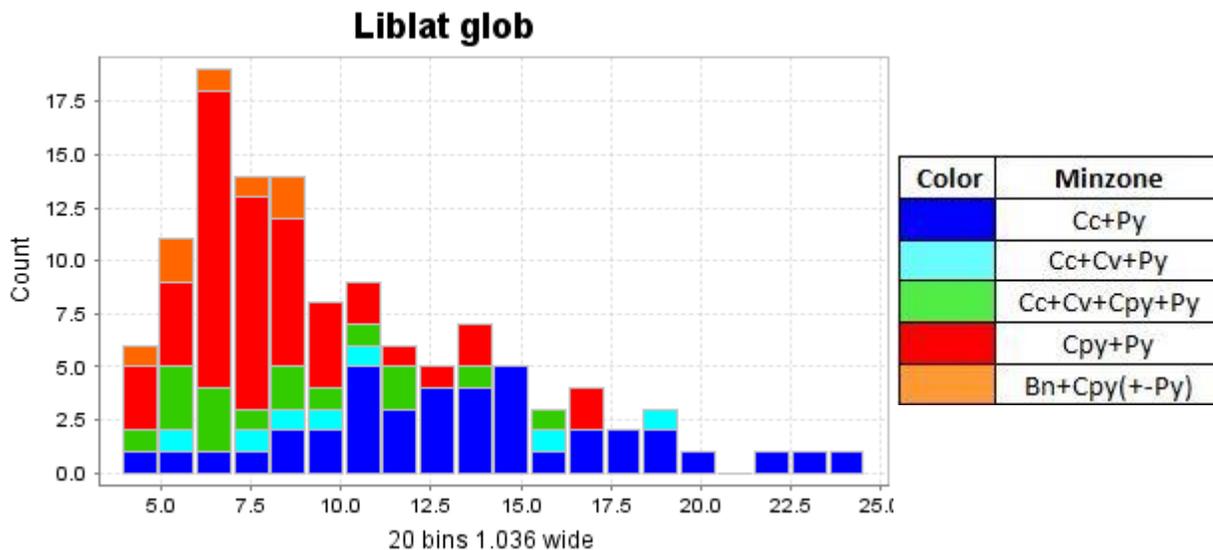


Figura 4.25: Histograma de la liberación <math><30\%</math> global en ocurrencia lateral, coloreada por MINZ. N = 120 muestras.

El MINZ secundario Cc+Py tiene un porcentaje mayor de liberación <math><30\%</math> por ocurrencia lateral que el resto de las alteraciones, exceptuando un valor extremo de

éste con menor asociación lateral y mayor asociación ocluida. Los MINZ primarios Cpy+Py y Bn+Cpy+-Py se disponen relativamente con menor liberación <30% por asociación lateral que el MINZ Cc+Py. Los 4 extremos de alta ocurrencia diseminada son de MINZ primario, Cpy+Py y Cpy+Bo+-Py. El resto de los MINZ (secundario con Cv y los que contienen sulfuros primarios y secundarios) no presentan tendencia de extremos en esta clasificación (Figura 4.26).

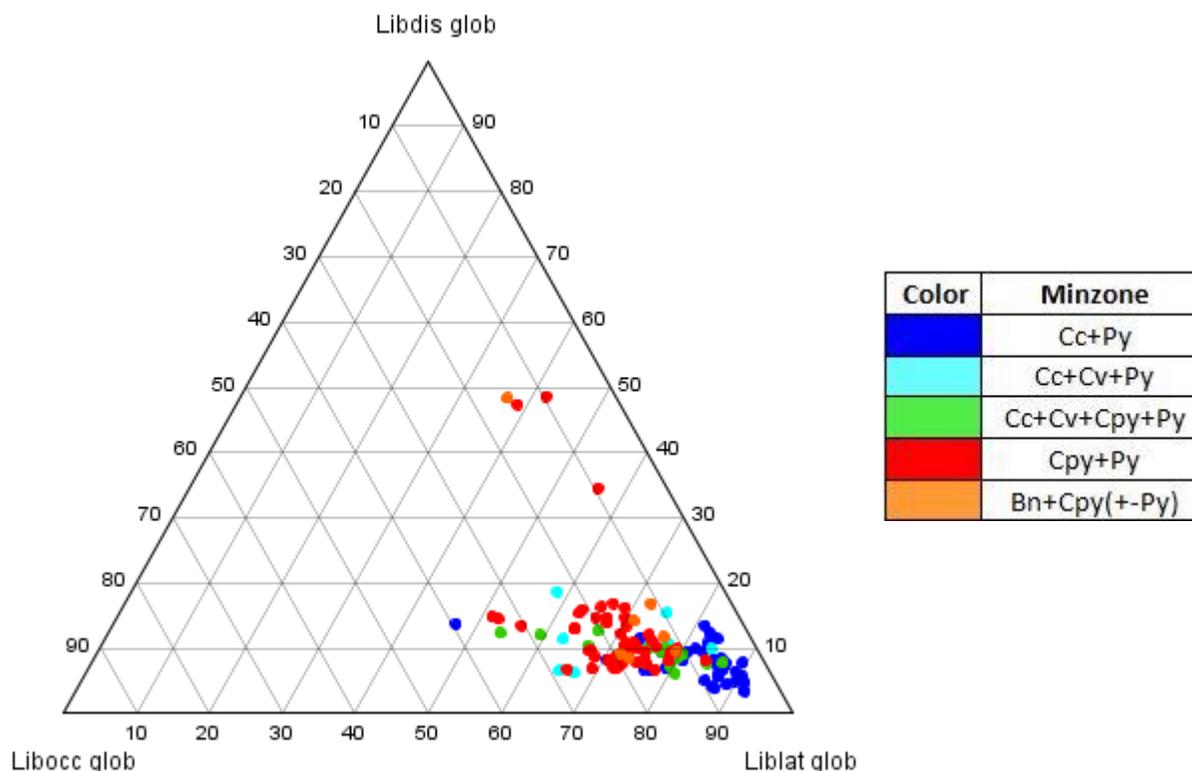


Figura 4.26: Repartición de la liberación <30% global en las tres ocurrencias: diseminado, ocluido y lateral. Colores corresponden a MINZ. N = 120 muestras.

4.1.3 Liberación y mineralogía modal

Se presentan los coeficientes de correlación entre los parámetros de liberación globales, liberación >90%, liberación <30% diseminado, ocluido y lateral, y los parámetros mineralógicos más los elementos Cu y Fe (Tabla 4.20).

Se observan coeficientes altos (valor absoluto) de la liberación >90% global con calcosina (-0.64) y calcopirita (0.47), como también para el contenido relativo de

calcosina a los otros sulfuros de mena (%Cc; -66). La liberación >90% también mantiene una tendencia positiva con los minerales de alteración FdK, Bt, Chl y Qz+F (~0.3), y una tendencia negativa con Kao (-0.39).

La liberación <30% lateral global muestra relación con calcopirita (-0.44) y % Py (0.48), mientras que tiene tendencia negativa con FdK y Qz+F (~-0.3).

Los parámetros de liberación <30% diseminado y ocluido no muestran tendencia importante (>0.3 en valor absoluto) con los parámetros mineralógicos.

Tabla 4.20: Coeficientes de correlación entre parámetros de liberación globales y parámetros mineralógicos combinados. N = 120 muestras.

	<i>Lib90 Global</i>	<i>Libdis glob</i>	<i>Libocc glob</i>	<i>Liblat glob</i>
Cu Com	-0.39	-0.17	-0.15	-0.01
Fe Com	0.03	0.07	0.11	0.25
Chalcocite	-0.64	-0.15	-0.17	0.26
Covellite	0.06	-0.10	-0.07	-0.03
Chalcopyrite	0.47	0.05	0.12	-0.44
Bornite	0.15	0.06	-0.10	-0.15
%Cc	-0.66	-0.09	-0.06	0.36
%Cv	-0.07	-0.08	-0.06	0.06
%Cpy	0.27	-0.01	0.11	-0.26
%Bn	-0.19	0.04	-0.09	0.11
%Cu sulf comb	-0.06	-0.11	-0.07	-0.26
%Py comb	-0.23	-0.04	-0.04	0.48
%Qz comb	-0.19	-0.21	-0.21	0.22
%FdK comb	0.36	0.02	-0.03	-0.39
%Ser comb	-0.19	-0.07	0.08	0.14
%Kao comb	-0.39	0.10	0.28	0.11
%Bt comb	0.35	0.09	0.04	-0.23
%Chl comb	0.31	0.15	0.13	-0.27
%Ar comb	-0.23	0.08	0.30	0.10
%Qz+F comb	0.40	-0.04	-0.23	-0.33

La relación entre la liberación >90% global y el contenido modal de calcosina es negativa ($r = -0.64$). Como la calcosina es indicador de la zona mineralógica secundaria, se puede observar una segregación por MINZ (Figura 4.27). Las muestras

del MINZ mezclado (primario y secundario) están en el rango de liberación alto, asemejando el comportamiento de los MINZ primarios (Cpy/Bn+Py).

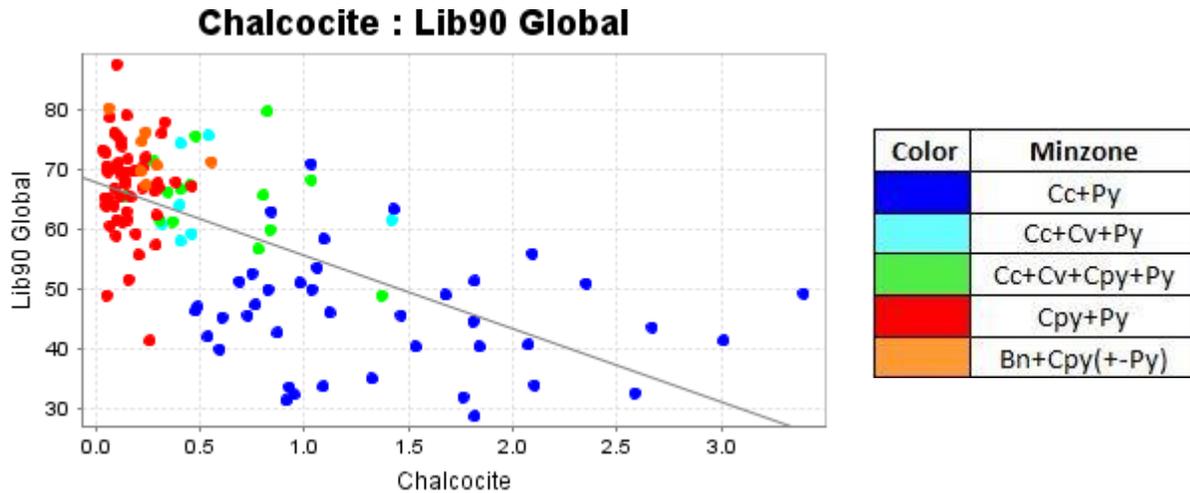


Figura 4.27: Relación negativa entre liberación >90% global y contenido modal de calcosina. Coloración por MINZ. N = 120 muestras.

El contenido modal de calcosina, relativo a otros sulfuros de mena, %Cc, muestra la misma tendencia, pero en las abscisa, los datos están mucho más espaciados (Figura 4.28), segregando aún más los grupos por MINZ, hecho esperable, dado a que este parámetro se calcula con el contenido modal de calcosina. El MINZ mezclado de sulfuros primarios y secundarios se dispone de forma intermedia a ambos grupos.

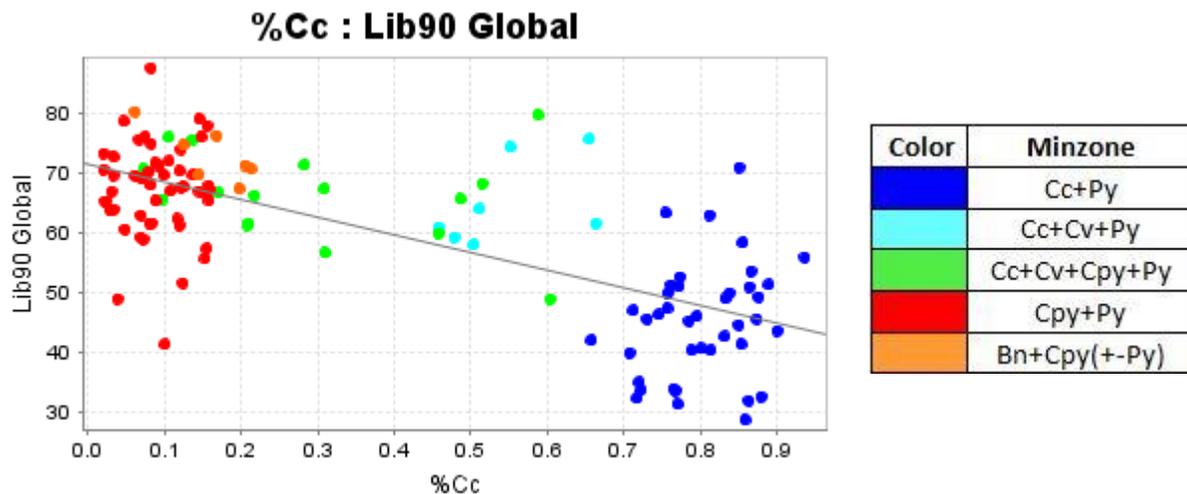


Figura 4.28: Relación negativa entre liberación >90% global y contenido modal de calcosina relativo a los otros sulfuros de mena. Coloración por MINZ. N = 120 muestras.

La relación entre liberación >90% global y pirita tiene un coeficiente de correlación $r = 0.47$, pero está fuertemente segregada por las zonas minerales (Figura). Se trazan las líneas de regresión lineal por grupo de MINZ. En los MINZ primarios (Cpy/Bn+Py) se observa que las regresiones son de pendiente sub-horizontal, mientras que para los MINZ secundarios (Cc/Cv+Py) las pendientes son sub-verticales, por lo que no tienen relación que entregue información importante.

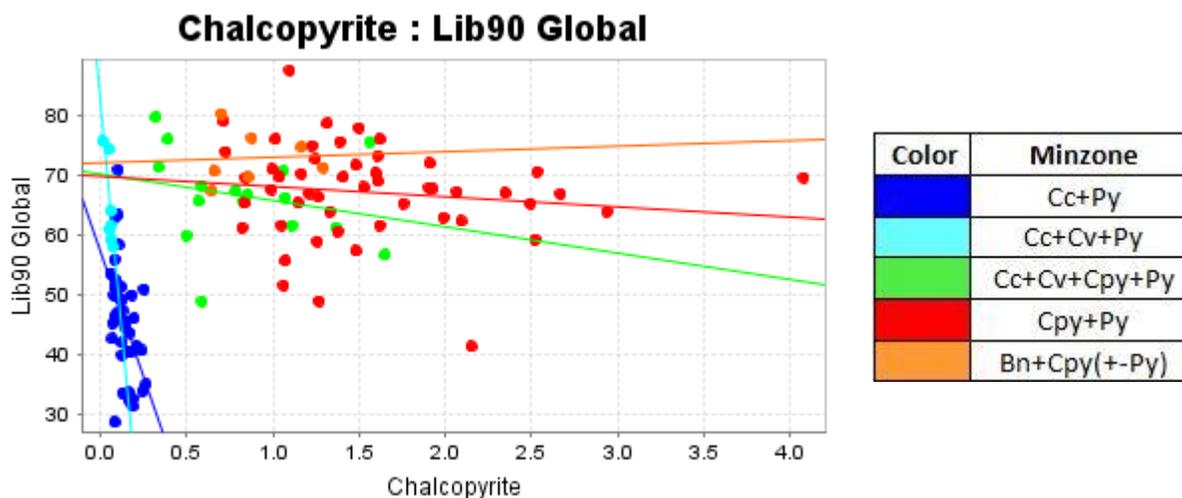


Figura 4.29: Relación entre liberación >90% global y contenido modal de calcopirita. Coloración por MINZ. Regresión lineal por grupo de MINZ. N = 120 muestras.

Los gráficos de liberación >90% global y los minerales índice de alteración que mostraron correlación >0.3, no aportan mayor información, por presentar pendientes sub-horizontales o sub-verticales, o por la cantidad de ruido que presentan. Sin embargo se continúa observando el comportamiento completamente segregado entre las zonas de Cc+Py con respecto al resto de los MINZ.

Este comportamiento segregado entre zonas mineralógicas Cc+Py y los otros MINZ se puede apreciar en un diagrama boxplot (Figura 4.30). Se observa fuerte segregación de la zona Cc+Py con el tercer cuartil con liberación >90% global en 52%, y el resto de las zonas mineralógicas, tanto primarias (Cpy/Bn+Py) como mixtas (Cc/Cv+-Cpy/Bn+Py) con su segundo cuartil con liberación >90% global en 59%. Hay un incremento en la media de liberación a medida que se avanza hacia zonas mineralógicas más primarias, desde 65% en Cc+Cv+Py hasta 73% en Bn+Cpy+-Py.

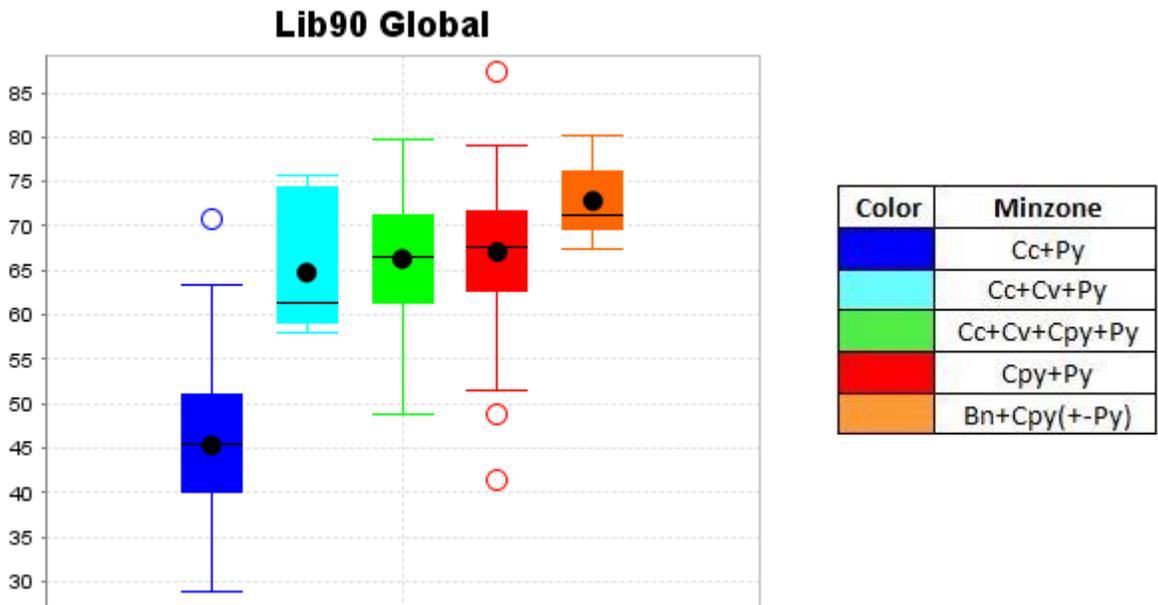


Figura 4.30: Boxplot de liberación por zona mineral. N = 120 muestras.

Se generaron los boxplots para combinaciones de alteración y zona mineral, pero no se encontró mejor segregación que la que proporciona el boxplot por zona mineral (Figura 4.30).

Se presenta también el boxplot por alteración (Figura 4.31). Se observa que la alteración biotítica (FeldK < Bt) tiene liberación >90% global algo superior (73% de media) que el resto de las alteraciones. Hay una disminución en el porcentaje de partículas liberadas a medida que avanza la serie entre alteraciones potásicas (media 70%) hacia alteraciones cuarzo sericíticas (media 56%). Sin embargo, hay un traslape importante entre ellas, lo que no permite una segregación marcada. La alteración supérgena tiene sólo 3 muestras, por lo que no sería concluyente, sin embargo abarca todo el rango de liberación entre 29 y 74%.

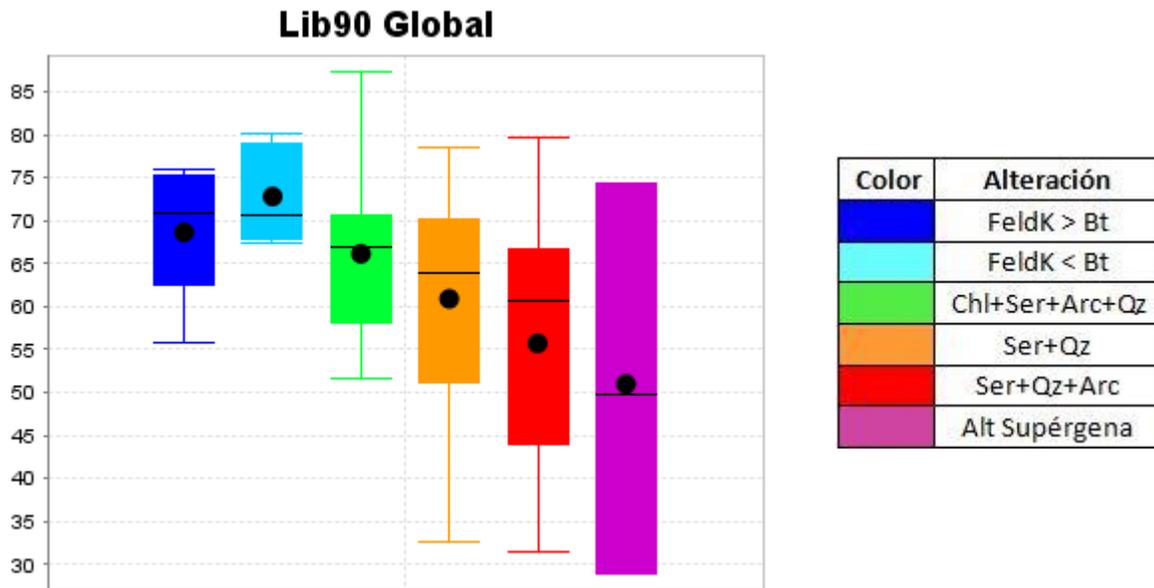


Figura 4.31: Boxplot de liberación >90% global, por alteración predominante. N = 120 muestras.

Se calculan los coeficientes de correlación para los mismos parámetros de la Tabla 4.20, pero esta vez incluyendo los rangos de tamaño (combinado, -1000/+150, -150/+53, -53/0 y -5/0 μm). Las correlaciones que incluyen los parámetros de liberación son inferiores a 0.5 (en valor absoluto) para la mayoría de los parámetros.

El porcentaje modal de calcosina tiene relación inversa con la liberación >90% global y la liberación >90% en el rango de tamaño dominante -53/0 μm . De la mineralogía de ganga, solamente el parámetro %Qz+Feldespatos tiene relación con la liberación (>90% solamente), y en particular en los tamaños -53/+5 y -5/0 μm , con valores del orden de 0.5.

4.1.3.1 Relación entre liberación y mineralogía en MINZ Cc+Py

Al considerar solo el MINZ de enriquecimiento secundario Cc+Py (40 muestras en total), y tomando sólo los parámetros combinados de mineralogía (y Cu, Fe), se calculan los coeficientes de correlación (Tabla 4.21).

Para la liberación >90% global, se observan coeficientes negativos altos para la concentración de calcopirita (-0.48), bornita (-0.42) y %Arcillas (-0.41) y positivos altos para %Feldespatos potásico (0.50) y %Qz+Feldespatos (0.55).

Para la liberación <30% diseminada, se observan valores negativos altos para %Cc (-0.49), y %Qz+F (-0.40), y valores positivos altos para % Cpy (0.51) y %Kao (0.50).

Aquí no se tomarán los sulfuros Cpy y Bn en consideración, dado que su concentración es baja, por definición de esta zona mineralógica.

Para la liberación <30% ocluida se observan con valores negativos altos para %Qz (-0.45), %Qz+F (-0.44) y valores positivos altos para %Kao (0.63) y %Ar (0.55).

Para la liberación <30% por asociación lateral, se observan valores altos negativos para el contenido de Cu (-0.51), calcosina (-0.52), % relativo de Cc (-0.69), %Fd-K (-0.49) y %Sulfuro de Cu (-0.47), mientras que se observan valores altos positivos para contenido de Fe (0.42), %Cv (0.51), %Cpy 0.67 y %Py (0.51).

Tabla 4.21: Coeficientes de correlación entre parámetros de liberación globales (>90%, <30% diseminado, ocluido y lateral) y parámetros mineralógicos combinados, Cu y Fe, para MINZ Cc+Py. N = 40 muestras.

	<i>Lib90 Global</i>	<i>Libdis glob</i>	<i>Libocc glob</i>	<i>Liblat glob</i>
Cu Com	-0.15	-0.32	0.17	-0.51
Fe Com	-0.13	-0.04	-0.09	0.42
Chalcocite	-0.15	-0.33	0.18	-0.52
Covellite	-0.13	0.09	0.03	0.03
Chalcopyrite	-0.48	0.08	-0.15	-0.02
Bornite	-0.42	-0.14	-0.01	-0.25
%Cc	0.23	-0.49	0.22	-0.69
%Cv	-0.02	0.35	-0.12	0.51
%Cpy	-0.26	0.51	-0.22	0.67
%Bn	-0.29	0.02	-0.14	0.09
%Qz comb	0.29	-0.24	-0.45	0.13
%FdK comb	0.50	-0.32	-0.08	-0.49
%Ser comb	-0.06	-0.22	0.13	0.07
%Kao comb	-0.35	0.50	0.63	0.00
%Bt comb	0.05	0.03	0.23	-0.26
%Chl comb	0.06	0.02	0.20	-0.23
%Ar comb	-0.41	0.31	0.55	0.05
%Qz+F comb	0.55	-0.40	-0.44	-0.25
%Cu sulf comb	-0.20	-0.30	0.15	-0.47
%Py comb	-0.06	-0.06	-0.22	0.51

La relación negativa entre la liberación >90% global y los minerales de mena primaria, calcopirita y bornita se presenta en la Figura 4.32. Si bien, la pendiente no es tan pronunciada, y la dispersión es importante, este comportamiento se contrapone a lo descubierto en el apartado anterior donde se mostró que los MINZ primarios (de alto contenido de Cpy/Bn) tienen mayor porcentaje de liberación >90% global que el MINZ Cc+Py. En este caso, la liberación >90% global muestra comportamiento inverso con el contenido de minerales primarios, Cpy y Bn.

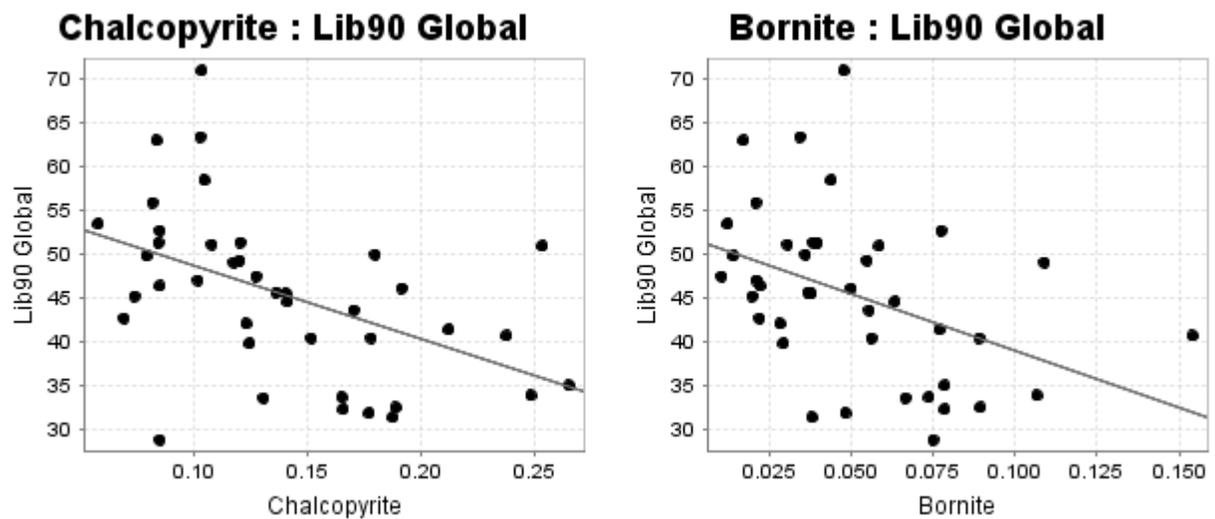


Figura 4.32: Relación entre liberación >90% global y Calcopirita (izquierda) y Bornita (derecha), para MINZ Cc+Py. N = 40 muestras.

Agregando el MINZ Cc+Cv+Py al Cc+Py se observa que las correlaciones tienen a empeorar (Tabla 4.22), con lo que se confirma que el comportamiento del Cc+Cv+Py no sigue el comportamiento del MINZ Cc+Py. El MINZ Cc+Cv+Py se intentará asociar con los MINZ primarios (Cpy+-Bn) y los MINZ combinados (Cc/Cv+Cpy).

Tabla 4.22: Coeficientes de correlación entre parámetros de liberación globales (>90%, <30% diseminado, ocluido y lateral) y parámetros mineralógicos combinados, Cu y Fe, para MINZ Cc/Cv+Py. N = 47 muestras.

	<i>Lib90 Global</i>	<i>Libdis glob</i>	<i>Libocc glob</i>	<i>Liblat glob</i>
Cu Com	-0.28	-0.36	0.05	-0.40
Fe Com	0.19	0.31	0.11	0.22
Chalcocite	-0.34	-0.40	0.01	-0.37
Covellite	0.35	0.16	0.27	-0.15
Chalcopyrite	-0.65	-0.06	-0.31	0.12
Bornite	-0.55	-0.18	-0.15	-0.10
%Cc	-0.48	-0.09	0.15	-0.06
%Cv	0.11	0.26	0.29	-0.09
%Cpy	-0.64	0.14	-0.14	0.28
%Bn	-0.60	0.04	0.02	0.06
%Qz comb	0.30	-0.25	-0.36	0.04
%FdK comb	0.39	-0.24	-0.07	-0.42
%Ser comb	0.00	-0.09	0.11	0.11
%Kao comb	-0.45	0.26	0.41	0.06
%Bt comb	-0.09	-0.02	0.13	-0.17
%Chl comb	-0.07	-0.04	0.11	-0.17
%Ar comb	-0.35	0.25	0.46	0.09
%Qz+F comb	0.37	-0.41	-0.42	-0.24
%Cu sulf comb	-0.32	-0.34	0.04	-0.36
%Py comb	0.26	0.30	0.04	0.27

Algunas de las tendencias de varios minerales de tener correlación positiva o negativa con la liberación de la Tabla 4.22 pueden ser explicadas con este comportamiento dependiente porcentual.

Se muestra la matriz de correlación para los parámetros %Qz, %Ar y %Qz+F en los tamaños más finos (-53/+5 y -5/0 μm). Se observa correlación muy fuerte >90% entre %Ar y %Qz+F, lo que se debe a que estos dos parámetros conforman la mayor parte de la mineralogía, por lo que son de porcentaje dependientes. Se observa correlación del orden de 0.5 entre %Qz y %Ar; y %Qz y %Qz+F (Tabla 4.23), por la misma razón, pero con sólo 2 de los tres componentes que conforman el 100%.

Tabla 4.23: Matriz de correlación entre los parámetros del QemSCAN %Qz, %Arcillas y % Qz+Feldspatos, para los rangos de tamaño -53/+5 y -5/+0 um. N = 120 datos.

	%Qz - 53/+5	%Qz - 5/0	%Ar - 53/+5	%Ar - 5/0	%Qz+F - 53/+5	%Qz+F - 5/0
%Qz -53/+5	1.00					
%Qz -5/0	0.99	1.00				
%Ar -53/+5	-0.50	-0.50	1.00			
%Ar -5/0	-0.46	-0.45	0.99	1.00		
%Qz+F -53/+5	0.46	0.44	-0.90	-0.93	1.00	
%Qz+F -5/0	0.49	0.48	-0.92	-0.93	0.99	1.00

4.1.3.2 Relación entre liberación y mineralogía en MINZ primarios Cpy/Bn

Se consideran solo los MINZ de sulfuros primarios Cpy+Py y Bn+Cpy (+-Py) (57 muestras en total). No se encuentran coeficientes de correlación >0.5 (valor absoluto) entre los parámetros de liberación >90% y <30% (diseminado, ocluido y lateral) globales y los parámetros mineralógicos combinados (Tabla 4.24). Los valores mayores son de la liberación >90% global con Sericita (-0.43), Py (-0.42) y Qz+F (0.41), y liberación <30% por asociación lateral global con Py (0.43) (Tabla 4.24).

Tabla 4.24: Coeficientes de correlación entre los parámetros de liberación global (>90% y <30% diseminado, ocluido y lateral) y los parámetros mineralógicos, para los MINZ primarios Cpy/Bn+Py. N = 57 muestras.

	<i>Lib90 Global</i>	<i>Libdis glob</i>	<i>Libocc glob</i>	<i>Liblat glob</i>
Cu Com	-0.09	-0.11	-0.30	-0.03
Fe Com	-0.09	0.03	0.17	0.29
Chalcocite	-0.03	-0.04	-0.21	-0.01
Covellite	-0.17	-0.08	-0.06	0.11
Chalcopyrite	-0.21	-0.11	-0.15	0.02
Bornite	0.28	0.04	-0.24	-0.12
%Qz comb	-0.21	-0.17	0.08	0.03
%FdK comb	0.26	0.02	-0.22	-0.19
%Ser comb	-0.43	-0.02	0.28	0.10
%Kao comb	-0.15	0.14	0.12	-0.11
%Bt comb	0.32	0.03	-0.13	-0.02
%Chl comb	0.17	0.09	-0.02	-0.02
%Cu sulf comb	-0.16	-0.12	-0.24	0.01
%Py comb	-0.42	-0.04	0.25	0.43
%Ar comb	-0.31	0.09	0.31	0.09
%Qz+F comb	0.41	-0.06	-0.32	-0.20

Se hacen los gráficos de las mejores correlaciones de la tabla anterior (%Ser, %Py y % Qz+Feld). Como se muestra en la Figura 4.33, la dispersión entre la liberación >90% global y el contenido de Sericita, Qz+Feld y Piritita es grande. La mejor relación de las tres se observa en el parámetro %Qz+F, en la que se puede observar una acotación inferior de la liberación >90% global.

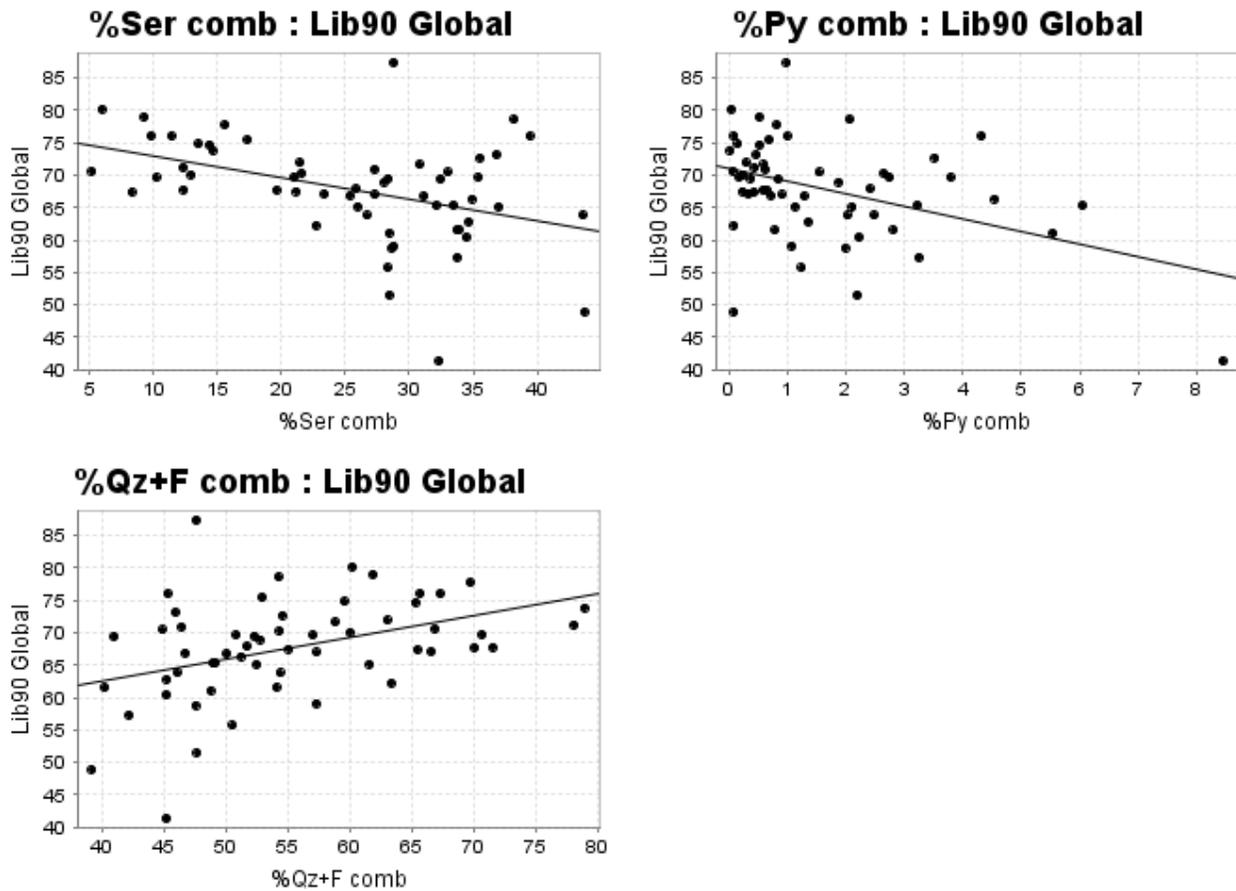


Figura 4.33: Relación entre liberación >90% global y los parámetros %Sericita, %Qz+Feld y %Piritita, para datos del MINZ primario Cpy+-Bn+Py. N = 57 muestras.

Al considerar también el MINZ 51 (Cc+Cv+Py) y 60 (Cc/Cv+Cpy/Bn+Py), se observan correlaciones similares (Tabla 4.25), aunque en valor absoluto disminuyen, especialmente en la relación liberación >90% global con %Piritita (de a -0.16), % Sericita (de -0.43 a -0.33) y %Qz+F (de 0.41 a 0.32). La relación entre liberación <30% de asociación lateral mantiene su correlación con el %Piritita (de 0.43 a 0.45), acompañado de un aumento en la correlación con %Fe (de 0.29 a 0.36).

Tabla 4.25: Correlaciones entre la liberación >90% global, y las liberación <30% globales con los parámetros mineralógicos, para los MINZ Cc+Cv+Py, mezclados, Cc/Cv+Cpy/Bn+Py y primarios, Cpy/Bn+Py. N = 73 muestras.

	Lib90 Global	Libdis glob	Libocc glob	Liblat glob
Cu Com	-0.11	-0.15	-0.33	-0.06
Fe Com	-0.04	0.07	0.19	0.36
Chalcocite	-0.21	-0.11	-0.14	0.15
Covellite	0.00	-0.12	-0.16	0.03
Chalcopyrite	-0.08	-0.03	-0.14	-0.16
Bornite	0.23	0.06	-0.19	-0.13
%Cc	-0.24	-0.08	-0.07	0.28
%Cv	-0.02	-0.10	-0.13	0.05
%Cpy	-0.19	-0.08	-0.05	-0.02
%Bn	0.18	0.06	-0.15	0.01
%Cu sulf comb	-0.11	-0.11	-0.29	-0.12
%Py comb	-0.16	-0.01	0.17	0.45
%Qz comb	-0.16	-0.20	-0.01	0.11
%FdK comb	0.18	0.02	-0.12	-0.22
%Ser comb	-0.33	-0.06	0.10	0.18
%Kao comb	-0.13	0.12	0.07	-0.20
%Bt comb	0.26	0.06	-0.08	-0.11
%Chl comb	0.13	0.12	0.01	-0.11
%Ar comb	-0.25	0.07	0.21	0.11
%Qz+F comb	0.32	-0.04	-0.23	-0.27

La relación entre la liberación <30% global, por asociación lateral (Figura 4.34) muestra una relación con $r = 45$, aunque con una dispersión bastante alta en los valores altos y una gran acumulación de puntos en los valores bajos.

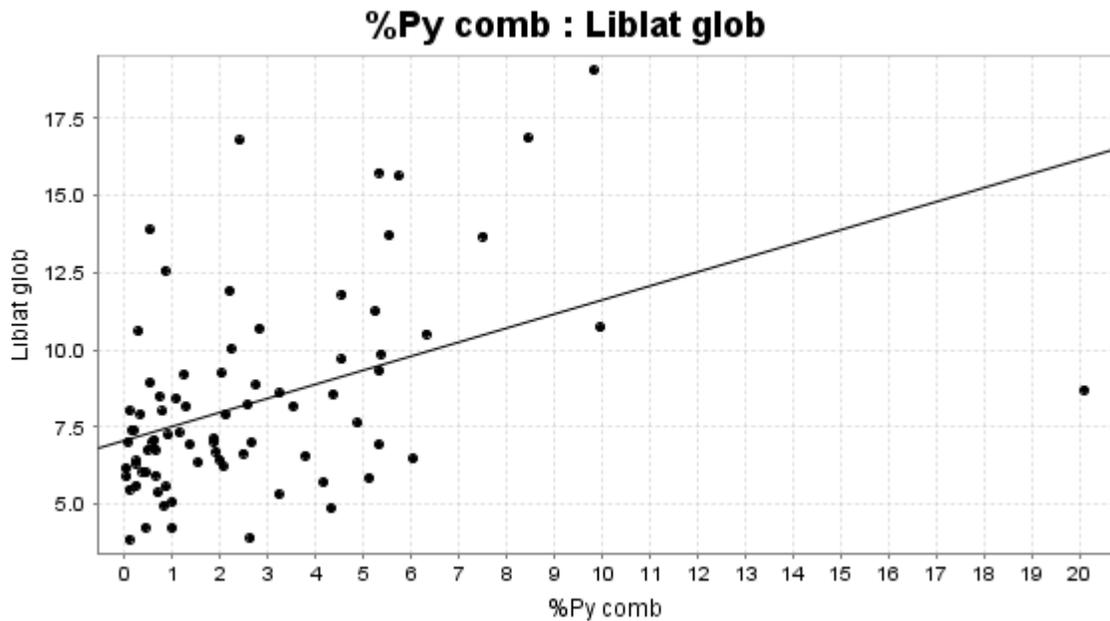


Figura 4.34: Relación entre liberación <30% global por asociación lateral y %Py, para los MINZ Cc+Cv+Py, mezclados, Cc/Cv+Cpy/Bn+Py y primarios, Cpy/Bn+Py. N = 73 muestras.

Al considerar solo los MINZ de mineralización primaria Cpy+Py y Bn+Cpy(+Py) (57 muestras en total), las correlaciones mayores a 0.5 en valor absoluto se dan sólo en la Liberación >90% en el rango -150/+53 μm . Esta se relaciona con coeficiente de correlación ~ 0.5 con Bn, Fd-K (tamaños menores a 53 μm) y Qz+F (tamaños superiores a 150 μm); y con correlación ~ -0.5 con Ser (combinado y tamaños mayores a 53 μm) y arcillas (combinado y el tamaño -150/+53 μm) (Tabla 4.26).

Tabla 4.26: Coeficientes de correlación entre liberación >90% y <30% (diseminado, ocluido y lateral) y los parámetros mineralógicos de QemSCAN. Se consideran solo coeficientes >0.5 en valor absoluto. Solo zonas minerales primarias Cpy/Bn+Py. N = 57 muestras.

	Lib90 -150/+53
Bornite	0.52
%FdK -53/+5	0.52
%FdK -5/0	0.53
%Ser comb	-0.53
%Ser -1000/+150	-0.52
%Ser -150/+53	-0.59
%Ar comb	-0.50
%Ar -150/+53	-0.54
%Qz+F comb	0.53
%Qz+F -1000/+150	0.52
%Qz+F -150/+53	0.57

Se observa correlación positiva, del orden de 0.5, entre Liberación >90% en el tamaño -150/+53 μm y Bornita, Feld-K (tamaños menores a 53 μm) y Qz+Feld (combinado y los tamaños mayores a 53 μm).

Se observa correlación negativa del orden de -0.5 entre liberación >90% -150/+53 μm y sericita (combinado y los tamaños > 53 μm), arcillas (combinado y -150/+53 μm).

La liberación >90% global no tiene correlación >0.5 (valor absoluto) con ningún parámetro mineralógico para los MINZ primarios. Tampoco lo tiene alguno de los rangos por tamaño específicos.

4.1.4 Liberación y parámetros texturales

Los datos texturales considerados en este estudio del QemSCAN son de dos tipos: tamaño de partícula "particle size" (de los sulfuros de Cu - PSCu, Piritita - PCPy y todos los minerales juntos PSP) y asociación de los sulfuros de Cu con otros minerales (CuS+Py, CuS+Arcillas, CuS+Ganga y CuS complejo). Se consideran arcillas:

sericita/muscovita, kaolinita, biotita y clorita. La asociación compleja significa asociación del sulfuro con dos o más minerales simultáneamente.

4.1.4.1 Relación entre liberación y tamaño de partícula

Se calcula la matriz de correlación para una primera inspección de las correlaciones entre la liberación y los tamaños de partícula. Las correlaciones más altas son entre el tamaño de partícula de sulfuros de Cu y la liberación >90% global (0.64) y liberación <30% por asociación lateral global (-0.75) (Tabla 4.27).

Tabla 4.27: Matriz de correlación entre los parámetros de liberación globales y el tamaño de partícula promedio combinado de sulfuros de Cu, Pirita y total (combinado). N = 120 muestras.

	<i>Lib90 Global</i>	<i>Libdis glob</i>	<i>Libocc glob</i>	<i>Liblat glob</i>
PSCu Comb	0.64	-0.01	0.13	-0.75
PSPy Comb	0.30	-0.04	-0.02	-0.03
PSP Comb	0.28	0.31	0.30	-0.31

En la Figura 4.35 se observa que la relación entre el tamaño de partícula de los sulfuros de Cu y la liberación global >90% es de pendiente positiva. Adicionalmente la zona mineral Cc+Py se distingue como las muestras de menor liberación.

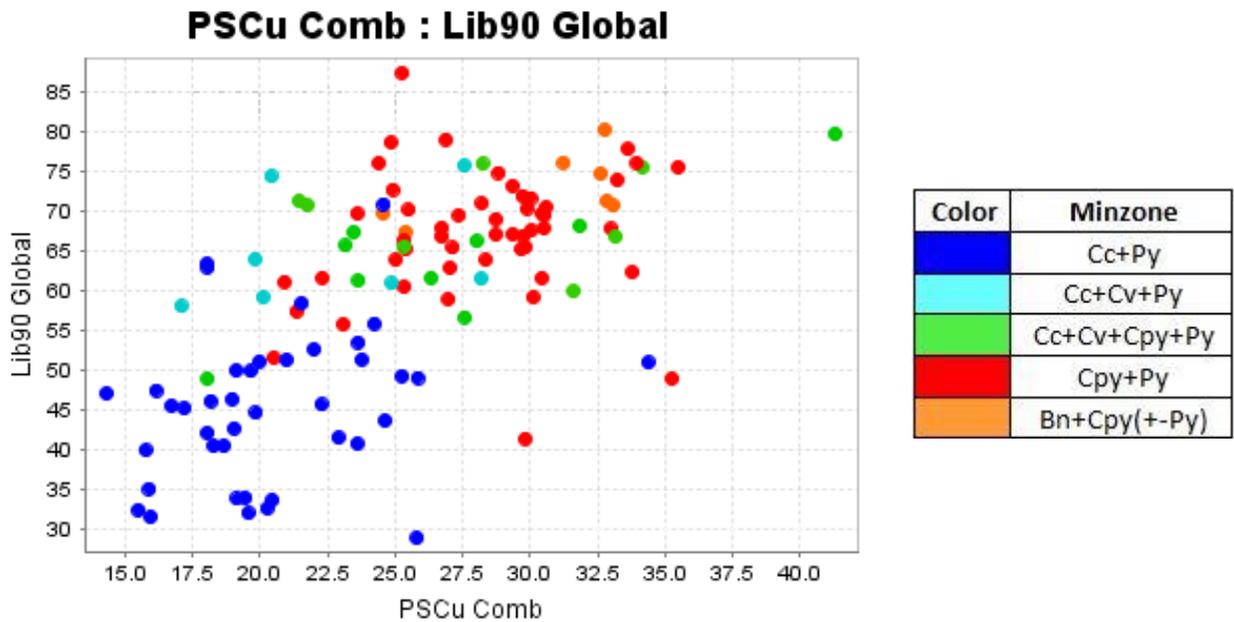


Figura 4.35: Relación entre liberación >90% global y el tamaño medio de sulfuro de Cu. Datos categorizados por zona mineral. N = 120 muestras.

La relación se mantiene en todos los rangos de tamaños (-1000/+150, -150/+53 y -53/0 μm), siendo más definida en el tamaño -150/+53 μm (Figura 4.36). El tamaño de partícula de Pirita y total no parecen tener relación con la liberación >90% y <30% en ninguno de los rangos de tamaño. Sin embargo, la relación es menos clara en el rango de tamaño -1000/+150 μm , debido a su alta pendiente. En cambio, es más clara en el tamaño -150/+53 μm .

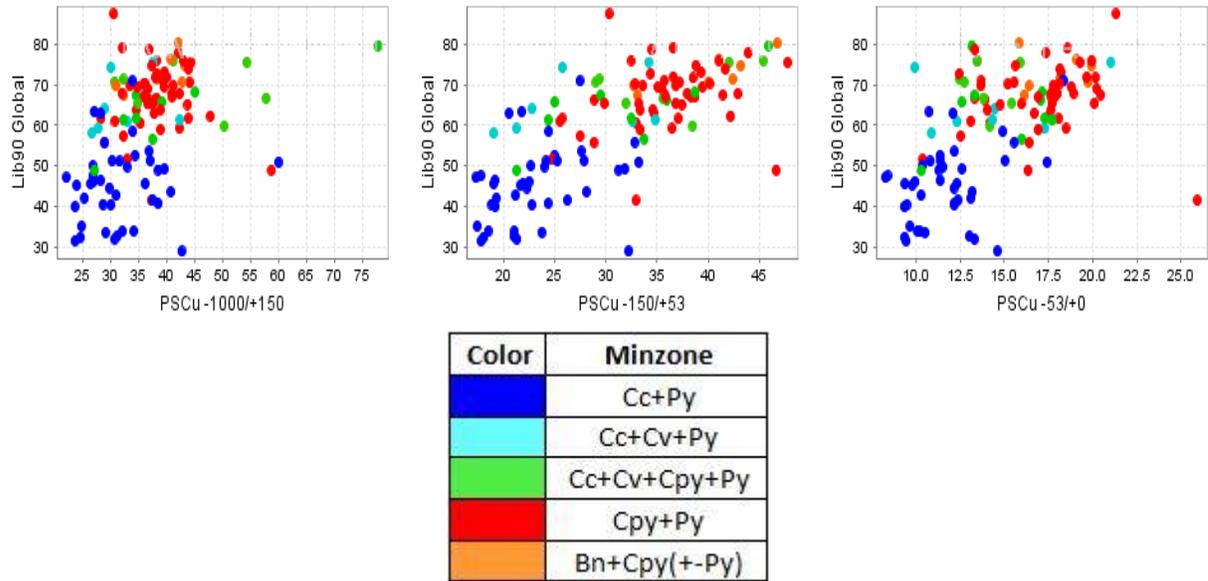


Figura 4.36: Relación entre liberación >90% global y el tamaño medio de sulfuro de Cu. Izquierda: tamaño -1000/+150 um, centro: -150/+53 um, derecha: -53/0 um. Datos categorizados por zona mineral. N = 120 muestras.

El tamaño medio de sulfuro de Cu se relaciona con el porcentaje de partículas liberados <30% por asociación lateral, de forma inversa, con un coeficiente R = -75. También hay una predominancia de zona mineral, como se discutió antes (Figura 4.37).

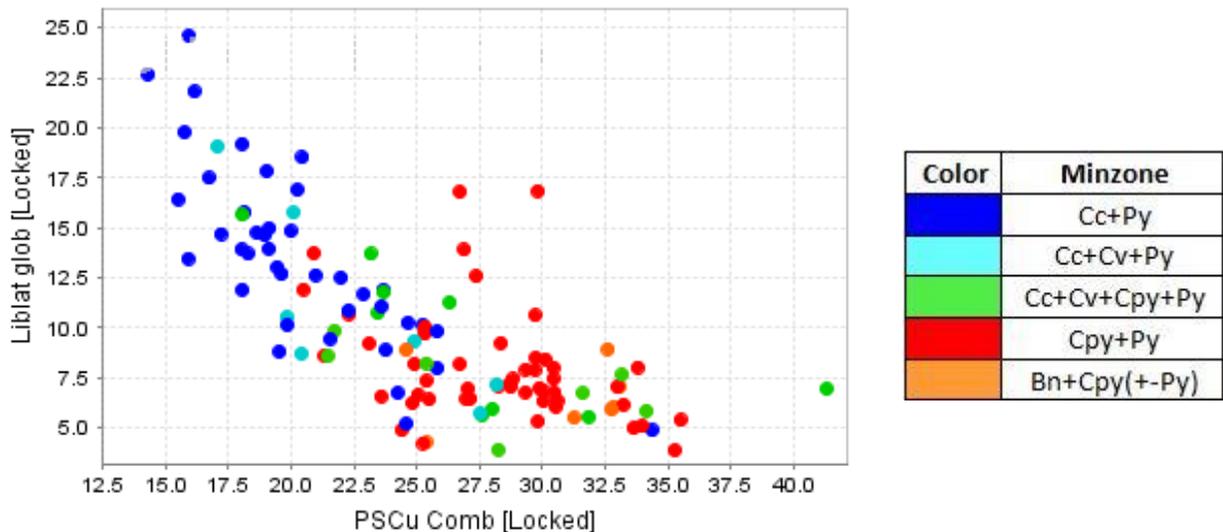


Figura 4.37: Relación entre liberación <30% por asociación lateral, y el tamaño medio de sulfuro de Cu. Datos categorizados por zona mineral. N = 120 muestras.

En la Figura 4.38 se puede observar que la relación entre liberación <30% de asociación lateral se observa predominantemente en los dos tamaños más pequeños, -150/+53 μm y -53/+0 μm.

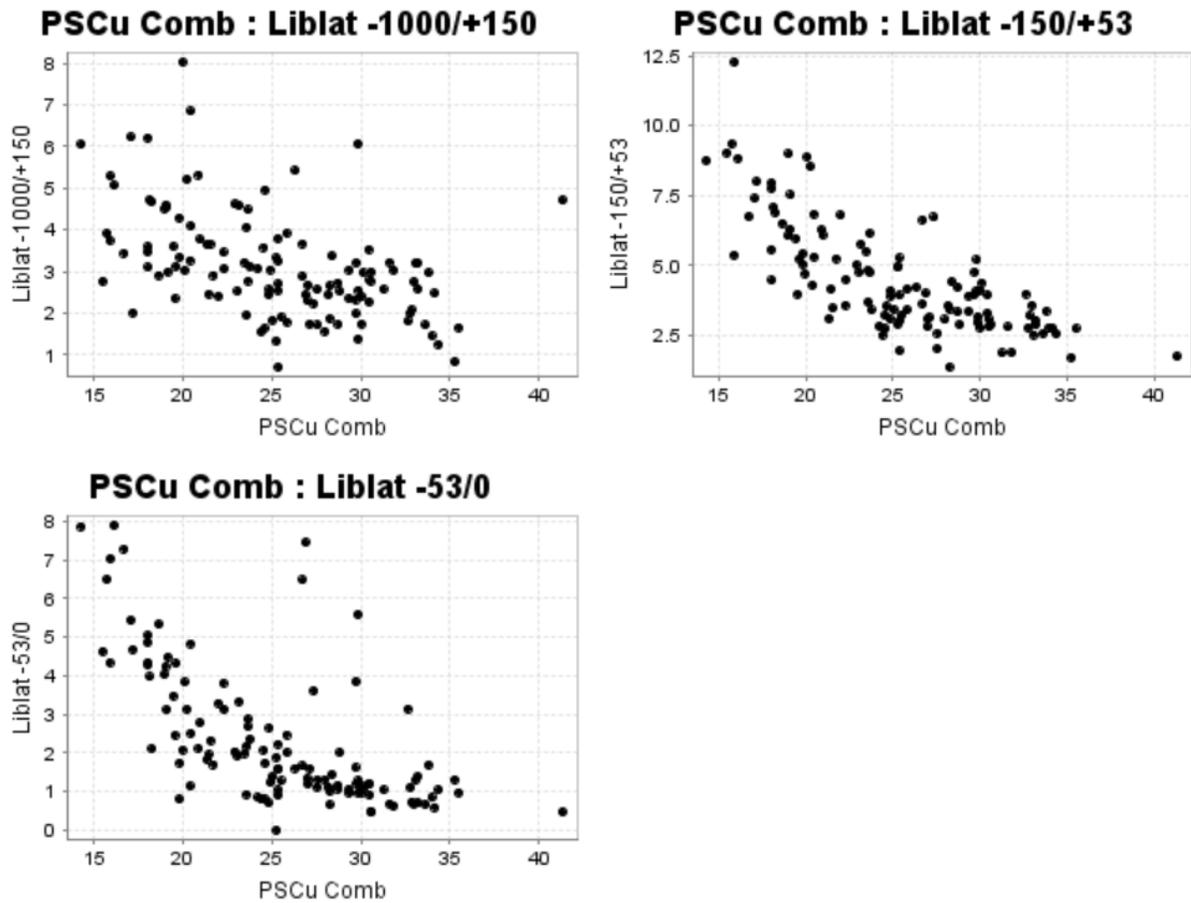


Figura 4.38: Relación entre la liberación <30% lateral por rango de tamaño y tamaño de partícula combinado. N = 120 datos.

4.1.4.2 Relación entre liberación y asociación de sulfuros de Cu

Se calcula la matriz de correlación para una primera inspección de las correlaciones entre la liberación y las asociaciones entre sulfuro de Cu y otros minerales. Las correlaciones más altas son entre la asociación CuS+Py comb y la liberación >90% global (-0.76) y la liberación <30% por asociación lateral global (0.72). También hay correlaciones >0.5 entre la asociación compleja combinada y la liberación >90% global (-0.77) y la liberación <30% lateral global (0.51) (Tabla 4.28).

Tabla 4.28: Matriz de correlación entre parámetros de liberación globales y las asociaciones de sulfuros de Cu con Py, Arcillas, Ganga y asociación compleja. N=120 muestras.

	<i>Lib90</i> <i>Global</i>	<i>Libdis</i> <i>glob</i>	<i>Libocc</i> <i>glob</i>	<i>Liblat</i> <i>glob</i>
CuS+Py comb	-0.76	-0.10	-0.40	0.72
CuS+Ar comb	-0.25	0.02	0.43	-0.16
CuS+Gng comb	0.29	0.07	-0.05	-0.26
CuS Complex comb	-0.77	-0.01	-0.03	0.51

El porcentaje de sulfuros con asociación de los sulfuros con Pirita se relaciona inversamente con la liberación >90% global, lo que es concordante con una relación positiva con la liberación <30% de adosión lateral (Figura 4.39).

Al colorear por las zonas mineralógicas, se observa también que las zonas de sulfuros secundarios (Cc+-Cv) tienen una mayor asociación de estos con Pirita, mientras que los sulfuros primarios (Cpy+-Bn) mantienen una baja asociación con Pirita (Figura 4.39 - izquierda y derecha).

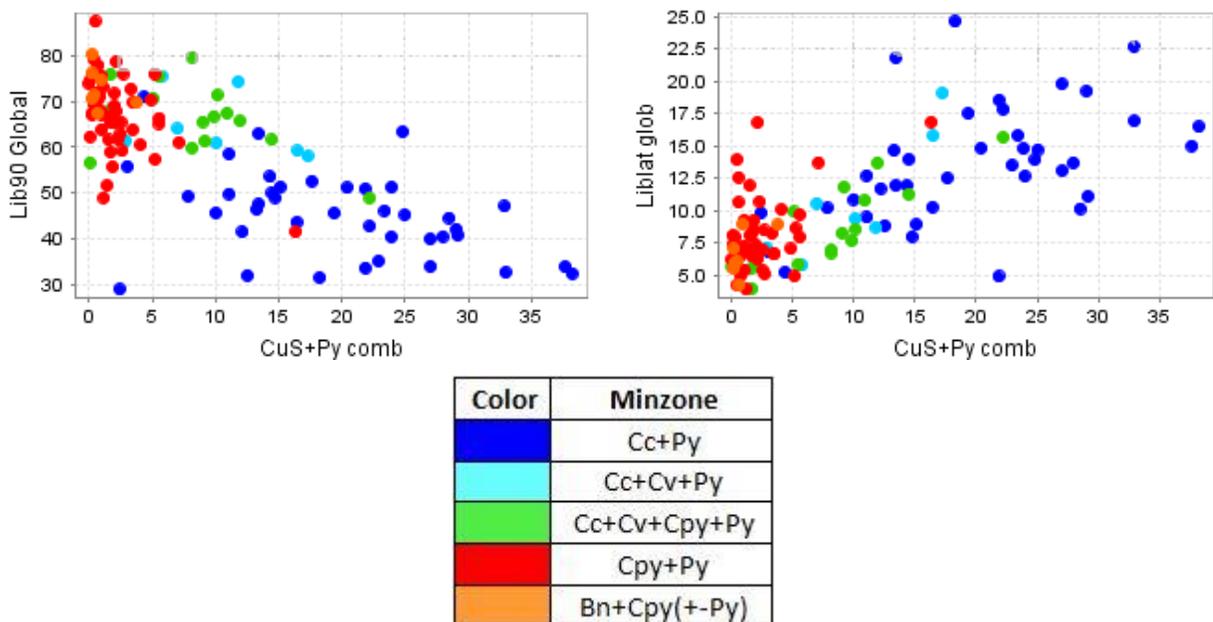


Figura 4.39: Relación entre la asociación de los sulfuros de Cu+Pirita y: izquierda - Liberación >90% global; derecha - liberación <30% por asociación lateral. Datos coloreados por categoría de MINZ. N = 120 muestras.

Se observa una relación inversa entre la liberación >90% global y la asociación compleja de los sulfuros de Cu (Figura 4.40 - izquierda). En este caso también se observa una segregación por MINZ, pero los sulfuros primarios (Cpy+-Bn) tienen un rango mayor en la asociación compleja. Los sulfuros secundarios mantienen su posicionamiento con respecto a la Figura 4.39 - izquierda.

Se observa una relación positiva entre la liberación <30% por adosión lateral global y la asociación compleja de los sulfuros combinada (Figura 4.40 - derecha). Sin embargo, la relación es divergente hacia los límites superiores de la abscisa.

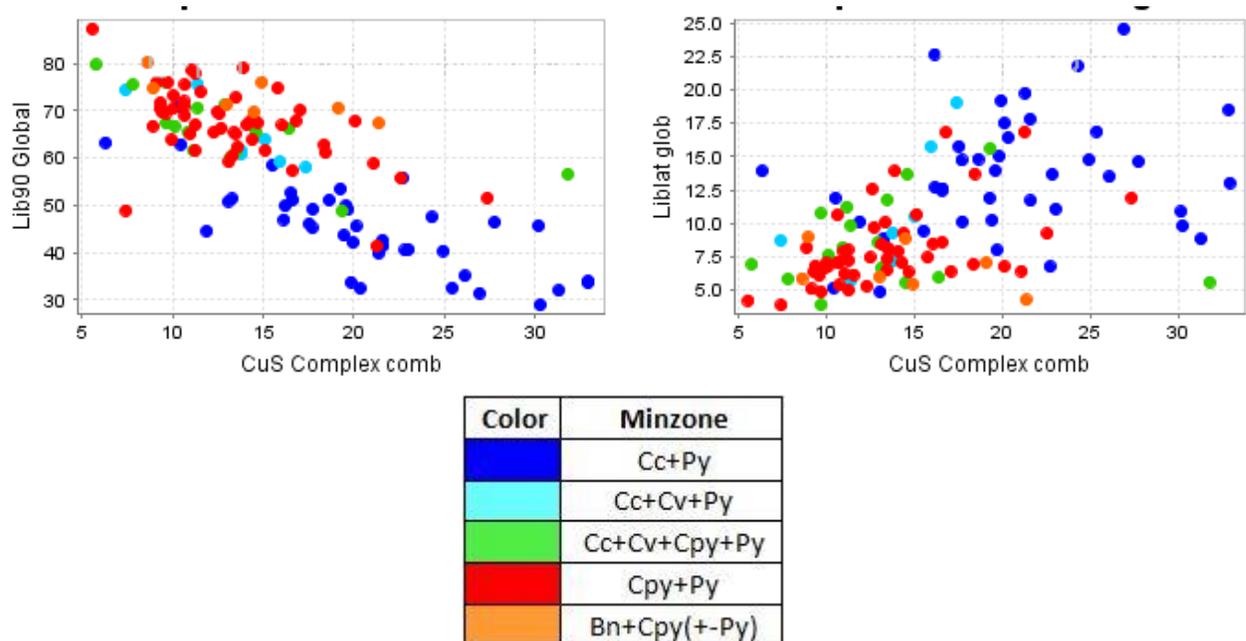
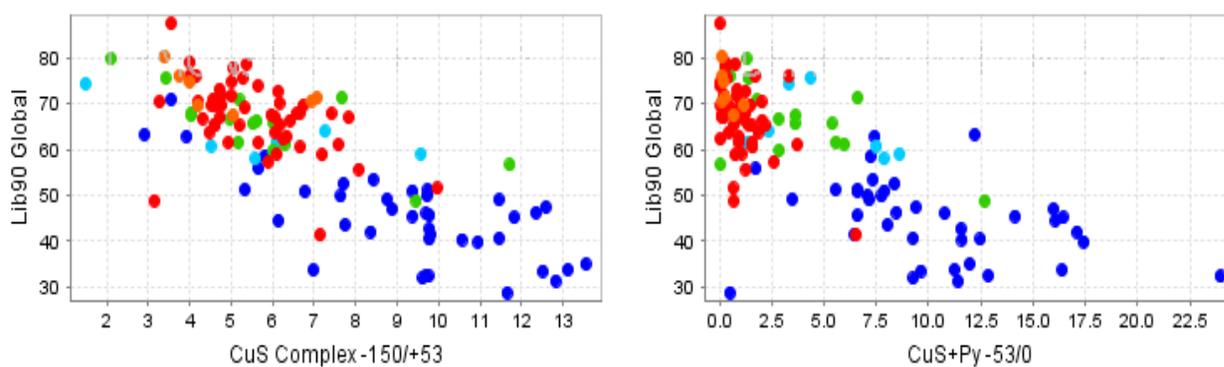


Figura 4.40: Relación entre la asociación compleja de los sulfuros de Cu con: izquierda - Liberación >90% global; derecha - liberación <30% por asociación lateral. Datos coloreados por categoría de MINZ. N = 120 muestras.

Explorando la relación textural en las subdivisiones por rango de tamaño, no se observa una correlación adicional respecto a la Figura 4.37. La liberación >90% global mantiene su relación inversa con la asociación compleja de sulfuros en los rangos de tamaño -150/+53 y -53/0 μm (Figura 4.41).

Tabla 4.29: Matriz de correlación entre las liberaciones >90% y <30% diseminado, ocluido y lateral, y los parámetros texturales de asociación con Py, Arcillas, ganga y asociación compleja, por sus rangos de tamaños de partícula. N = 120 muestras.

	<i>Lib90 Global</i>	<i>Libdis glob</i>	<i>Libocc glob</i>	<i>Liblat glob</i>
CuS+Py -1000/+150	-0.47	-0.13	-0.36	0.39
CuS+Ar -1000/+150	-0.17	0.00	0.42	-0.14
CuS+Gng -1000/+150	0.15	-0.03	-0.06	-0.19
CuS Complex -1000/+150	-0.65	-0.08	0.08	0.55
CuS+Py -150/+53	-0.72	-0.11	-0.38	0.67
CuS+Ar -150/+53	-0.09	-0.06	0.28	-0.25
CuS+Gng -150/+53	0.18	0.03	-0.09	-0.18
CuS Complex -150/+53	-0.80	0.01	-0.12	0.63
CuS+Py -53/0	-0.76	-0.08	-0.35	0.75
CuS+Ar-53/0	-0.34	0.08	0.42	-0.05
CuS+Gng-53/0	0.30	0.14	0.02	-0.21
CuS Complex -53/0	-0.39	0.03	-0.01	0.10



Color	Minzone
Blue	Cc+Py
Cyan	Cc+Cv+Py
Green	Cc+Cv+Cpy+Py
Red	Cpy+Py
Orange	Bn+Cpy(+Py)

Figura 4.41: Relación entre la liberación >90% global y: izquierda - la asociación compleja de los sulfuros de Cu en los tamaños -150/+53; derecha - asociación CuS con Pirita en el tamaño -53/0 um. Datos coloreados por MINZ. N = 120 muestras.

En el triángulo de repartición de la asociación de los sulfuros con Py, Arcillas y minerales de ganga se observa que la zona mineral Cc+Py permite la asociación con Py hasta un 90% relativo, mientras que el resto de las zonas minerales prefieren

asociarse con Arcillas y algunas con minerales de ganga, hasta un 60% relativo (Figura 4.42).

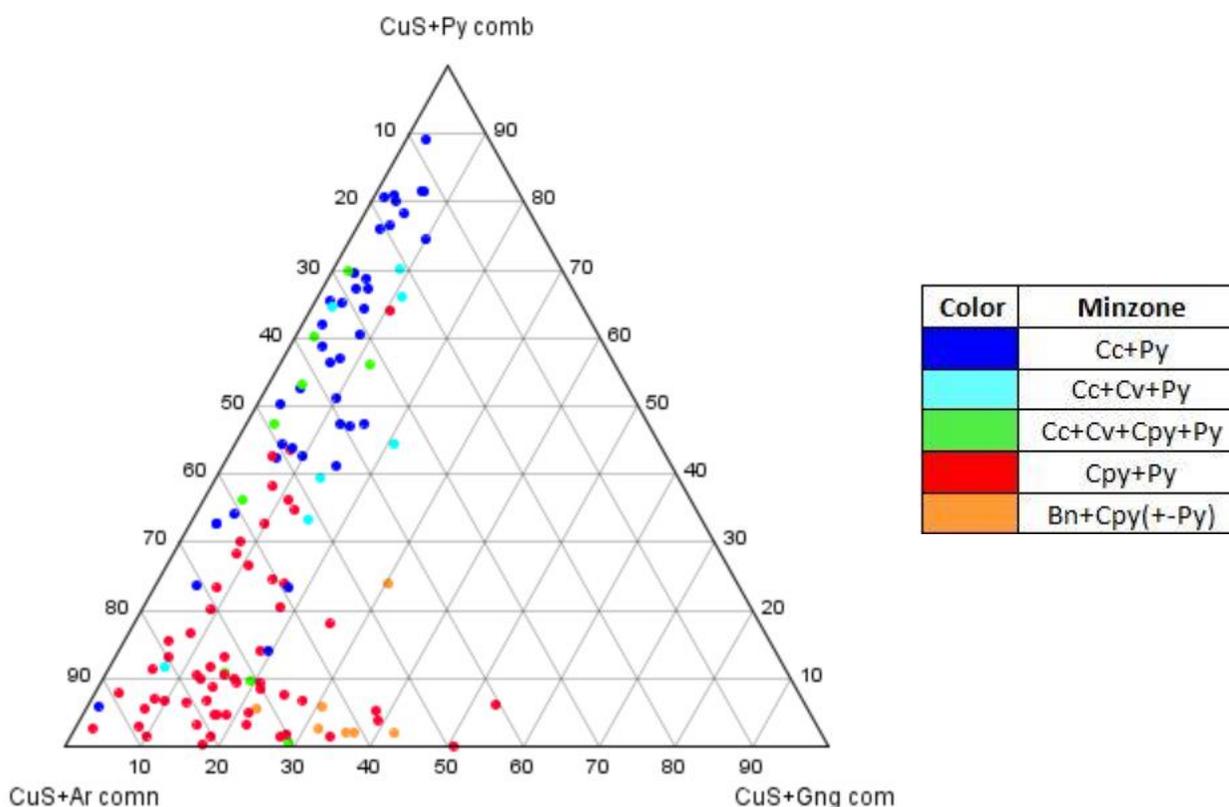


Figura 4.42: Triángulo de repartición de la asociación de los sulfuros de Cu con Py, Arcillas y mxs de ganga. Color por MINZ. N = 120 datos.

Al reemplazar la asociación con ganga por asociación compleja, se observa un desplazamiento de todos los puntos hacia este tipo de asociación (Figura 4.43). Sin embargo, la repartición de los sulfuros primarios y secundarios mantienen la repartición en el eje CuS+Py – CuS-Ar combinados.

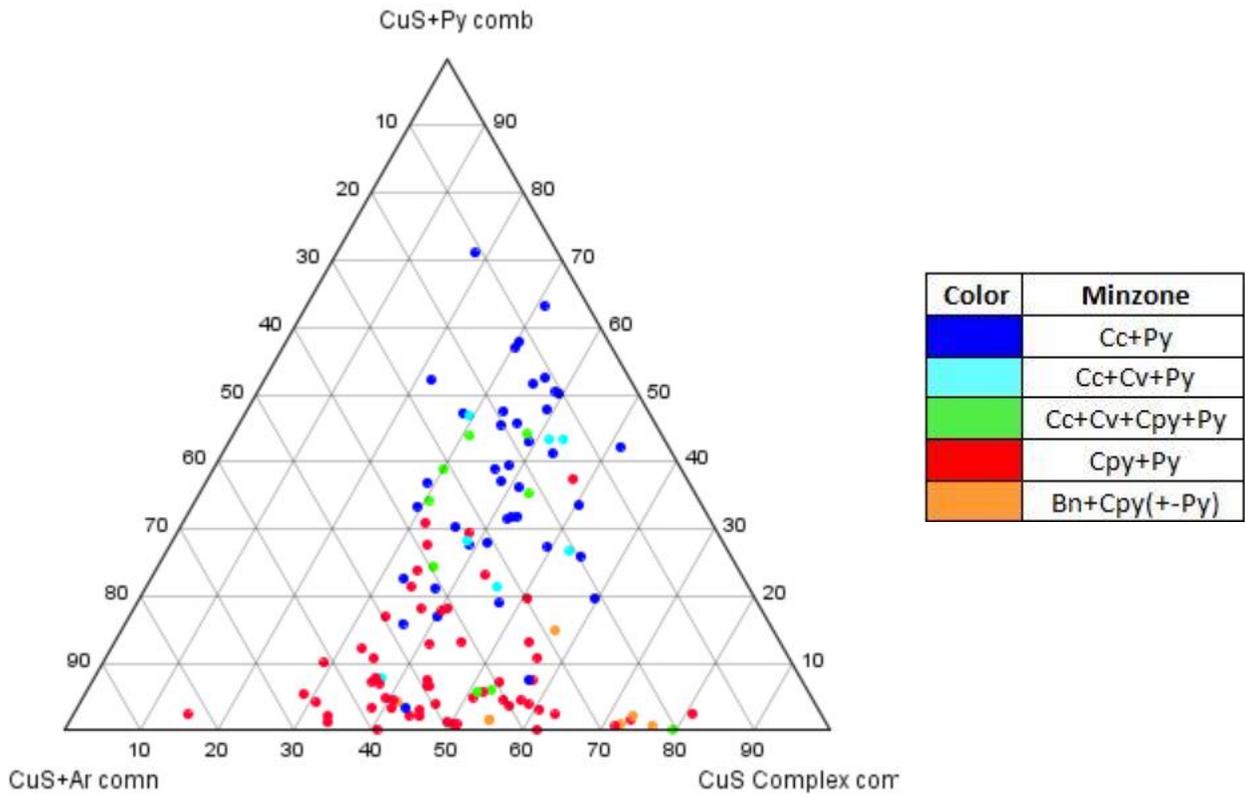


Figura 4.43: Triángulo de repartición de la asociación de los sulfuros de Cu con Py, Arcillas y asociación compleja. Color por MINZ. N = 120 datos.

Al usar las categorías por alteración, se observa que las alteración potásicas y cloríticas (propilíticas) tienen una asociación de sus sulfuros preferentemente con arcillas. Principalmente las potásicas, tienen mayor asociación con minerales de ganga (Figura 4.44). Las alteraciones sericíticas +-Qz +- Arc, tienen una menor asociación con minerales de ganga y se reparten entre asociación con Py y arcillas.

Al considerar el triángulo de repartición con asociaciones de Py, Arcillas y asociación compleja (Figura 4.45) se observa un desplazamiento de los datos hacia la asociación compleja, sin alterar la distribución en el eje Arcilla-Py.

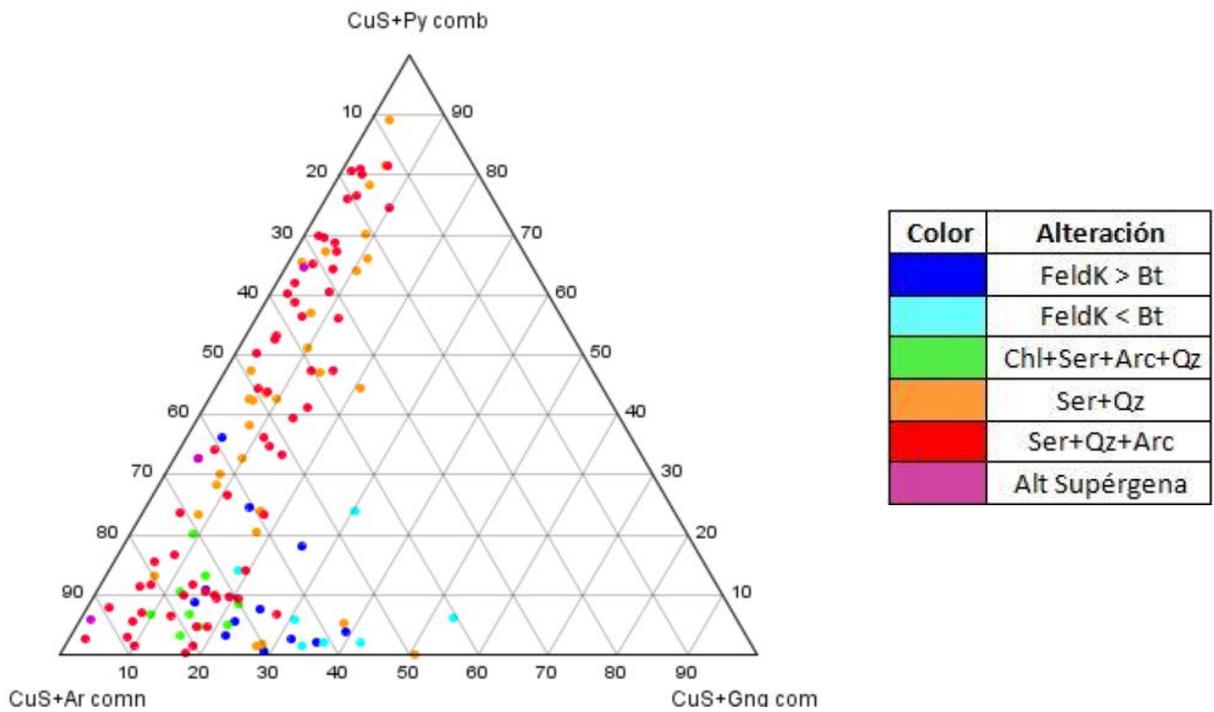


Figura 4.44: Triángulo de repartición de la asociación de los sulfuros de Cu con Py, Arcillas y mxs de ganga. Color por Alteración. N = 120 datos

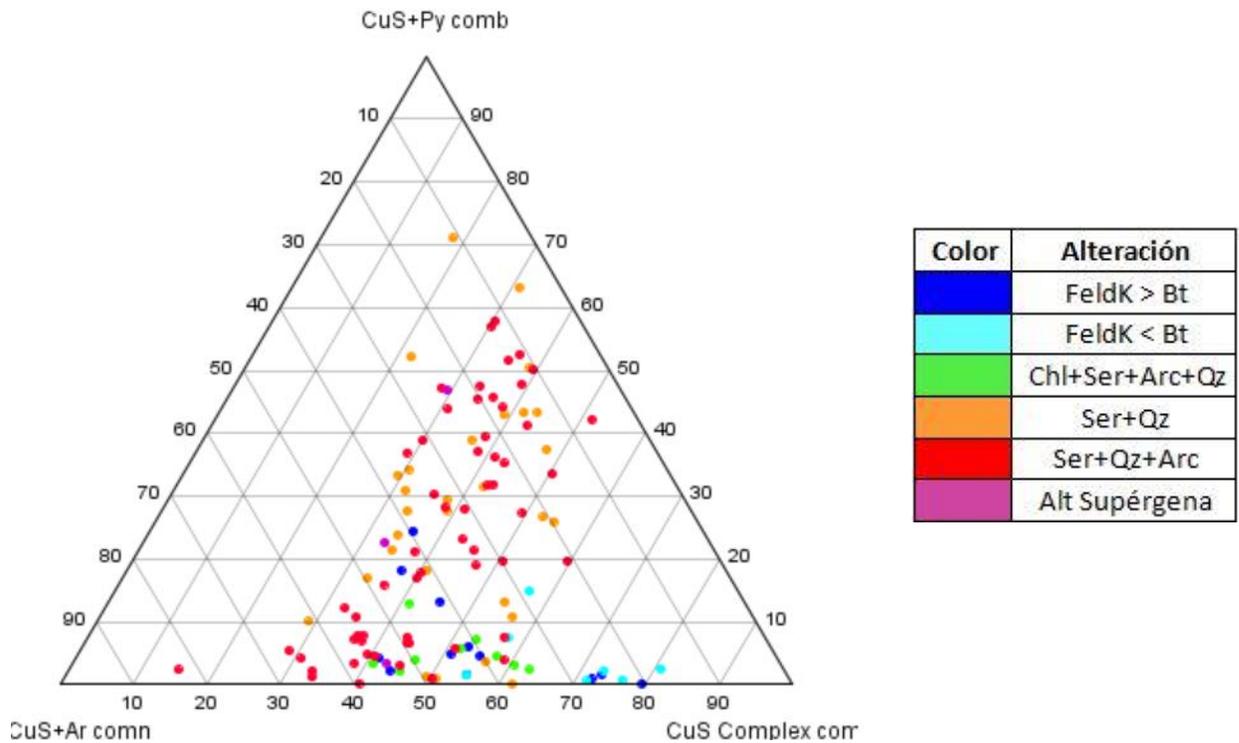


Figura 4.45: Triángulo de repartición de la asociación de los sulfuros de Cu con Py, Arcillas y asociación compleja. Color por MINZ. N = 120 datos.

Al analizar la relación entre porcentaje de Pirita y la asociación de los sulfuros de Cu con Pirita, se observa una pendiente positiva, aunque de baja correlación (Figura 4.46). Si bien, la no es evidente, en las alteraciones potásicas, una relación directa entre el porcentaje de Pirita y la asociación de los sulfuros de Cu con Pirita es evidente, con $R = 95$ (Figura 4.47).

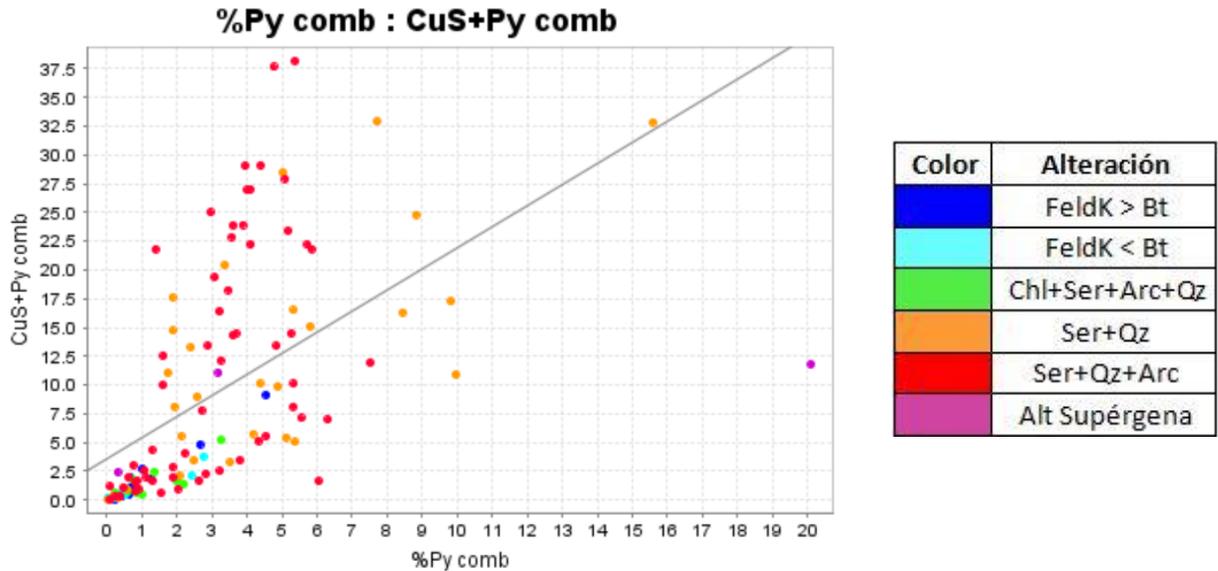


Figura 4.46: Relación entre porcentaje de Pirita y asociación de sulfuros de Cu con Py. Color por alteración. Correlación del $R = 0.95$. $N = 120$ datos.

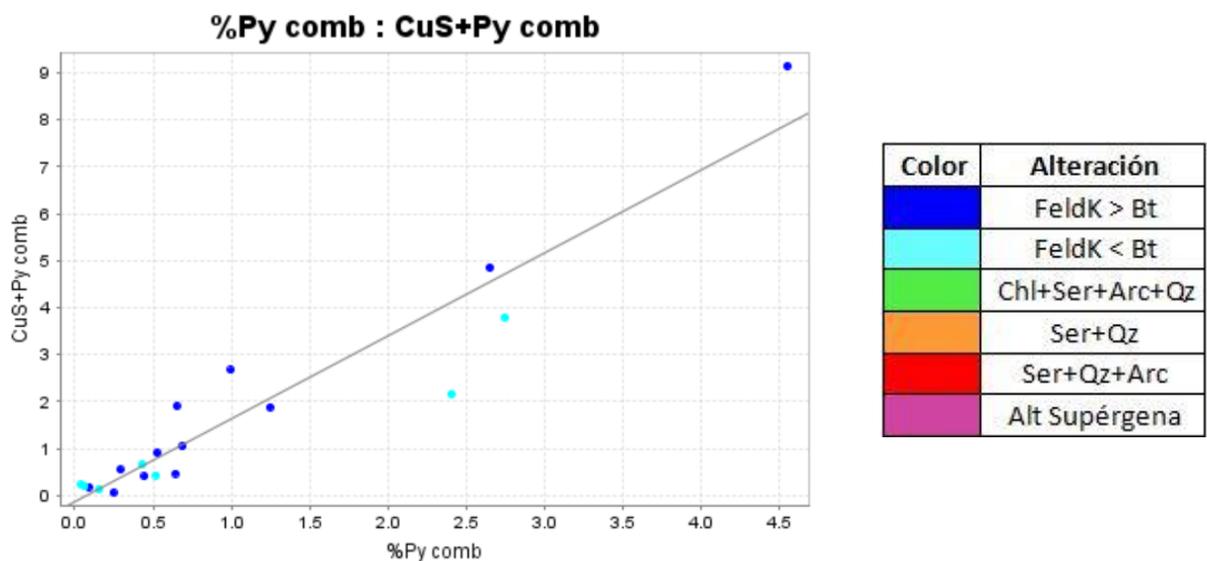


Figura 4.47: Relación entre porcentaje de Pirita y asociación de sulfuros de Cu con Py. Alteraciones potásicas. Correlación del $R = 0.95$. $N = 19$ datos.

Al considerar la relación entre porcentaje de Pirita y la asociación de los sulfuros de Cu con Pirita por zona mineral se observa una partición entre la zona mineral Cc+Py, y el resto de las zonas minerales. La zona mineral Cc+Py tiene un porcentaje mayor de asociación sulfuro-Pirita al mismo contenido de Pirita, comparado con el resto de las zonas minerales (Figura 4.48).

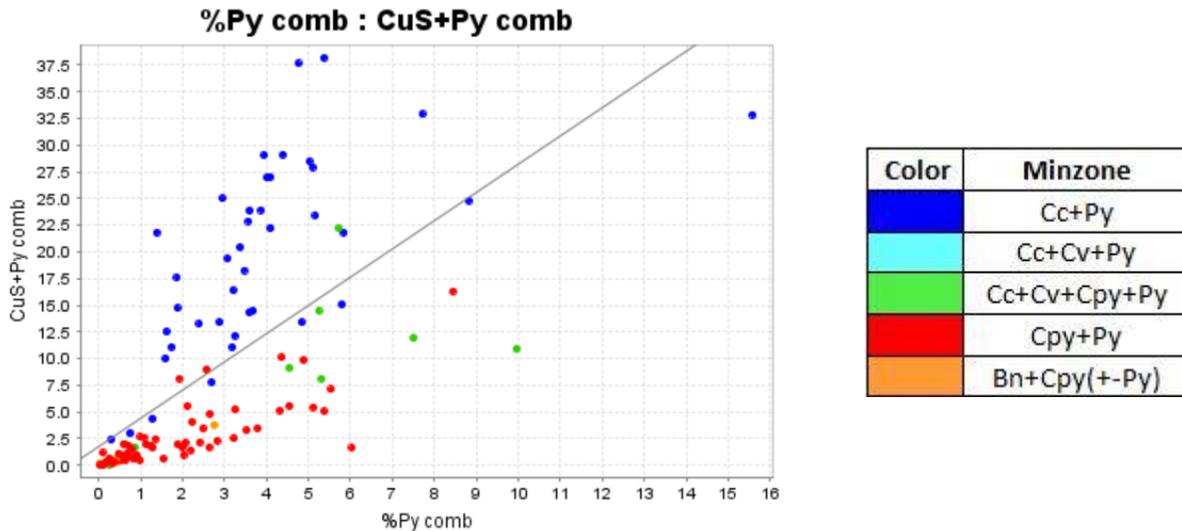


Figura 4.48: Relación entre porcentaje de Pirita y asociación de sulfuros de Cu con Py. Colores por MINZ. Correlación del $R = 0.95$. $N = 19$ datos.

Se observa una relación débil entre el contenido modal de Cuarzo y Feldespatos, y la asociación de los sulfuros de Cu con ganga (Figura 4.49).

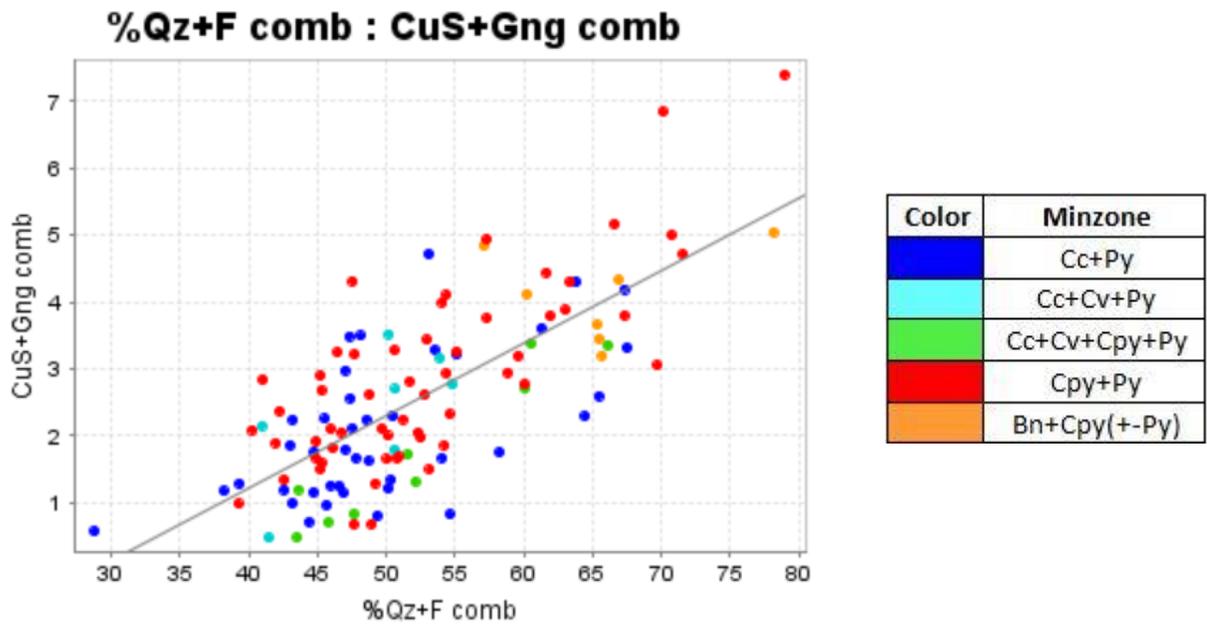


Figura 4.49: Relación entre la asociación compleja entre sulfuros de Cu y el contenido modal de Qz+Feldespatos. Colores por MINZ. N = 120 muestras.

4.1.5 Liberación y ensayos de dureza

En este apartado se pretende estudiar la relación entre los ensayos SPI (SAG Power Index), BWI (Bond Work Index) con respecto a la liberación de partículas sulfuradas de Cu, entregada por QemSCAN. Se tienen 5316 datos SPI/BWI.

Considerando sólo los datos SPI/BWI, se observa una tendencia positiva, con $R^2 \sim 0.48$. En el gráfico BWI vs SPI se observa una dispersión, especialmente en los valores altos de SPI (Figura 4.50).

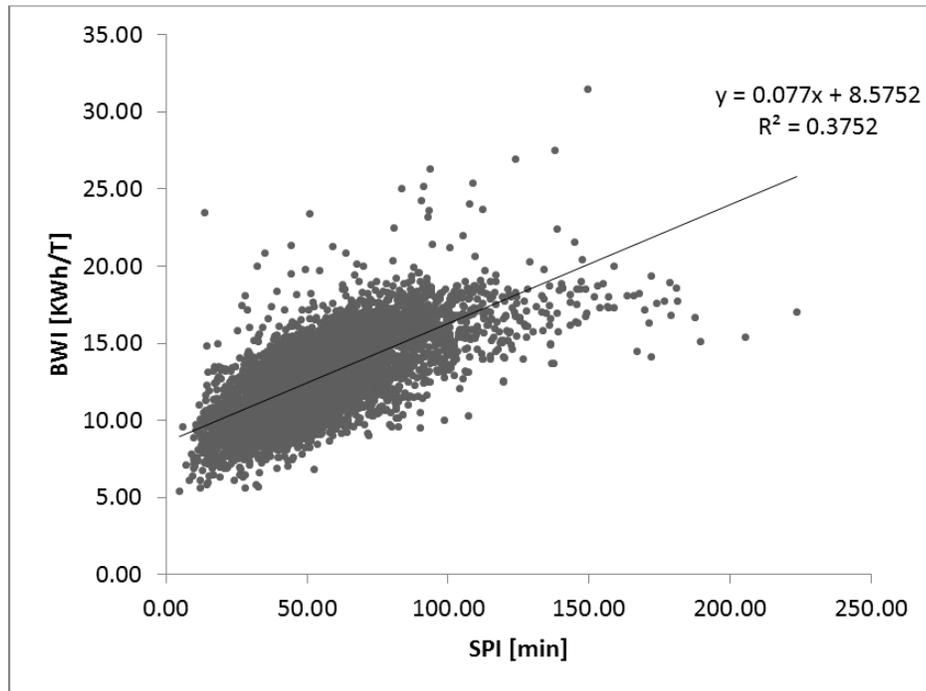


Figura 4.50: Bond Work Index (BWI) vs SAG Power Index (SPI). 5316 datos.

Se hace el cruce entre los QemSCAN, conteniendo los datos de liberación, y los ensayos de dureza, SAG Power Index (SPI) y Bond Work Index (BWI). De los 5316 datos de dureza, sólo 45 coinciden con alguno de los 120 QemSCAN disponibles.

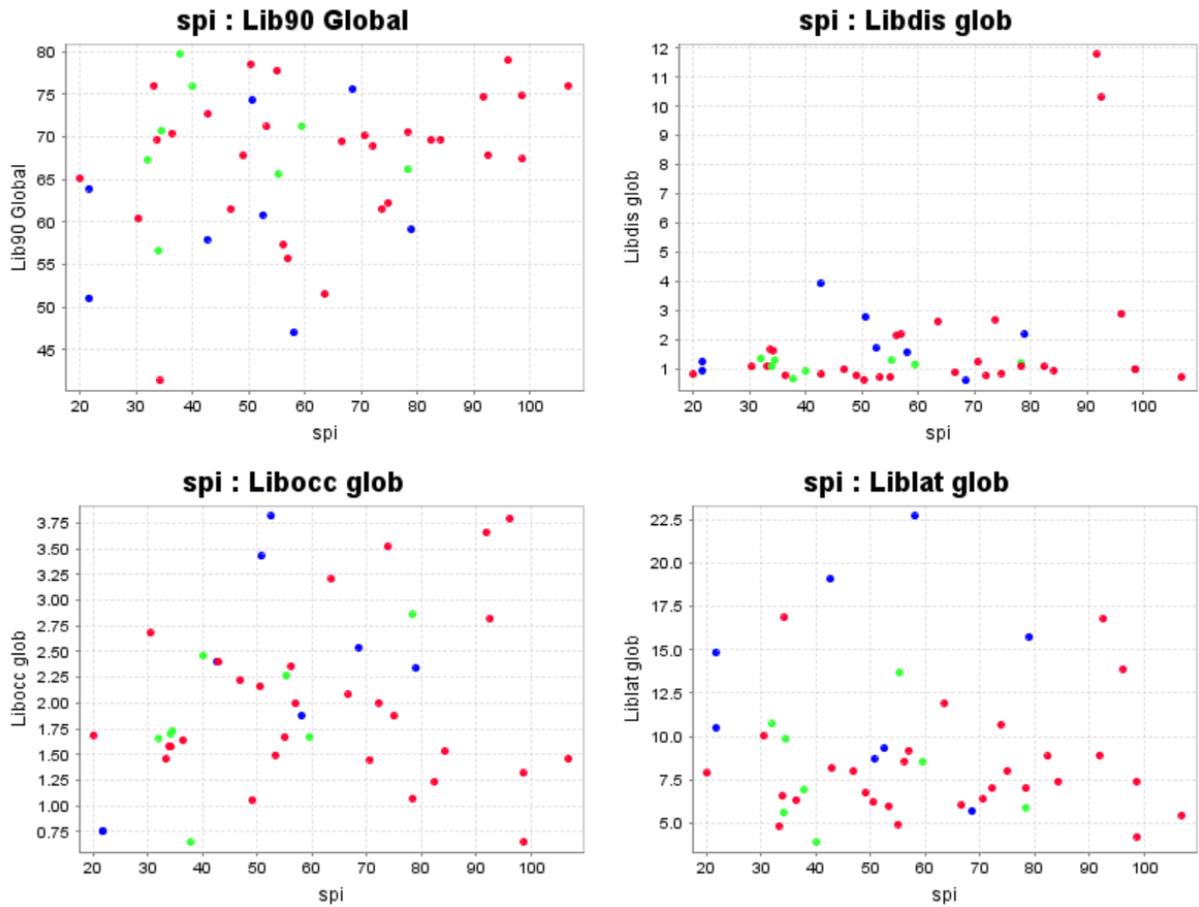
La liberación >90% tiene correlación muy baja con ambos índices de dureza (SPI, BWI). Ambos con $R < 0.3$ (Figura 4.51) No se observa mejoría al considerar liberación >90% en los rangos de tamaños -1000/+150, -150/+53 y -53/0 μm . Se observa el mismo escenario con la liberación <30%, tanto por asociación diseminada, ocluida y lateral. Además se observa que las tendencias varían de signo por el mismo parámetro, al pasar de un rango a otro (Tabla 4.30).

Tabla 4.30: Coeficientes de correlación entre SPI, BWI y la liberación >90%, <30% diseminada, ocluida y lateral, global y en todos los rangos de tamaño de partícula. N = 45 datos.

	<i>SPI</i>	<i>BWI</i>
Lib90 Global	0.27	0.21
Lib90 -1000/150	-0.30	-0.27
Lib90 -150/+53	0.06	0.27
Lib90 -53/+0	0.29	0.11
Libdis glob	0.32	0.19
Libdis -1000/150	0.14	0.05
Libdis -150/+53	0.35	0.24
Libdis -53/0	0.31	0.17
Libocc glob	0.22	0.12
Libocc -1000/+150	-0.19	-0.22
Libocc -150/+53	0.36	0.44
Libocc -53/0	0.38	0.21
Liblat glob	-0.05	-0.15
Liblat -1000/+150	-0.33	-0.32
Liblat -150/+53	-0.11	-0.11
Liblat -53/0	0.23	0.00

Las correlaciones por tipo de zona mineral (MINZ), Primario, Mixto y Secundario, también entregan $R < 0.35$ para SPI y BWI, para todas las sub-categorías de tamaños, tanto para la liberación >90%, como para la liberación <30%, con asociación diseminada, ocluida y lateral (Figura 4.51, Figura 4.52). Únicamente la liberación <30% por asociación ocluida en el rango -150/+53 μm y BWI tiene un coeficiente de correlación más significativo (0.44).

Las correlaciones por tipo de alteración, tampoco entregan buena correlación con la liberación >90% y <30%, tanto global, como por sus intervalos de tamaños.



Color	Minzone
Blue	Cc+Py
Cyan	Cc+Cv+Py
Green	Cc+Cv+Cpy+Py
Red	Cpy+Py
Orange	Bn+Cpy(+Py)

Figura 4.51: Liberación >90% global, y liberación <30% global con asociación diseminada, ocluida y lateral, en relación con SAG Power Index (SPI). Datos coloreados por MINZ.

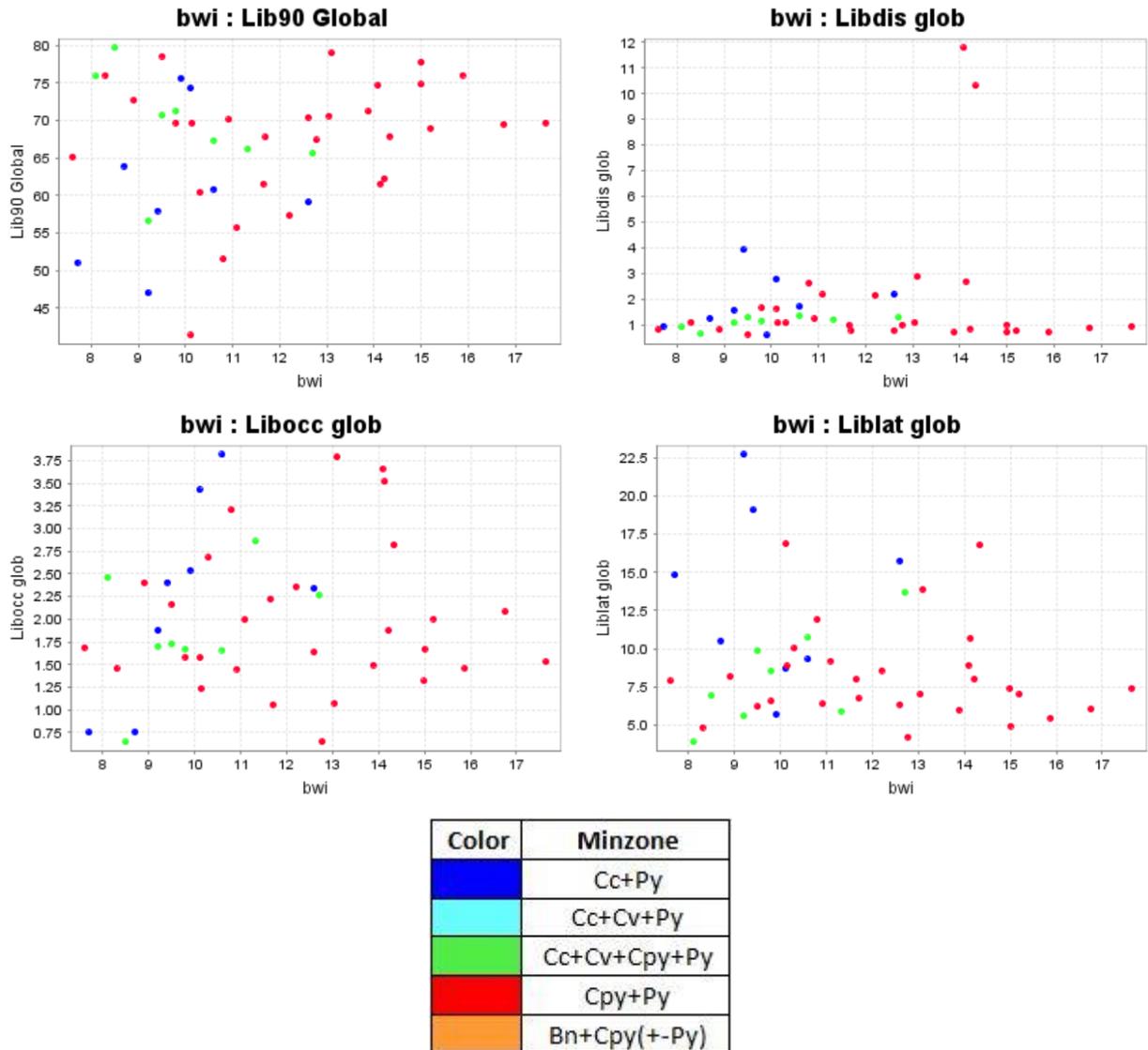


Figura 4.52: Liberación >90% global, y liberación <30% global con asociación diseminada, ocluida y lateral, en relación con Bond Work Index (BWI). Datos coloreados por MINZ.

La correlación entre el Bond Work Index y la liberación <30% por oclusión es la más alta (0.44). Se aprecia la relación en la Figura 4.53. De todas formas se considerará una relación débil, debido al bajo porcentaje de liberación en este tipo de asociación: menor a 2%.

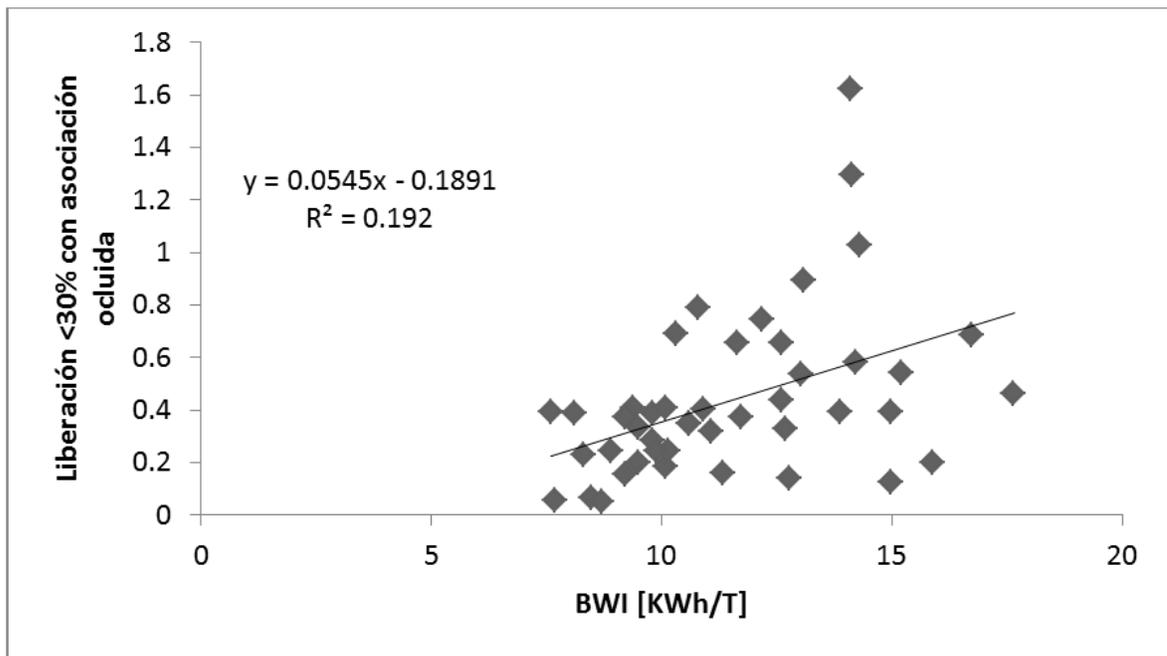


Figura 4.53: Relación entre liberación <30% por oclusión y Bond Work Index. N = 45 muestras.

4.2 Petrografía y Calcografía

Se analizaron 20 cortes transparentes y sus correspondientes cortes pulidos, de Escondida Norte, fase 5. El objetivo es determinar las relaciones texturales que pueden influenciar en la liberación de los sulfuros de mena. Se detallan por separado los cortes transparentes y pulidos (todas las descripciones de los cortes está disponible en anexos 9.4). En la tabla resumen (Tabla 4.31), se muestran las litologías, alteraciones y zonas minerales de las 20 muestras con cortes transparentes y pulidos analizadas.

Tabla 4.31: Resumen de litología, alteración y zona mienral de las 20 muestras de cortes transparentes/pulidos.

ID	Litología	Alteración1	Alteración2	MINZ
EN-0101	Andesita	Fílica	Argílica	Cpy-Py-(Cv)
EN-0102	Andesita	Fílica	Argílica	Cpy-Py-(Cv)
EN-0103	P. Feldespatico	Fílica	Argílica	Py
EN-0104	P. Feldespatico	Fílica		Cpy-Cc-Bn-Py
EN-0105	P. Grueso ?	Fílica		Cpy-Py
EN-0106	P. Grueso ?	Fílica		Cpy-Py
EN-0107	P. Feldespatico	Sericítica	Argílica	Cpy-Py-Mo
EN-0108	P. Feldespatico	Fílica	Argílica	Cpy-Py
EN-0109	P. Feldespatico	Fílica	Argílica	Cpy-Py
EN-0110	P. Feldespatico	Fílica	Argílica	Py
EN-0111	P. Feldespatico	Biotítica	Fílica	Cpy-Py
EN-0112	P. Dacítico	Clorítica	Fílica-Argílica	Cpy-Py
EN-0113	P. Dacítico	Propilítica	Fílica	Cpy-Py
EN-0114	Andesita	Clorítica-Sericítica	Argílica	Cpy
EN-0115	Andesita	Fílica	Propilítica	Py-(Cpy-Dig-Mo)
EN-0116	Andesita	Fílica		Py
EN-0117	Andesita	Fílica		Py
EN-0118	Andesita	Fílica	Argílica	Py-(Cpy-Bo)
EN-0119	Andesita	Sericítica		-
EN-0120	Andesita	Argílica		Py

4.2.1 Litología

Las litologías de los cortes corresponden a 9 Andesitas y 11 Pórfidos, entre los cuales el equipo de Escondida distingue: pórfido feldespático, pórfido grueso y pórfido dacítico.

Las andesitas se caracterizan por una textura porfírica, con fenocristales mayores, casi exclusivamente, de plagioclasa. Ocasionalmente se distinguen maclas polisintéticas, en cristales con baja o nula alteración.

Para los pórfidos, en la mayoría de los casos es difícil hacer criterios de distinción mediante petrografía, dada la intensidad de las alteraciones. Sin embargo, el pórfido grueso puede ser observado con algunos cristales de feldespatos mayores que el resto de los pórfidos (>4 mm). El pórfido feldespático es difícil de distinguir del pórfido dacítico, dado que las maclas son escasas e insuficientes para determinar composición de las plagioclasas.

4.2.2 Alteración

La alteración predominante es la filica (en 17 muestras), aunque en varios cortes hay exclusivamente sericita, con mínimo contenido de cuarzo secundario. Para la alteración filica, la sericita osciló entre 20 y 50% y se observa como un arreglo microcristalino de cuarzo, con cristales anhedral de bordes aserrados, y sericita intracrecida fina anhedral (Figura 4.54).

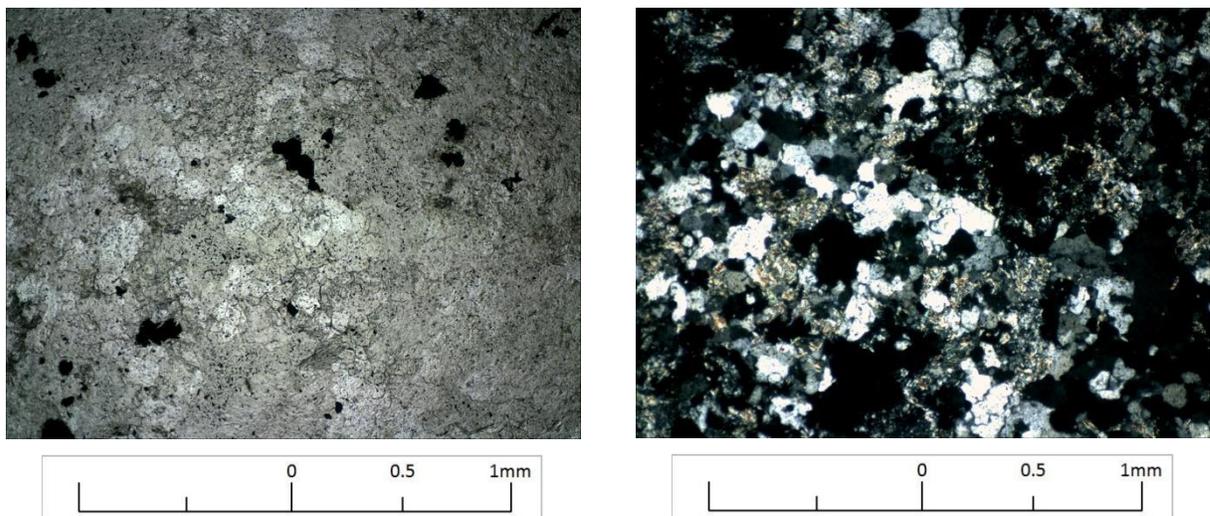


Figura 4.54: Andesita con intensa alteración filica de cuarzo-sericita. Muestra EN-0115.

Ocasionalmente la sericita tiene un buen desarrollo, y se presenta con cristales subhedrales de Muscovita. Esto ocurre en muestras con una alteración sericítica exclusivamente (Figura 4.55), observable sólo en 3 muestras.

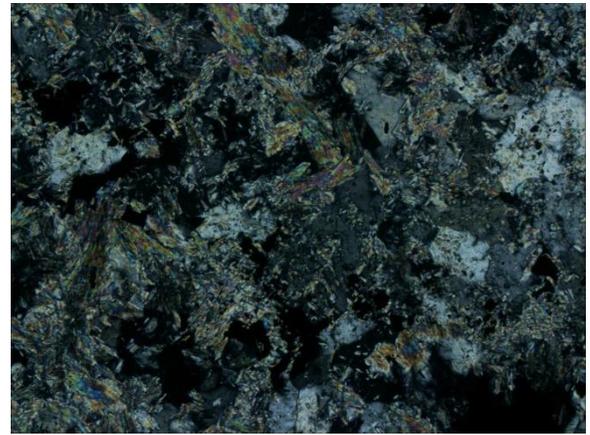
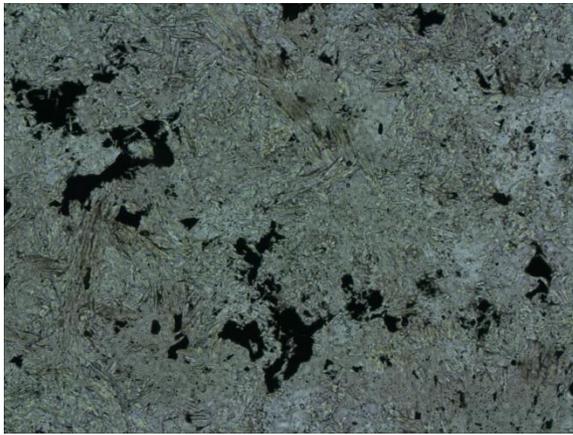


Figura 4.55: Pórfido feldespático con alteración cuarzo-sericítica, con buen desarrollo de cristales de muscovita. Muestra EN-0107.

En varios cortes se observa una alteración argílica sobrepuesta a la filíca. Esta se expresa como cúmulos de arcillas o como reemplazo selectivo parcial o total de feldespatos. Los feldespatos más alterados para las muestras observadas son los feldespatos potásicos (Ortoclasa). La caolinita fue identificada como una de las principales fases de esta alteración (Figura 4.56).



Figura 4.56: Pórfido feldespático con alteración cuarzo-sericítica y posterior argilización moderada, especialmente en halos de vetillas. Muestra EN-0110.

En tres cortes se puede distinguir una alteración potásica remanente, con biotita microcristalina anhedral a subhedral y en sólo una muestra de pórfido con feldespato potásico microcristalino (Figura 4.57). Las muestras son posteriormente alteradas mediante alteración propilítica o filico-argílica.

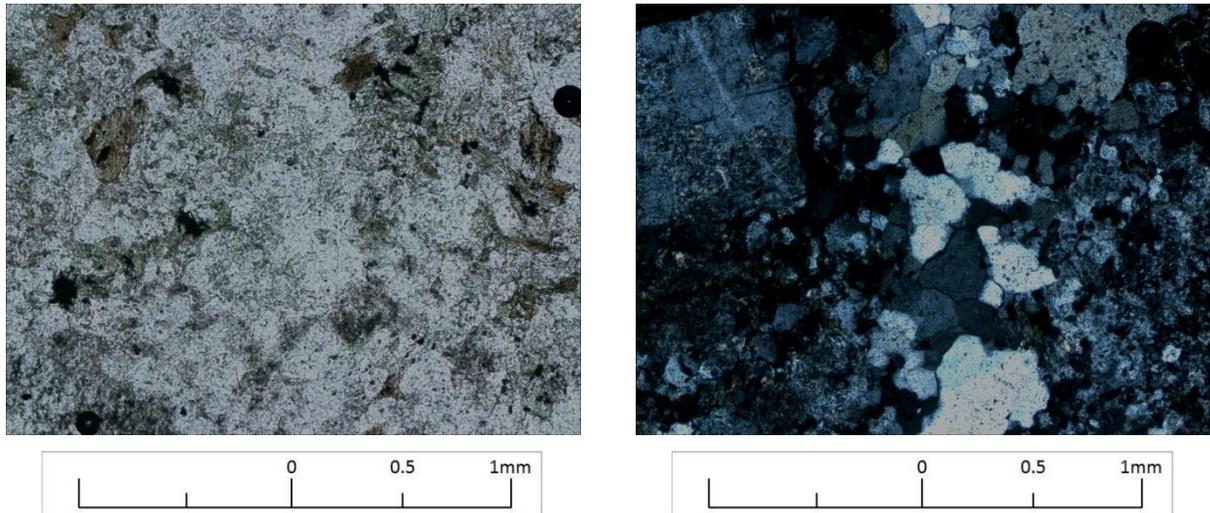


Figura 4.57: Pórfido feldespático con alteración potásica de biotita fina disseminada y feldespato potásico disseminado y en vetillas. Muestra EN-0111.

La alteración propilítica se observa como reemplazo selectivo de feldespatos por clorita (cloritización) y albita (albitización) (Figura 4.58), observable en 3 muestras.

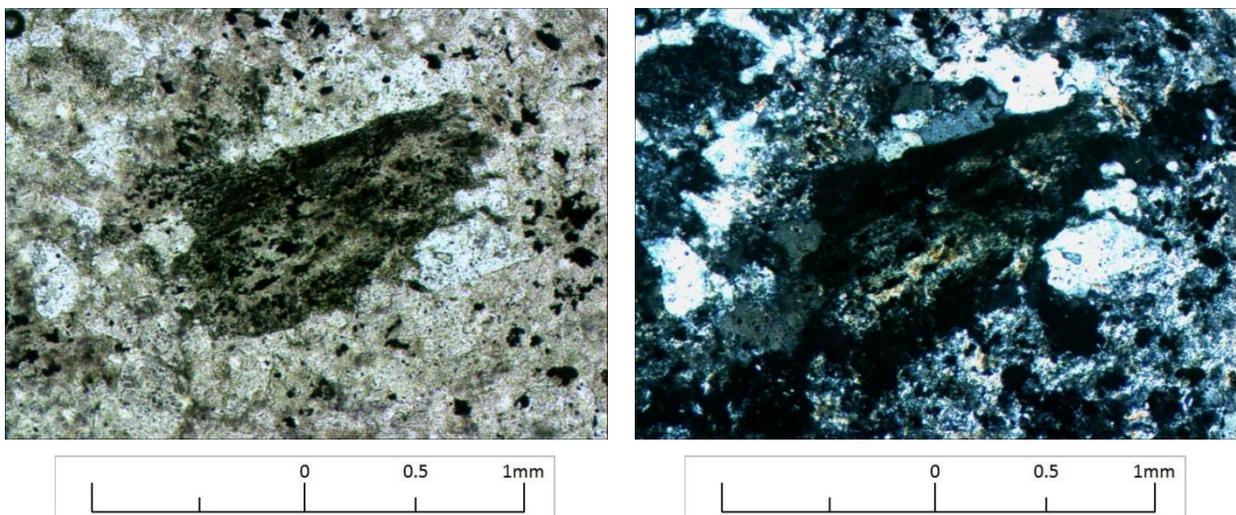


Figura 4.58: Mineral relicto de biotita reemplazado por clorita y posteriormente por sericita. Muestra EN-114.

Particularmente en la muestra EN-0114, se observa una andesita con reemplazo selectivo de fenocristales > 4 mm de plagioclasas por albita (Figura 4.59).

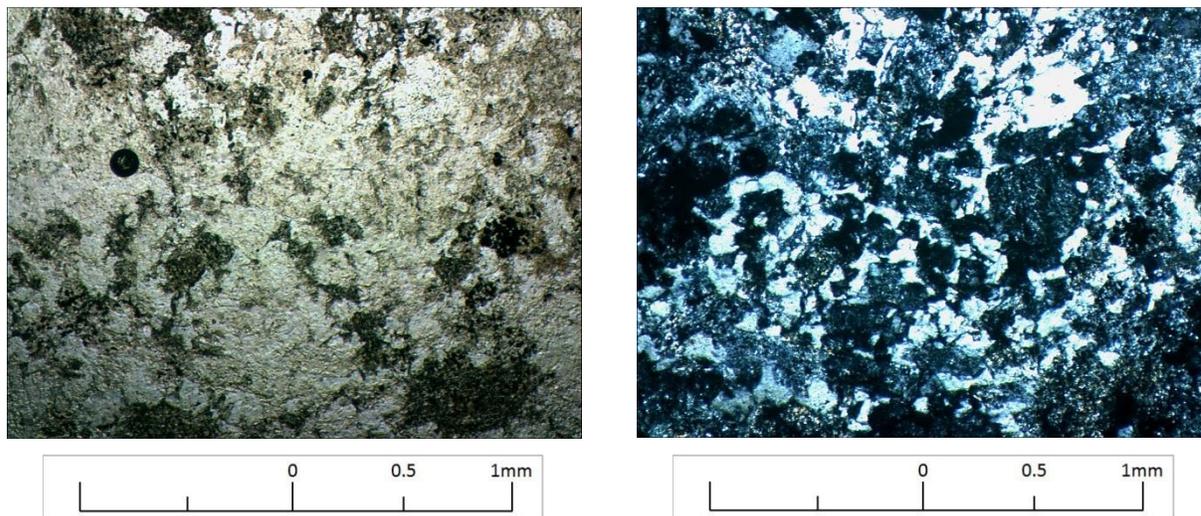


Figura 4.59: Albitización selectiva en fenocristales de plagioclasa. Muestra EN-114.

4.2.3 Zona mineral (MINZ)

La zona mineral se caracteriza por los minerales sulfurados de alguna importancia económica. La clasificación de la zona mineral se hizo de la misma manera que para las muestras de QemSCAN, del apartado 4.1.1.2 (Clasificación por Zona Mineral (MINZ)).

En las 20 muestras hubo 6 totalmente estériles, es decir, que no contienen minerales de importancia económica, sino que sólo Pirita. En particular, la muestra EN-0120, no contiene sulfuros en absoluto.

De las 15 muestras con mineralización económica, 11 contenían Cpy-Py, con contenido de Cpy hasta 3% (EN-0106). En dos de las muestras (EN-0107 y EN-0115) se reconoció Molibdenita, aunque aun así en concentraciones traza. Sólo EN-0104 contiene Calcosina en concentración considerable (~0.5%), mientras que otras 3 muestras tienen trazas de sulfuros enriquecidos (Cv-Cc). Sólo dos de las muestras, EN-0104 y EN-0118, contienen Bornita primaria.

4.2.4 Ocurrencia y parámetros texturales de los sulfuros

La ocurrencia de los minerales se relaciona estrechamente con la liberación, por lo que aquí se prestó especial atención a varios parámetros texturales de la ocurrencia. Los parámetros texturales de la ocurrencia de los sulfuros que se estimaron en este estudio son la asociación mineralógica y el tipo de borde. Esto es sólo cualitativo, dado que se eligieron sólo casos particulares de cada corte pulido, que terminan ejemplificando los casos aquí.

La caracterización se hizo con los siguientes parámetros:

- Diseminado o en vetillas
- Asociación: se determinó si el sulfuro está asociado a otro sulfuro, a silicatos o a cuarzo. En cortes pulidos es difícil entrar en más detalle, aunque se hizo dónde fue posible. Donde hubo dudas se extrapoló con la información de los cortes transparentes.
- Borde: se describió la forma del borde - aserrada/dendrítica o simple (recta), además de la nitidez – bien definido o difuso.
- Oclusión: se prestó especial atención a si el mineral está contenido completamente en otro mineral, y en particular, en otro sulfuro, dado que esto representa un problema mayor de liberación.

En la Tabla 4.32 se muestra un resumen del modo de ocurrencia de los sulfuros de mena de las 20 muestras de corte pulido.

Los sulfuros analizados aquí son los que ejemplifican la ocurrencia de la muestra, por lo general coincidiendo con la familia de mayor tamaño. El tamaño se puede considerar como uno de los mayores de la muestra.

En la tabla se puede observar una clara tendencia de la Calcopirita diseminada de asociarse con cuarzo y feldespatos, y arcillas donde la argilización de la roca es importante. Los bordes aquí son arbitrariamente simples y aserrados, sin asociarse predominantemente a algunos de los otros parámetros texturales estudiados.

En las muestras con otros sulfuros de Cu, se observa una asociación con Cpy y Py. En muchos de los casos por tratarse de un enriquecimiento secundario, pero también por una tenencia de precipitación primaria sobre Py.

Tabla 4.32: Modo de ocurrencia de los sulfuros de mena. dis: diseminado; vet: vetilla; Datos: 20 cortes pulidos de Escondida Norte, fase 5.

ID	MINZ	Dis-Vetillas	Tamaño [mm]	Asociación	Borde	Oclusión
EN-0101	Cpy-Py-(Cv)	dis	1	feld-Qz-(ar)	simple	no
EN-0102	Cpy-Py-(Cv)	dis-vet	0.5 - 3	Qz-ar	simple +/-	no
EN-0103	Py	-	-	-	-	-
EN-0104	Cpy-Cc-Bn-Py	vet	1.5	Py-feld-Qz-ar	simple-aserrado	no-si
EN-0105	Cpy-Py	dis-vet	0.2 - 1.5	feld-ar; Qz-Py	simples	no-si
EN-0106	Cpy-Py	dis	0.3	Qz-feld	simple-aserrado	no
EN-0107	Cpy-Py-Mo	dis	0.5; < 0.1	feld-Qz	aserrado	no
EN-0108	Cpy-Py	dis-vet	0.5 - 2	feld-Qz; Qz	aserrado; simple	no
EN-0109	Cpy-Py	dis	1	feld-ar-(Mo)	simple-aserrado	no
EN-0110	Py	-	-	-	-	-
EN-0111	Cpy-Py	dis	2	Chl-ar	aserrado	no
EN-0112	Cpy-Py	dis	0.5	Py-feld-Qz	aserrado-simple	no
EN-0113	Cpy-Py	dis	0.5	feld-Qz-sulf	simple	no
EN-0114	Cpy	dis	0.2	feld-ar	aserrados	no
EN-0115	Py-(Cpy-Dig-Mo)	dis	< 0.1	Qz-ar	simple	no
EN-0116	Py	-	-	-	-	-
EN-0117	Py	-	-	-	-	-
EN-0118	Py-(Cpy-Bo)	dis	0.1	Py	simple	si (Py)
EN-0119	-	-	-	-	-	-
EN-0120	Py	-	-	-	-	-

A partir de estos parámetros se asignaron los miembros a dos grupos, de la siguiente manera:

Liberación potencial fácil: 10 muestras (Tabla 4.33).

Tabla 4.33: Resumen de clasificación de las 20 muestras de Escondida Norte según facilidad potencial de liberación.

Liberación fácil	Liberación difícil
EN-0101	EN-0101
EN-0102	EN-0105
EN-0104	EN-0106
EN-0105	EN-0107
EN-0107	EN-0114
EN-0108	EN-0115
EN-0109	EN-0118
EN-0111	
EN-0112	
EN-0113	

Son las muestras con sulfuros con tamaño de grano > 0.5 mm. Estos están asociados principalmente a Qz-feldespatos y arcillas. En este grupo también están todas las muestras con mineralización en vetillas, donde la asociación está principalmente con Qz y otros sulfuros.

Aproximadamente la mitad de estos sulfuros tiene bordes aserrados y están diseminados. Esto podría generar una complicación de liberación en el borde, si llegase a quedar la partícula separada por el extremo. Sin embargo se optó por dejar estos casos en el grupo de liberación fácil, debido a su tamaño >0.5 mm, que reduce un poco la posibilidad de que ocurra específicamente una separación que comprenda dos fases. Algunos ejemplos en la Figura 4.60.

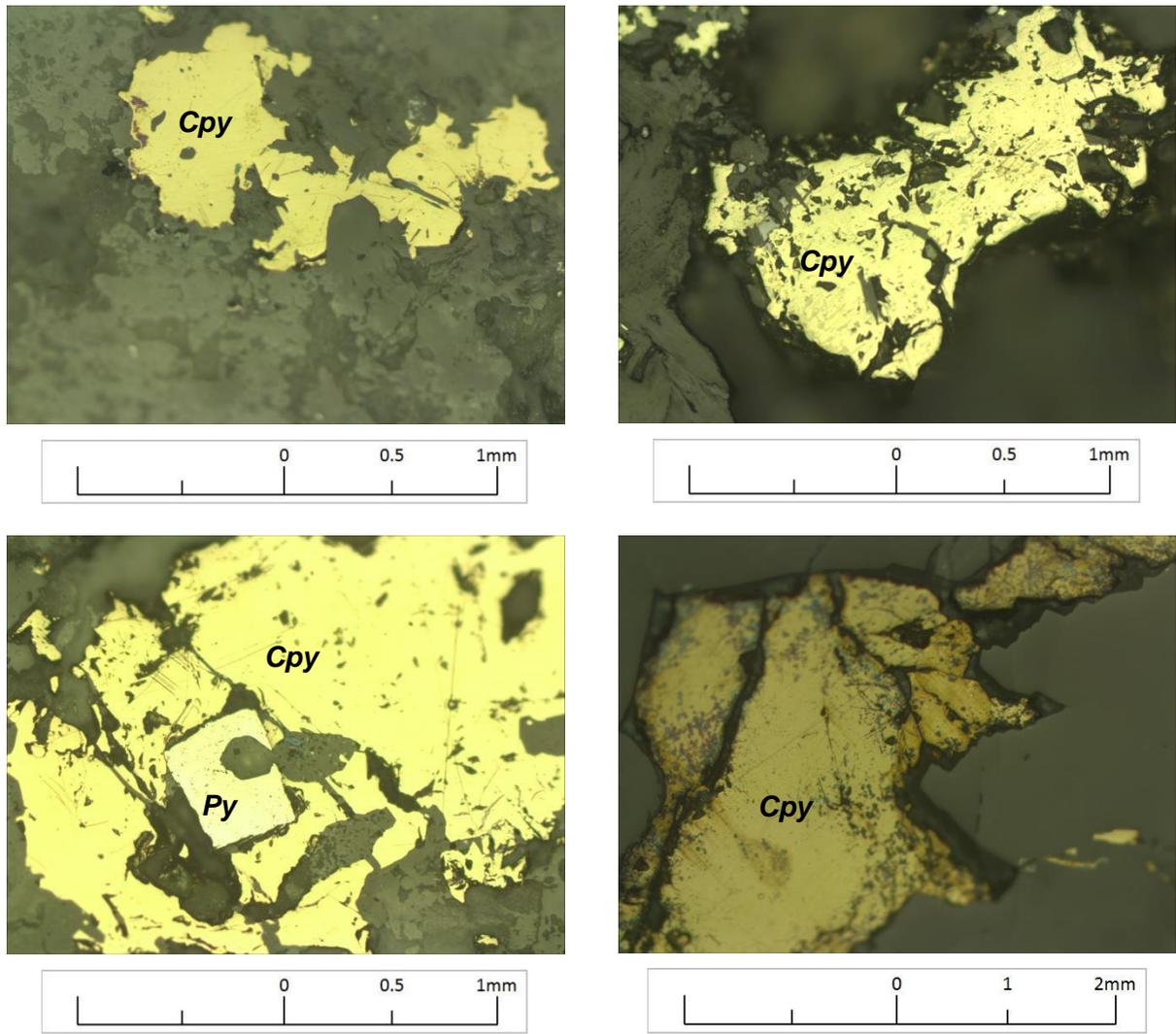


Figura 4.60: Ejemplos del grupo de liberación potencial fácil. Arriba: sulfuros (Cpy) diseminados – izquierda EN-0108, derecha EN-0109. Abajo: sulfuros (Cpy) en vetillas – izquierda- EN-0102, derecha – EN-0108.

Liberación potencial difícil: 6 muestras (Tabla 4.33).

Son las muestras que tienen tamaño inferior a 0.5 mm, con borde simple o aserrado. Este grupo también contiene las muestras con partículas ocluidas. En el caso de los bordes simples, puede ser discutible si serían de difícil liberación, pero el mismo tamaño permite la posibilidad de separación de granos con dos o más fases. Algunos ejemplos en la Figura 4.61.

Algunas de las muestras no fueron asignadas a ninguno de los grupos, por no contener sulfuros de mena.

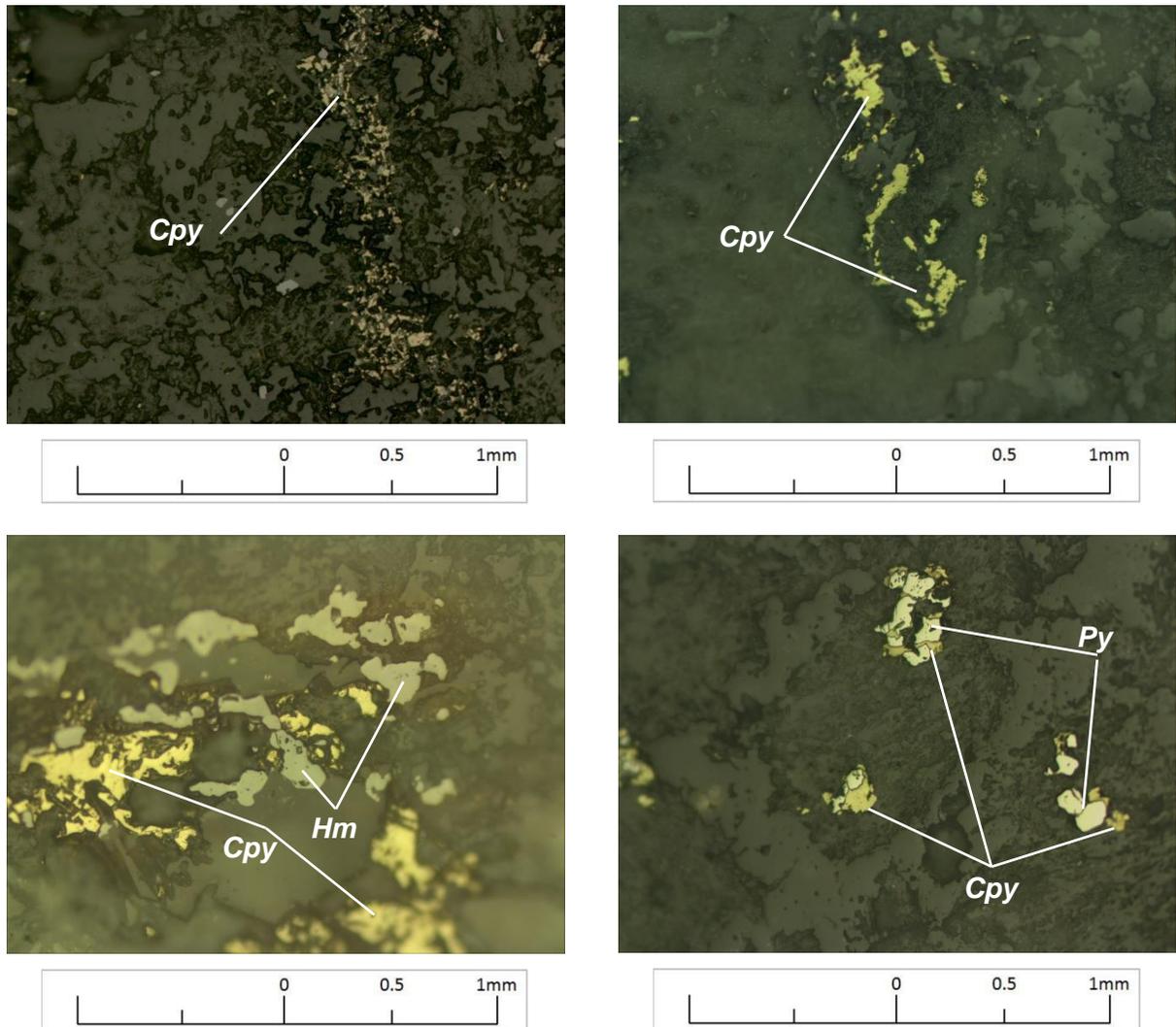


Figura 4.61: Ejemplos del grupo de liberación potencial difícil. Arriba izquierda: Cpy diseminada fina – EN-0107; arriba derecha: cpy diseminada fina – EN-0114; abajo izquierda: Cpy diseminada fina, con o sin asociación a Hm – EN-0102; abajo derecha: Cpy diseminada asociada a Py y arcillas – EN-0105.

Sin embargo, algunas muestras muestran un comportamiento mixto, de minerales de grano grueso (>0.5 mm), pero con geometrías complicadas por sobrecrecimiento u oclusión. En este caso, no se supo clasificar, dado a que es incierto cuál es el parámetro dominante al momento de la molienda. Algunos ejemplos en la Figura 4.62.

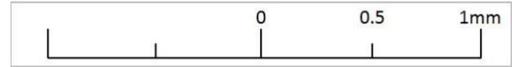
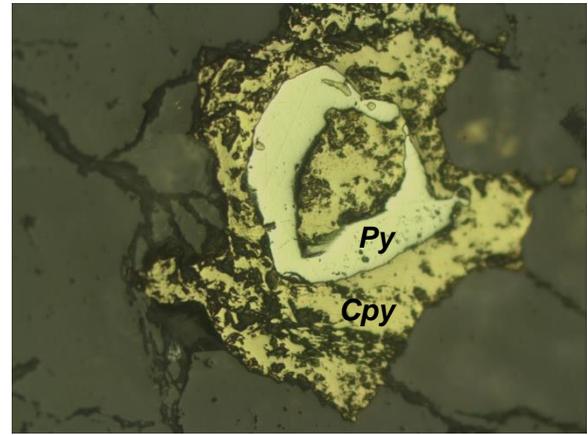
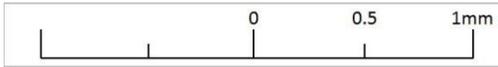
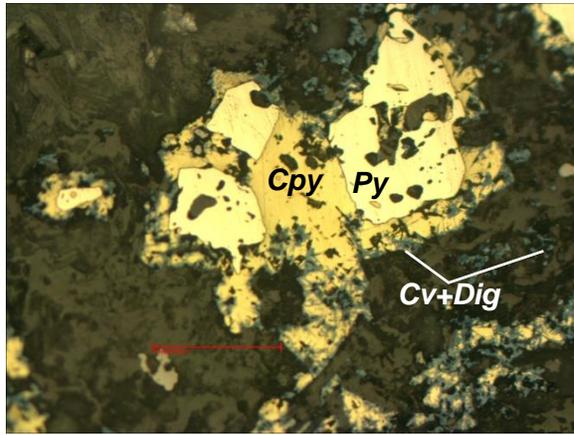


Figura 4.62: Ejemplos no clasificados para facilidad de liberación. Izquierda: Calcopirita +- Cv-Dig sobrecrecidos a Pirita – EN-0104. Derecha: Calcopirita sobrecrecida y ocluida por Py – EN-0105.

5 Discusiones

5.1 Análisis de datos QemSCAN

5.1.1 Clasificación de las muestras QemSCAN (Alteración y MINZ)

La clasificación por alteración presenta algunas ambigüedades, debido a falta de información de clasificación histórica del mapeo geológico. Se hicieron convenciones para estandarizar la clasificación, según la Hoja de codificación de Escondida FI12 (anexos 9.1), que puede no coincidir completamente con el procedimiento histórico. Sin embargo, se observa una buena correspondencia entre clasificación por QemSCAN y el mapeo geológico de las 36 muestras que se corresponden con muestras QemSCAN.

Se decide dejar de lado el mapeo geológico, especialmente en los casos donde existe ambigüedad de clasificación: principalmente con arcillas, dado la no existencia de datos espectrales para su identificación. Esto es especialmente aplicable a la diferenciación entre alteraciones Cloríticas (+-Ser +-Arc), Sericíticas (+-Arc) y sericita gris. Teniendo en consideración esto y las limitaciones texturales al analizar sólo con QemSCAN y sin muestra de mano, se decide simplificar la clasificación de alteración (Tabla 5.1).

Tabla 5.1: Categorías de alteración modificadas para las muestras de QemSCAN. N = 120 muestras.

Código	Alteración	# Muestras
31	FeldK > Bt	12
32	FeldK < Bt	7
40	Chl+Ser+Arc+Qz	9
51	Ser+Qz	29
52	Ser+Qz+Arc	60
61	Alt Supérgena	3

En el caso de zona mineral (MINZ), tampoco se dispone de información histórica, y se basa la clasificación en la Hoja de codificación FY12 (anexos 9.1). Se toma umbral del 20% de contenido relativo del sulfuro (respecto a todos los sulfuros) para ser considerado en la zona mineral. Además se combinan las zonas minerales Cc+Cv+Cpy+Py (61) y Cv+Cpy+Py (62) con el grupo de alteración supérgena Cc+Cpy+Py (60). Se muestra el resumen de clasificación en la Tabla 5.2.

Tabla 5.2: Categorías de clasificación según MINZONE modificada. N = 120 muestras.

Código	MINZone	Muestras
50	Cc+Py	40
51	Cc+Cv+Py	7
60	Cc+Cv+Cpy+Py	16
70	Cpy+Py	50
71	Bn+Cpy(+Py)	7

Se considera que la clasificación por alteración y zona mineral en estas categorías redefinidas y mediante QemSCAN tiene una alta confiabilidad, mayor al mapeo geológico con lupa, debido a la ambigüedad de la identificación de minerales en el logeo geológico y los distintos criterios geológicos. Esto evitaría propagación de errores al trabajar estadísticamente, utilizando agrupación por alteración.

La relación entre zona mineral y alteración se muestra en la Tabla 4.15. Se observa una correspondencia entre la Bornita, Bn+Cpy(+Py), y las alteraciones potásicas. Esto está bien documentado para el caso de Escondida, y se denomina la primera fase hidrotermal (Padilla, 2001). Esto se explica con la presencia predominante de Bn como mineral hipógeno profundo, y la ubicación profunda de las alteraciones potásicas.

Las zonas minerales de enriquecimiento secundario se corresponden con las alteraciones con Ser-Arcillas, presentes en los niveles más superficiales del sistema hidrotermal. Padilla (2001) define esta mineralización como la segunda y tercera etapa hidrotermal.

Se observa una presencia amplia de la zona mineralógica Cpy+Py, debido a su asociación genética con las alteraciones potásicas, cloríticas y sericíticas (Tabla 5.3).

Tabla 5.3: Correspondencia entre alteración y zona mineral para las 120 muestras del QemSCAN.

ALT MINZ	Cc+Py	Cc+Cv+Py	Cc+Cv+Cpy+Py	Cpy+Py	Bn+Cpy(+Py)
FeldK > Bt			3	6	3
FeldK < Bt				3	4
Chl+Ser+Arc+Qz				9	
Ser+Qz	10	3	7	9	
Ser+Qz+Arc	28	3	6	23	
Alt Supérgena	2	1			

5.1.2 Liberación QemSCAN

La liberación en el QemSCAN se define como la superficie libre en sección 2D de la plaqueta. Se enfoca el estudio en los valores extremos de ésta – partículas con liberación >90% y partículas con liberación <30%. El estudio es conclusivo implícitamente en el rango de liberación entre 90 y 30% por ser complementario a las consideradas.

La liberación en los datos QemSCAN está como dato global, pero también por tamaño de partícula, previamente seleccionada en la elaboración de las plaquetas (-1000/+150, -150/+53 y -53/+0 μm). Se apreció que el comportamiento de la liberación >90% global es controlado por la suma de los comportamientos de liberación >90% en los tamaños -150/+53 y -53/+0 μm , con $R^2 = 0.991$ (120 datos).

En el histograma de liberación >90% global tiene una media de 59.91% de las partículas, y se observan dos grupos bien definidos, centrados en 52 y 70%, con 10 y 18 datos respectivamente. Un tercer grupo menos definido se centra en 35%, con sólo 6 datos. Este comportamiento se debe a la división entre liberación en zonas minerales primarias y secundarias. Los valores entre los dos grupos principales son causados mayormente por las zonas minerales en transición. En el tamaño -150/+53 μm se observa una liberación >90% del orden del 10% de los granos, mientras que en el rango -53/+0 μm , el histograma muestra un grupo bien definido centrado en 55% de partículas liberadas sobre 90%. La liberación global ocurre mayormente por la combinación de estos dos histogramas, lo que muestra un salto en la liberación entre estos dos tamaños de partícula.

Para la liberación <30%, se observa que la liberación deficiente es principalmente debido a la asociación lateral de las fases sulfuradas, con una media de 10% de liberación <30% global. La liberación <30% global diseminada y por oclusión representa sólo el 1.6 y 1.79% respectivamente. Esto es consistente con lo observado en los cortes pulidos de Escondida Norte, debido a que la asociación lateral es la que dominó la relación textural entre sulfuro-ganga.

En los triángulos de repartición por rango de tamaño, se observa que la asociación lateral se da mayormente en los tamaños -150/+53 y -1000/+150 μm , siendo menos importante en las partículas de menos tamaño. Esto puede deberse a que las partículas con asociación lateral se componen de dos o varias fases de sobrecrecimiento, que naturalmente aumenta el tamaño de la partícula, que se mantiene intacta a menos que se lleve hasta una molienda que separe las fases entre sí, dando el salto entre los tamaños -150/+53 y -53/+0 μm . La diseminación muestra una repartición por tamaño similar a la asociación lateral, mientras que las partículas ocluidas se reparten en su gran mayoría entre los tamaños -1000/+150 y -150/+53 μm .

La liberación >90% es mayor en los sulfuros primarios Cpy+Py+-Bn, con promedio ~68%. Esto se contrapone a las zonas minerales secundarias enriquecidas, Cc+Py+-Cv, que tienen un promedio de liberación >90% de ~50%. Estos sulfuros secundarios enriquecidos se corresponden mayormente con las alteraciones Cloríticas y Potásicas, que tienen una cota inferior del 50% en liberación global >90%, mientras que el resto de alteraciones mantienen un rango amplio del porcentaje de liberación. Sin duda que la división de este comportamiento es más visible entre grupos de zona mineral que de alteración.

La liberación <30% por asociación lateral muestra un porcentaje más bajo para los MINZ de sulfuros primarios, comparado a los sulfuros secundarios y los de transición. Esto es consistente con que se complementan con la liberación >90%. Ocurre lo contrario con la liberación <30% por oclusión, donde los sulfuros primarios Cpy+Py tienen un porcentaje mayor que los secundarios. Por otro lado, no se observa una mayor diferencia entre la liberación <30% por tipo de alteración.

5.1.3 Liberación y mineralogía modal (general, por MINZ)

De la matriz de correlación entre los parámetros mineralógicos se observa nuevamente una relación directa entre los minerales que definen la zona mineralógica, Calcosina y Pirita y la liberación >90%. Correlación positiva entre Calcopirita y liberación >90% global (0.47) y negativa entre Calcosina y liberación >90% global (-0.64). Los minerales de ganga muestran menor correlación con la liberación (<0.4), pero cabe destacar que Fd-K, Bt, Chl y Qz+Feld tienen una relación positiva, mientras

que Kao tiene una relación inversa. Estas correlaciones no mejoran sustancialmente por considerar composición modal normalizada a 100% entre los sulfuros. Esta relación se observa de mejor manera en un boxplot por zona mineralógica (Figura 5.1). Hay que destacar que la zona mineral Cc+Cv+Py se comporta más como los sulfuros primarios que como los secundarios enriquecidos.

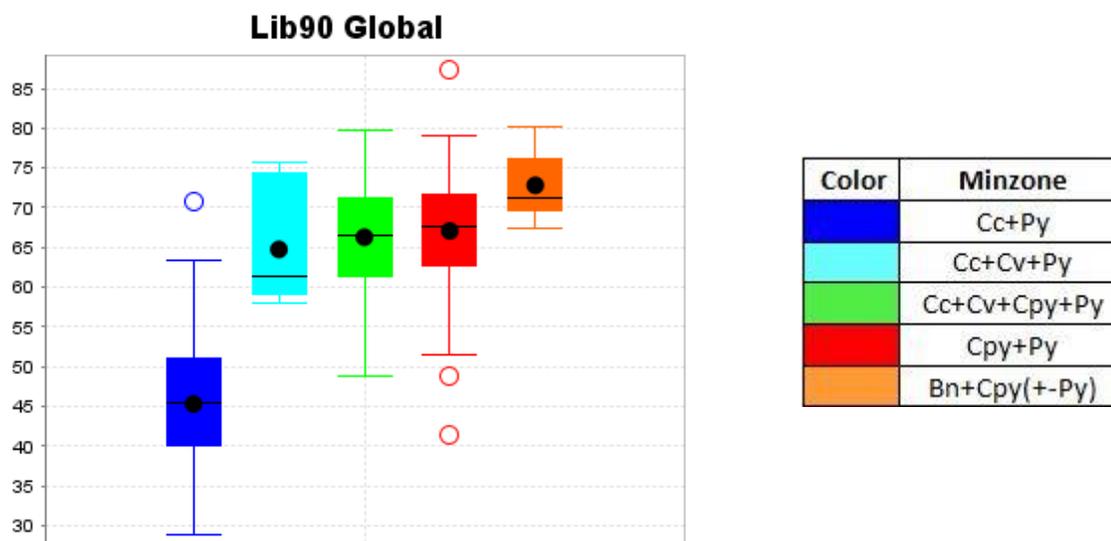


Figura 5.1: Boxplot de liberación por zona mineral. N = 120 muestras.

Lo inverso ocurre con la liberación <30% por asociación lateral, tanto con Calcopirita (-0.44), como con Pirita (0.48). Esto es debido a la relación complementaria entre la liberación >90% y la liberación <30%. Estas correlaciones no mejoran sustancialmente por considerar composición modal normalizada a 100% entre los sulfuros.

Los minerales Feld-K y la categoría Qz+Feld-K mantienen una relación positiva con la liberación >90% global, con 0.50 y 0.55 respectivamente. En cambio, las Arcillas tienen relación negativa, -0.41. Lo contrario ocurre con la liberación <30% por asociación lateral, especialmente con Fd-K (-0.49). Esto confirma una mejor liberación en las zonas de alteración potásica, especialmente en pórfido, donde hay un buen desarrollo de Feld-K.

En la zona mineral primaria, es importante notar que la Py tiene correlación negativa -0.42 con la liberación >90% global y positiva con la liberación <30% con asociación lateral.

5.1.4 Liberación y parámetros texturales

El tamaño de partícula medio de los sulfuros de Cu tiene alta correlación con la liberación >90% global y también con la zona mineral. Un tamaño de partícula de Cu pequeño se relaciona con una liberación >90% global menor y con la zona mineral Cpy+Py. En cambio, un tamaño de partícula de Cu alto se relaciona con liberación >90% global mayor y mayormente con la zona mineral secundaria Cc+Py (Figura 5.3).

Por lo general, el tamaño de grano grande, permitiría una buena liberación a una molienda del tamaño de grano, a menos que estos granos queden como residuales en el P80 (Figura 5.2).

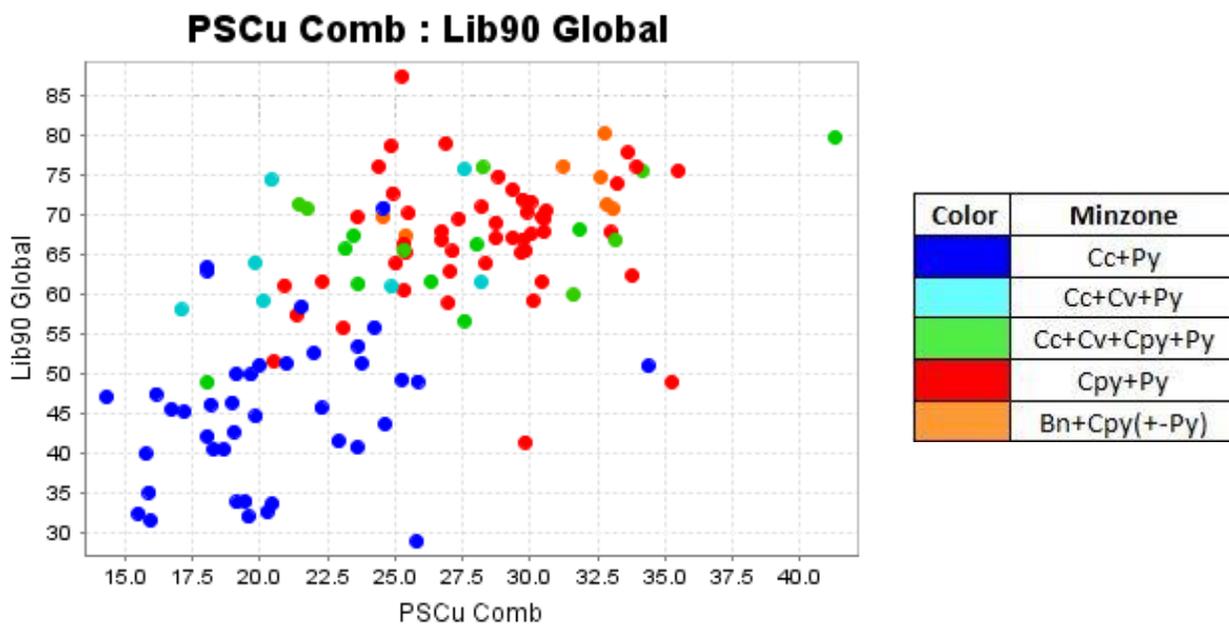


Figura 5.2: Relación entre liberación >90% global y el tamaño medio de sulfuro de Cu. Datos categorizados por zona mineral. N = 120 muestras.

Además, hay relación inversa entre la liberación <30% de partículas con asociación lateral y el tamaño de los sulfuros de Cu. En este caso la relación es

inversa, con $R = -75$. Esto implica que las partículas más grandes tienen menor asociación lateral al mismo tamaño de molienda.

Se observa que los sulfuros secundarios, Cc-Py se asocian en mayor medida con Pirita, lo que coincide con una menor liberación, comparado con los sulfuros primarios Cpy-Bn y con mayor liberación. Los sulfuros primarios, junto a la zona Cc+Cv+-Py se asocian mayormente a Arcillas, y algunas pocas muestras a Arcillas y minerales de ganga. Esto se podría relacionar a las texturas de sobrecrecimiento de los sulfuros secundarios Cc sobre Py, mientras que las zonas primarias tienden a estar más asociadas a Arcillas, por su génesis hidrotermal asociado a las alteraciones cloríticas-sericíticas.

Genéticamente, este comportamiento tiene sentido con las etapas de mineralización descritas tan detalladamente por Padilla et al., 2001, en Escondida, y Hervé et al., 2012 en Escondida Norte. La ocurrencia diseminada de los sulfuros primarios, como la Calcopirita y la Bornita, está asociada a etapas de alteración sericíticas +- clorita y argílicas principalmente, donde el intercrecimiento, junto al tamaño pequeño de estos minerales de ganga crean texturas de bordes complejos. Adicionalmente estos minerales (sericita, clorita y arcillas) tienen un comportamiento elástico frente a la molienda, por lo que su mayor concentración significa una liberación más difícil. El cuarzo y los feldespatos, que acompaña a cualquiera de estas etapas de mineralización, además de la alteración potásica, no dificultan la liberación, debido a su comportamiento frágil frente a la molienda. Debido a que cuarzo-feldespatos y arcillas-sericita-clorita conforman la mayoría de los minerales de ganga en las zonas económicas del depósito, genera las correlaciones negativas de liberación con arcillas y complementariamente positivas con los minerales cuarzo-feldespatos.

Genéticamente la mineralización en vetillas asociada a todas las etapas hidrotermales, no genera un problema de liberación, debido a que los sulfuros de Cu presentan, por lo general, mayor tamaño que los diseminados. Esto está claramente respaldado por los datos calcográficos de este trabajo.

Por otro lado, todas las zonas minerales muestran hasta un 60% relativa de asociación sulfuro en granos complejos, especialmente los primarios, que pueden

llegar hasta un 80% relativa de asociación como granos complejos (Figura 5.3 y Figura 4.43).

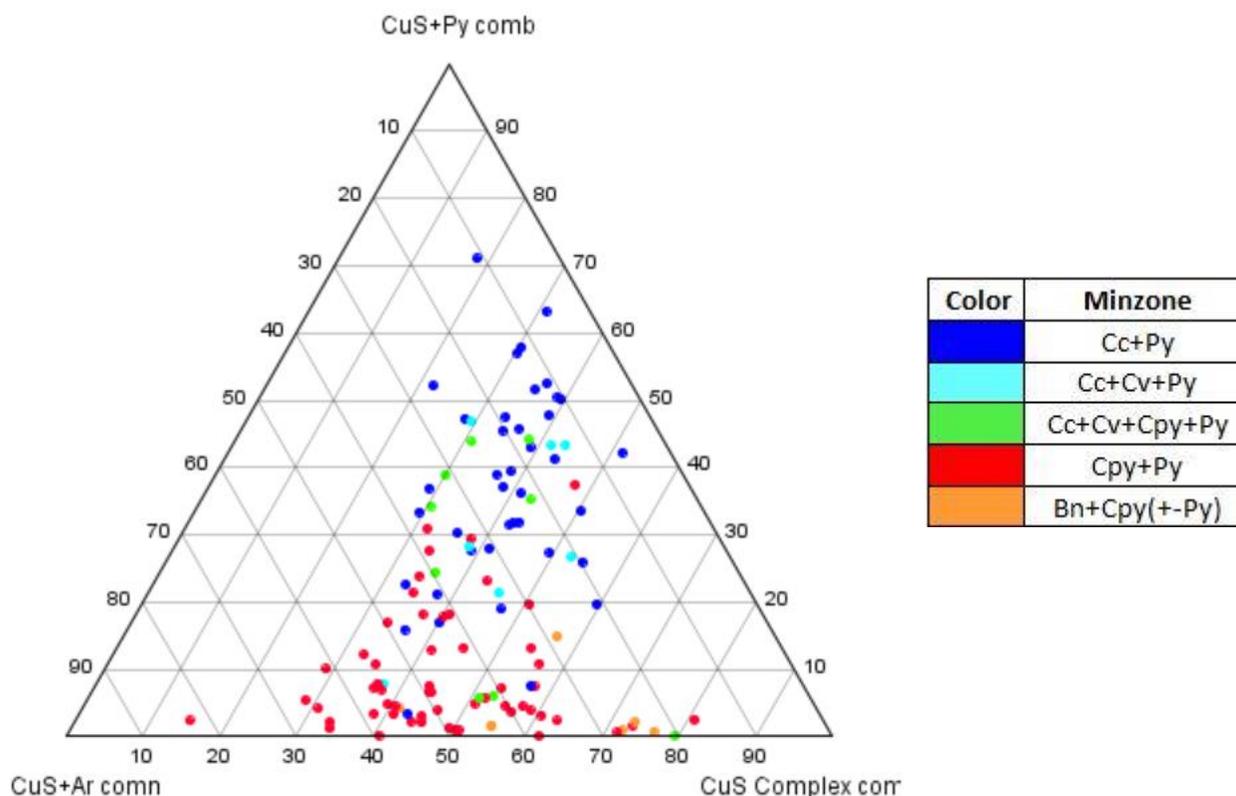


Figura 5.3: Triángulo de repartición de la asociación de los sulfuros de Cu con Py, Arcillas y asociación compleja. Color por MINZ. N = 120 datos.

Al analizar el contenido de Pirita y su relación con la asociación de sulfuros con ésta ($R \sim 0.70$), queda en evidencia que la Pirita es co-genética a la mineralización, algo respaldado por el trabajo de Padilla (2001). La asociación con Pirita en las alteraciones secundarias, Cc+-Cv+Py con $R \sim 95$, es indicativa de sobrecrecimiento, algo también observado en los cortes pulidos analizados de Escondida Norte. Esto también se confirma, por la mayor asociación a Py de los sulfuros de la zona Cc+Py, comparado al resto de las zonas.

La mayor asociación de los sulfuros de Cu con Py de las zonas minerales Cc+Py puede ser otra evidencia de esta genética de enriquecimiento supérgeno.

5.1.5 Liberación y ensayos de moliendabilidad

Las correlaciones entre los ensayos de dureza SPI/BWI y la liberación >90% y los tres tipos de liberación <30% (diseminada, ocluida y lateral) son bajas, menores a 0.5 en valor absoluto. Esto puede ser debido a que se trabajó sólo con 45 datos, donde una significancia estadística puede perderse en la particularidad de cada muestra.

Sin embargo, para los tamaños más pequeños, -150/+53 y -53/+0 μm , los parámetros de dureza SPI/BWI tienen consistentemente signo positivo con la liberación <30% diseminada y ocluida. Por ejemplo, la liberación <30% por asociación ocluida en el rango -150/+53 μm y BWI tiene un coeficiente de correlación 0.44.

Esta dificultad de liberar los sulfuros ocluidos en rocas con moliendabilidad más baja puede deberse a que para moler la roca, esta debe fracturar mayormente la ganga. Si esta ganga es difícil de fracturar, reflejados en valores altos de SPI/BWI, entonces menos probable es que las partículas ocluidas en la ganga puedan liberarse. Algo similar podría estar ocurriendo con las partículas diseminadas.

Esto podría explicar las relaciones positivas entre partículas diseminadas y ocluidas no liberadas, y los ensayos de dureza. Probablemente los valores son bajos, debido a que hay más factores a considerar, y por lo general, las partículas ocluidas son pocas como para marcar una tendencia fuerte.

5.2 Petrografía y Calcografía

En los cortes transparentes se lograron establecer las litologías, alteraciones y zonas minerales de las muestras. Se identificaron 8 muestras de andesitas y 11 de pórfidos (feldespático, grueso y dacítico).

Se identificó que la alteración predominante es la filica, con o sin argílica sobrepuesta, en 17 muestras de las 20 en total. La alteración potásica se observa en 3 muestras, como alteración remanente, posteriormente reequilibrada a propilítica, con Chi-Alb o filica, con moderada a intensa seritización.

En los cortes pulidos se identificaron 11 muestras de zonas primarias Cpy-Py, y 4 muestras de sulfuros con enriquecimiento secundario Cc-Cv, con sólo una muestra con

considerable Cc (~3%). Se tomaron datos de caracterización textural, con especial atención al tipo de ocurrencia, tamaño y bordes de los granos de mena.

Se definió la liberación esperada potencial:

- Liberación fácil: granos >0.5 mm, asociados principalmente a minerales de ganga de Cuarzo, Feldspatos y Arcillas mediante bordes simples. En vetillas, se logran distinguir granos de gran tamaño, y también asociación con otros sulfuros, principalmente Pirita.
- Liberación difícil: granos <0.5 mm, con bordes aserrados a simples, y mayormente en asociaciones complejas con minerales de ganga u ocluidos por otros minerales.

Las muestras que presentan un comportamiento mixto, son las que son de grano grueso y presentan una ocurrencia con oclusión, o vienen con bordes aserrados en contacto con otros sulfuros. Tres muestras se clasificaron en esta categoría.

El borde, su forma y asociación gana importancia en granos más pequeños, lo que se respalda por las relaciones de tamaño de sulfuros de Cu y la liberación <30% de asociación lateral, con relación inversa (Figura 5.4).

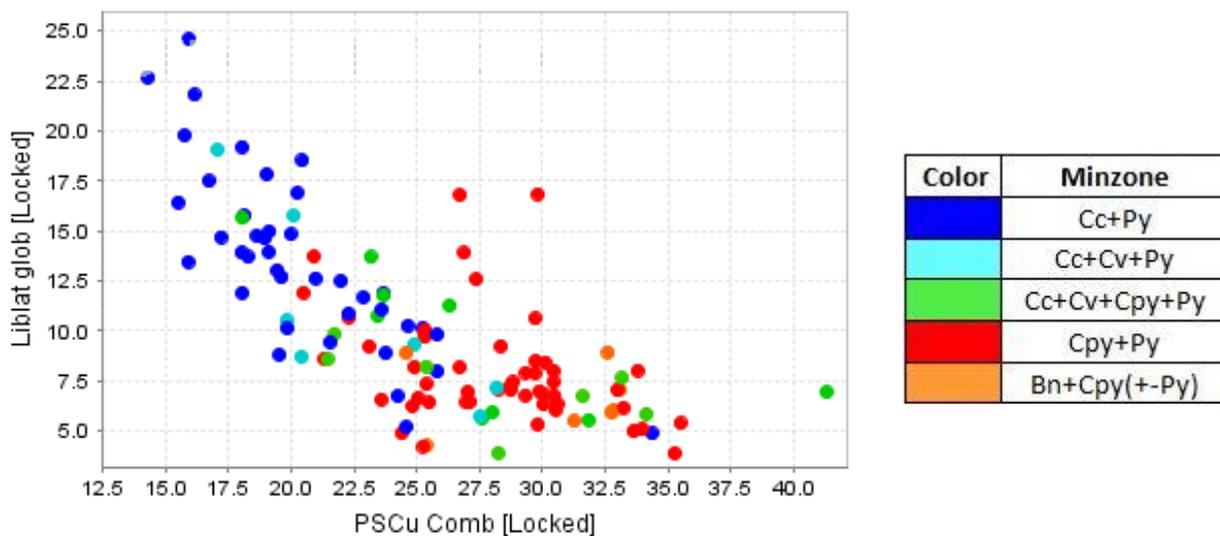


Figura 5.4: Relación entre liberación <30% por asociación lateral, y el tamaño medio de sulfuro de Cu. Datos categorizados por zona mineral. N = 120 muestras.

6 Conclusiones

La cuantificación del grado de liberación es uno de los temas más importantes del procesamiento mineral y ha sido objeto de intensa investigación en las últimas dos décadas. Sin embargo, hasta ahora no se ha encontrado una metodología de bajo costo que entregue resultados confiables.

Este estudio se centró en la búsqueda de relaciones entre los parámetros de liberación, entregados por QemSCAN, y las características mineralógicas y texturales de las muestras, además de ensayos SAG Power Index y Bond Work Index, con la idea de determinar los parámetros dominantes en el fenómeno, que podrían llevar a una metodología económica de buena representatividad.

El análisis de los porcentajes de liberación muestran que la liberación >90% global está controlada con $R^2 \sim 0.99$ por la liberación >90% en los tamaños menores a 150 μm , y guarda poca relación con los tamaños mayores a 150 μm . Por esto, se concluye que las limitantes de la liberación se ubican en el paso entre el tamaño -1000/+150 y -150/+53 μm .

En la descripción de los 20 cortes pulidos de Escondida Norte se observó que el tamaño de los sulfuros de Cu es principalmente menor a 200 μm . En muchos casos se encontraron granos de mayor tamaño, que fueron el principal foco del análisis textural, dadas las limitaciones ópticas, por lo que el análisis realizado no es ideal para contrastar con los datos de liberación del QemSCAN, a menos que las características texturales en los granos mayores analizados sea compartido por los granos menores a 150 μm .

La separación categórica por zona mineral permitió identificar liberación deficiente para la zona secundaria de Cc+Py, desarrollada exclusivamente en zonas de alteraciones Sericíticas +- Arcillas y en la alteración supérgena. Esta liberación tiene promedio de 48% de los granos liberados >90% global. Este comportamiento de liberación está implícito, y transfiere su relación proporcional a varios de los parámetros analizados, como %Cc, %relativo de Cc y categorización por alteración. También se relaciona de forma inversa con el contenido del resto de los sulfuros de Cu y las otras

alteraciones. Para esta zona se identificó que la liberación deficiente es principalmente debido a la asociación de los sulfuros con Pirita o con más de 2 fases, como asociación compleja.

La zona mineral secundaria de Cc+Cv+Py, no siguió este comportamiento, sino que se asemejaba más al resto de las zonas minerales, primarias y mixtas.

Por otro lado, los sulfuros primarios, junto a la zona Cc+Cv+Py muestran una liberación >90% global, con un promedio de ~70%, superior a la de la zona Cc+Py. Esta mineralización está presente en todas las alteraciones, excepto la alteración supérgena. Las zonas también mostraron mayor tamaño de partícula de los sulfuros de Cu, menor asociación lateral y menor asociación con Py que la zona Cc+Py. Esta zona tiene principalmente asociación con arcillas y contiene algunas muestras con predominante asociación compleja. Esto puede ser debido al tamaño de grano de las arcillas o su paragénesis con la Cpy. Para esta zona mineral no fue posible establecer proporcionalidad alguna entre la liberación favorable o deficiente y el resto de los parámetros del QemSCAN.

Los ensayos de dureza SAG Power Index (SPI) y Bond Work Index (BWI) no mostraron correlación importante con la liberación. El único valor alto corresponde a la relación entre liberación <30% por oclusión y BWI ($R \sim 0.44$). Se infiere que esto puede deberse a la dificultad de fracturamiento de los granos co-genéticos, al contener estos granos de sulfuros de Cu. Sin embargo, según lo observado en los cortes pulidos y consistente con toda la información de QemSCAN, la oclusión de granos presenta un problema menor de liberación.

Lo cortes pulidos permitieron observar el modo de ocurrencia y la paragénesis de los sulfuros de Cu. Fueron de gran ayuda para confirmar algunas de las observaciones estadísticas del QemSCAN, principalmente la relación de la asociación de los sulfuros de Cc con Py y la relación con la ganga. Se lograron identificar dos grupos de las muestras – liberación potencial fácil y difícil, además de un grupo de transición que no se supo clasificar.

Los cortes pulidos permitieron además visualizar la forma del borde entre fases, lo que se relacionó especulativamente con la liberación. El tipo de borde no se logró analizar estadísticamente, debido a que este parámetro no está incluido explícitamente en el QemSCAN. Se cree que puede tener implicancias importantes para sulfuros de pequeño tamaño, como muestra el análisis de los QemSCAN.

7 Comentarios finales y recomendaciones

Este trabajo es sólo un primer paso para entender el comportamiento de liberación de los sulfuros de mena de Cu en el distrito Escondida. Se pudieron definir algunas relaciones entre liberación y parámetros mineralógicos y texturales, aunque un método de estimación permanece esquivo.

Se cree que los métodos ópticos tienen un potencial enorme en definir categorías de liberación, siempre y cuando analizan el tamaño de grano promedio de la mena, por lo que una imagen de calidad con buen aumento es indispensable, y se automatice para obtener una alta densidad de información. La densidad de información en un estudio de liberación es primordial, dada la no-aditividad de este parámetro.

Se recomienda replicar este estudio, con algunas consideraciones que permitan hacer los datos más comparables. Dada la alta variabilidad de los datos de liberación y texturales, se recomienda tomar un depósito de poca variabilidad, y hacer cortes y ensayos de dureza correspondientes a las muestras QemSCAN. Para resguardar la validez estadística al usar separaciones categóricas, es necesario asegurar tener suficientes muestras de cada categoría de agrupación.

8 Bibliografía

- Barraza, M. (2012). *Flotation performance of Geometallurgical Units*.
- Basto, E. (2012). *Escondida Site Tour*. BHP Billiton.
- Bond, F. (1961). Crushing and Grinding Calculations Part I. *British Chemical Engineering, Vol. 6*, 378-385.
- Camus, F. (2003). *Geología de los sistemas porfíricos en los Andes de Chile*. Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería.
- Corbett, G. y. (1998). Southwest Pacific Rim Gold-Copper Systems: Structure, Alteration, and Mineralization. *Society of Economic Geologist*, pp. 237.
- Doll, A. (2013). *SAG Mill + BALL Mill Circuit Sizing*.
- Flores, L. (2005). *Hardness Model and Reconciliation of Throughput Models to Plant Results at Minera Escondida LTDS., Chile., CHILE*. SGS.
- Giggenbach, W. (1997). *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*. (3. ed., Ed.)
- Gottlieb, P. S.-T. (2000). Using Quantitative Electron Microscopy for Process Mineralogy Applications. *Microtextural Mineralogy*.
- Hervé, M. S. (2012). Overview of the Escondida Porphyry Copper District, Northern Chile. *Society of Economic Geologists, Inc.*, 55-78.
- Hunt, J. B. (2011). Characterizing chalcopyrite liberation and flotation potential: Examples from an IOCG deposit. *Mineral Engineering*.
- Jara, C. R. (2009). Petrología y dataciones U-Pb del depósito tipo porfido Cu Zaldívar, II Región de Antofagasta, Chile. *Congreso Geológico Chileno, 12th, Santiago, 2009, Actas*, 4.
- John, D. A. (2010). *Porphyry Copper Deposit Model*. Virginia: U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey.
- Marinovich, N. S. (1992). *Hoja de Aguas Blancas, Región de Antofagasta: Carta Geológica de Chile 70, 1:250.000*. Servicio Nacional de Geología y Minería.
- Mosher, J. T. (2001). Conduct and precision of Bond grindability testing. *Minerals Engineering, Vol. 14*(No. 10), pp. 1187-1197.
- Navarro, M. M. (2009). Actualización de la geología del yacimiento Zaldívar. *Congreso Geológico Chileno, 12th, Santiago, 2009, Actas*, 4.

- Ojeda, J. (1986). The Escondida porphyry copper deposit, II Region, Chile: Exploration drilling and current geological interpretation. *Mining Latin America: London, Institution of Mining Metallurgy*, 299-318.
- Oyarzún. (2011). 2nd International Seminar on Geology for the Mining Industry. *Study of the relationship between rock texture and grindability. El Teniente mine. Antofagasta.*
- Padilla, R. T. (2001). Geology of the Escondida Porphyry Copper Deposit, Antofagasta Region, Chile. *Economic Geology, Vol. 96*, pp. 307-324.
- Parelló, J. (1983). *Al menos tres etapas en la evolución del "Pórfido Principal" de Escondida: Nota de trabajo.* Antofagasta: Minera Utah de Chile.
- Parelló, J. (1984). *Geological setting of the Escondida porphyry copper deposit, Chile.* Antofagasta: Minera Utah de Chile.
- Quiroz, F. (1998). *Reporte sobre la geología del pórfido cuprífero Escondida, Antofagasta, Chile.* Antofagasta: Minera Escondida Ltd.
- Richards, J. N. (1999). A revised Late Eocene age for Porphyry Cu-forming magmatism in the Escondida area, northern Chile. *Economic Geology, v. 94*, 1231-1247.
- Starkey, J. (1997). Getting more from drill core preliminary SAG design. *Randol Gold Forum.* Monterey, California.
- Starkey, J. D. (1994). A new tool for SAG hardness testing. *Canadian Mineral Processor's Conference.* Ottawa.
- Starkey, J. D. (1996). Application of the MinnovEX SAG Power Index at five canadian SAG plants. *International Autogenous and Semiautogenous Grinding Technology*
- Townley, B. (2006). *Metalogénesis: Hidrotermalismo y Modelos de Yacimiento.* Santiago: Departamento de Geología, Universidad de Chile.
- Verret, F. C. (2011). *SAG Mill Testing - An overview of the test procedures available to characterize ore grindability.* SGS.

9 Anexos

9.1 Hoja de codificación

Tabla 1: Hoja de codificación litológica, Escondida, 2012.

Litología	Abrev.	Código
Pórfido Feldespático	PF	31
Pórfido Riolítico (ENorte)	PR	32
Pórfido Cuarzífero (Mina)	PC	33
Pórfido Grueso (ENorte)	PG	34
Pórfido Dacítico (tardia)	DT	35
Porfido Feldespático Tardío	PFT	70
Pórfido Negro	PNO	71
Porfido Dacítico de Anfíbol	PDA	72
Porfido Temprano	PT	73
Andesita	AN	50
Autobrecha (Volcánica)	AB	51
Unidad Volcano-Sedimentaria	UVS	81
Tobas Dacíticas	TD	53
Tobas Riolíticas	TR	54
Brecha Hidrotermal	BH	21
Brecha Tectónica	BT	22
Brecha Magmática-Ignea-Contacto	BI	23
Brecha Pebbles Dikes	BP	24
Grava	GR	6
Diorita	DR	40
Relleno Artificial	RA	1
Relleno Acopio	RS	2
Arenisca Volcánica	AV	64
Roca Moteada	RM	10
Dique (en el sentido amplio)	D	11

Tabla 2: Hoja de codificación de alteración, Escondida, 2012.

Alteración	Abrev.	Código
Fresco: sin Alteración	F	10
Propilítico	P	20
Potásico (Sólo Bt secundaria)	K1	30
Feld K > Bt	K2	31
Feld K < Bt	K3	32
(Bt sec +/- Feld K) > Cl	K4	33
Clorita-Sericita-Arcillas	SCC1	40
Clorita-Sericita-Cuarzo	SCC2	41
Clorita-Biotita +/- Feld K	SCC3	42
Clorita	SCC4	43
Sericita-Cuarzo	S1	51
Sericita-Cuarzo-Arcilla	S2	52
Sericita Gris Verde	S4	54
Argilización Supérgena	AA	61
Argilización Avanzada	AAV	62

Tabla 3: Hoja de codificación de zona mineral, Escondida, 2012.

ZONAS MINERALOGICAS	Abrev.	Código
Lixiviado	LX	10
Oxidos Verdes (Sulfatos)	OXV	21
Oxidos Azules (Silicatos)	OXA	22
Oxidos Negros	OXN	23
Cuprita + Ox Cu	CPOX	24
Oxidos Verdes+Negro+Arcillas Cupríferas	OXVN	25
Cuprita / Cobre Nativo	CPCu	26
Fosfatos + Oxidos Verdes	POXV	27
Parcial Lixiviado (Oxidación Parcial)	Plx	31
Parcial Lixiviado (Limonitas Exóticas)	PlxE	32
Mezcla OxCu + Sulf	MX	40
Mixto + Cuprita y/o Nativo	CPMX	41
Sulfuro + Cuprita y/o Nativo	CPCCPY	42
Cc + Py	HE1	50
Cc + Cv + Py	HE2	51
Cv + Py	HE3	52
Cc + Cpy + Py	LE1	60
Cc + Cv + Cpy + Py	LE2	61
Cv + Cpy + Py	LE3	62
Cv + Cpy + Bo (+/- Cc, +/- Py)	LE4	63
Py	PR1	72
Cpy - Py	PR2	70
Bn - Cpy (+/- Py)	PR3	71
Lixiviación Hipógena (Mg-Esp)	LxH	73
Sin Mineralización	SM	80
skarnificación	sk	90

9.2 Clasificación por Zona Mineralógica MINZ

Tabla 4: Clasificación por zona mineral de las 120 muestras de QemSCAN. Comparación con el mapeo geológico de MINZ.

Muestra	%Cc	%Cv	%Cpy	%Bn	MINZ	MINZ Mapeo Geo
2855	0.31	0.01	0.65	0.03	60	61
2868	0.16	0.01	0.78	0.05	70	61
2879	0.16	0.04	0.70	0.10	70	nan
2911	0.10	0.03	0.76	0.12	70	nan
2917	0.22	0.05	0.67	0.06	60	nan
2924	0.21	0.03	0.48	0.29	71	60
2926	0.03	0.02	0.94	0.00	70	nan
2934	0.20	0.00	0.53	0.27	71	61
3024	0.02	0.01	0.97	0.00	70	nan
3153	0.08	0.06	0.85	0.00	70	70
3185	0.88	0.03	0.06	0.03	50	nan
3200	0.15	0.02	0.78	0.05	70	nan
3213	0.07	0.00	0.93	0.00	70	nan
3261	0.15	0.05	0.79	0.01	70	61
3264	0.77	0.06	0.09	0.08	50	nan
3266	0.88	0.08	0.03	0.01	50	nan
3269	0.74	0.09	0.13	0.03	50	nan
3276	0.83	0.06	0.06	0.05	50	nan
3284	0.12	0.05	0.83	0.00	70	62
3356	0.79	0.03	0.14	0.04	50	nan
3357	0.81	0.08	0.08	0.03	50	nan
3358	0.84	0.07	0.08	0.01	50	nan
3367	0.07	0.10	0.82	0.00	70	70
3375	0.87	0.08	0.05	0.01	50	nan
3425	0.02	0.03	0.95	0.00	70	70
3426	0.72	0.12	0.11	0.05	50	nan
3429	0.76	0.09	0.13	0.03	50	nan
3430	0.83	0.08	0.07	0.02	50	nan
3431	0.03	0.04	0.92	0.01	70	nan
3435	0.78	0.09	0.10	0.03	50	nan
3438	0.73	0.09	0.14	0.04	50	nan
3440	0.05	0.02	0.93	0.00	70	70
3441	0.15	0.15	0.69	0.01	70	nan
3446	0.77	0.04	0.16	0.03	50	nan
3449	0.66	0.16	0.15	0.03	50	nan
3453	0.71	0.11	0.15	0.03	50	nan
3454	0.51	0.40	0.08	0.01	51	51
3456	0.79	0.10	0.08	0.04	50	nan
3485	0.48	0.44	0.06	0.02	51	62

3487	0.49	0.14	0.35	0.03	60	61
3494	0.28	0.37	0.34	0.00	61	61
3502	0.59	0.17	0.23	0.01	60	62
3505	0.46	0.26	0.27	0.01	61	nan
3507	0.72	0.10	0.12	0.06	50	nan
3508	0.76	0.10	0.09	0.04	50	nan
3512	0.76	0.11	0.13	0.01	50	nan
3518	0.77	0.07	0.11	0.06	50	nan
3521	0.72	0.09	0.14	0.04	50	nan
3529	0.86	0.07	0.04	0.04	50	nan
3534	0.65	0.33	0.02	0.00	51	50
3535	0.11	0.44	0.44	0.01	62	52
3536	0.46	0.45	0.07	0.01	51	52
3541	0.03	0.11	0.86	0.00	70	62
3542	0.05	0.04	0.91	0.00	70	70
3545	0.31	0.12	0.53	0.04	60	62
3548	0.55	0.34	0.07	0.04	51	61
3549	0.50	0.39	0.09	0.02	51	61
3552	0.14	0.18	0.68	0.00	70	61
3553	0.07	0.21	0.71	0.01	62	62
3562	0.12	0.13	0.74	0.00	70	nan
3564	0.81	0.09	0.08	0.02	50	nan
3565	0.71	0.11	0.15	0.03	50	50
3568	0.14	0.41	0.44	0.01	62	nan
3569	0.02	0.03	0.95	0.00	70	70
3577	0.80	0.05	0.09	0.06	50	nan
3578	0.77	0.12	0.08	0.02	50	50
3582	0.60	0.10	0.26	0.04	60	nan
3585	0.77	0.11	0.09	0.04	50	nan
4195	0.12	0.03	0.83	0.02	70	nan
4204	0.09	0.04	0.85	0.02	70	nan
4216	0.12	0.02	0.65	0.20	71	nan
4228	0.15	0.00	0.70	0.15	70	nan
4264	0.06	0.06	0.88	0.01	70	nan
4309	0.07	0.03	0.89	0.00	70	70
4313	0.21	0.01	0.48	0.31	71	71
4316	0.17	0.01	0.62	0.21	71	nan
4318	0.11	0.03	0.84	0.03	70	nan
4406	0.08	0.00	0.87	0.05	70	nan
4422	0.16	0.07	0.71	0.06	70	nan
4425	0.03	0.02	0.95	0.00	70	nan
4451	0.86	0.03	0.09	0.02	50	nan
4454	0.11	0.05	0.83	0.01	70	nan

4455	0.07	0.03	0.89	0.01	70	nan
4473	0.08	0.01	0.83	0.08	70	61
4476	0.14	0.00	0.57	0.28	71	71
4478	0.12	0.04	0.83	0.01	70	61
4493	0.07	0.01	0.92	0.00	70	nan
4503	0.86	0.02	0.09	0.02	50	nan
4524	0.12	0.02	0.70	0.16	70	nan
4527	0.13	0.03	0.81	0.03	70	nan
4541	0.85	0.03	0.08	0.03	50	nan
4543	0.89	0.03	0.06	0.02	50	nan
4555	0.02	0.01	0.96	0.00	70	nan
4556	0.08	0.00	0.91	0.01	70	61
4560	0.10	0.06	0.83	0.01	70	70
4566	0.08	0.05	0.86	0.00	70	70
51213	0.85	0.03	0.09	0.04	50	nan
51259	0.87	0.02	0.08	0.02	50	nan
51279	0.52	0.17	0.29	0.02	60	nan
51300	0.94	0.02	0.04	0.01	50	nan
51323	0.12	0.01	0.84	0.03	70	nan
51389	0.09	0.01	0.87	0.02	70	nan
51483	0.08	0.03	0.89	0.00	70	nan
51522	0.04	0.04	0.91	0.01	70	nan
51634	0.66	0.30	0.03	0.01	51	nan
51663	0.03	0.07	0.90	0.00	70	nan
51666	0.90	0.02	0.06	0.02	50	nan
51691	0.10	0.32	0.58	0.01	62	nan
51692	0.17	0.46	0.36	0.01	62	nan
51715	0.85	0.07	0.06	0.02	50	nan
51719	0.85	0.05	0.07	0.03	50	nan
51721	0.75	0.17	0.05	0.02	50	nan
51766	0.21	0.01	0.77	0.01	60	nan
51780	0.16	0.05	0.78	0.01	70	nan
51788	0.15	0.07	0.75	0.02	70	nan
51792	0.09	0.02	0.89	0.01	70	nan
52211	0.06	0.00	0.68	0.25	71	nan
52244	0.14	0.00	0.77	0.08	70	nan
52278	0.21	0.02	0.76	0.01	60	nan
52545	0.07	0.00	0.89	0.05	70	nan

9.3 Liberación

Tabla 5: Matriz de correlación entre todos los parámetros de liberación de los ensayos QemSCAN. N = 120 muestras.

Libocc glob	Libdis - 53/0	Libdis - 150/+53	Libdis - 1000/150	Libdis glob	Lib60 - 53/0	Lib60 - 150/53	Lib60 - 1000/150	Lib60 Global	Lib90 - 53/+0	Lib90 - 150/+53	Lib90 - 1000/150	Lib90 Global	Lib90 Global
0.11	0.10	0.10	-0.18	0.06	-0.64	-0.63	-0.50	-0.80	0.92	0.54	0.06	1.00	Lib90 Global
-0.12	-0.10	-0.12	-0.01	-0.10	-0.25	-0.03	0.17	-0.15	-0.16	0.31	1.00		Lib90 -1000/150
-0.07	-0.02	-0.01	-0.17	-0.05	-0.39	-0.13	-0.05	-0.33	0.18	1.00			Lib90 -150/+53
0.17	0.13	0.13	-0.13	0.10	-0.55	-0.67	-0.57	-0.77	1.00				Lib90 -53/+0
-0.12	-0.07	-0.12	-0.08	-0.10	0.84	0.76	0.56	1.00					Lib60 Global
-0.15	-0.13	-0.17	-0.03	-0.15	0.15	0.61	1.00						Lib60 -1000/150
-0.19	-0.13	-0.18	-0.14	-0.17	0.32	1.00							Lib60 150/53
-0.01	0.01	-0.01	-0.02	0.00	1.00								Lib60 -53/0
0.39	0.94	0.96	0.62	1.00									Libdis glob
0.21	0.38	0.60	1.00										Libdis -1000/150
0.39	0.86	1.00											Libdis -150/+53
0.36	1.00												Libdis -53/0
1.00													Libocc glob
													Libocc -1000/+150
													Libocc -150/+53
													Libocc -53/0
													Liblat glob
													Liblat -1000/+150
													Liblat -150/+53
													Liblat -53/0

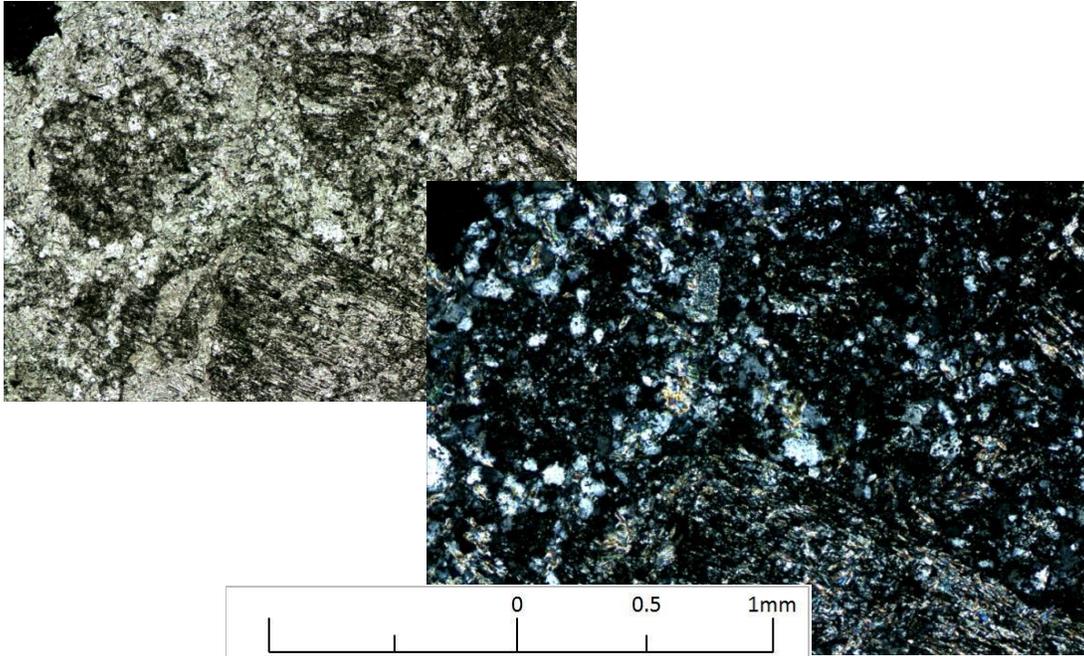
Liblat - 53/0	Liblat - 150/+53	Liblat - 1000/+150	Liblat - glob	Libocc - 53/0	Libocc - 150/+53	Libocc - 1000/+150
-0.56	-0.63	-0.51	-0.66	0.19	0.04	0.04
-0.09	-0.10	0.21	-0.02	-0.06	-0.16	-0.06
-0.40	-0.45	-0.28	-0.45	0.06	-0.06	-0.10
-0.47	-0.53	-0.50	-0.58	0.20	0.08	0.09
0.19	0.20	0.13	0.20	-0.14	-0.01	-0.09
0.05	0.07	0.26	0.13	-0.12	-0.09	-0.11
0.10	0.17	0.13	0.16	-0.18	-0.06	-0.14
0.21	0.17	0.02	0.17	-0.06	0.04	0.00
0.33	0.22	-0.03	0.23	0.73	0.52	-0.08
0.45	0.43	0.21	0.43	0.32	0.28	-0.01
0.29	0.18	-0.06	0.18	0.68	0.55	-0.06
0.25	0.14	-0.07	0.15	0.76	0.46	-0.10
0.01	-0.13	-0.14	-0.10	0.41	0.77	0.81
-0.17	-0.17	-0.11	-0.18	-0.15	0.39	1.00
0.05	-0.06	-0.09	-0.03	0.43	1.00	
0.30	0.05	-0.09	0.12	1.00		
0.90	0.93	0.73	1.00			
0.47	0.55	1.00				
0.78	1.00					
1.00						

9.4 Petrografía

9.4.1 Andesitas

Descripción Petrográfica		Muestra:	EN-0101
Clasificación petrográfica			
Roca de textura porfídica con alteración pervasiva fílica y argílica moderada			
Textura			
Roca de textura equigranular (95% Cxx < 0.3 mm, 5% entre 0.3 y 2 mm)			
Descripción microscópica general			
La roca encajante es de textura andesítica porfídica con alteración pervasiva fílica y argílica moderada. Los feldespatos, mayormente plagioclasa con tamaños 1-3 mm (pseudomorfos), están reemplazados selectivamente por sericita (70%) y algunos (30%) por arcillas (+sericita). La masa fundamental está recristalizada a un arreglo microcristalino de cuarzo-arcillas (+sericita). Las vetillas (~5% del total de la muestra) son de dos tipos: (a) cuarzo-opacos, de espesores 0.2-1 mm y halos de intensa alteración sericítica de hasta 1.5 cm (b) arcillas, de espesores 0.1-0.2 mm que cortan las vetillas de cuarzo.			
Componentes minerales			
%	Mineral	Observaciones	
40	Cuarzo		
40	Sericita	Principalmente en halo de vetillas	
15	Arcillas	Reemplazando feldespatos y algunos diseminados.	
tr	Muscovita		
5	Opacos		
Alteración			
Tipo	Minerales	Intensidad	
Fílica	Cuarzo, sericita, arcillas	Moderada	
Argílica	Arcillas	Moderada	
Minerales opacos		Total =	5 %
%	Mineral	Modo ocurrencia	
2	Py	Vetillas	
3	Cpy	Vetillas y halo, granular o asociada a py	
tr	Cv	Vetillas, asociada a cpy	
tr	Gt (hidr Fe)	Diseminado	
tr	Hm	Diseminado	

Microfotografías

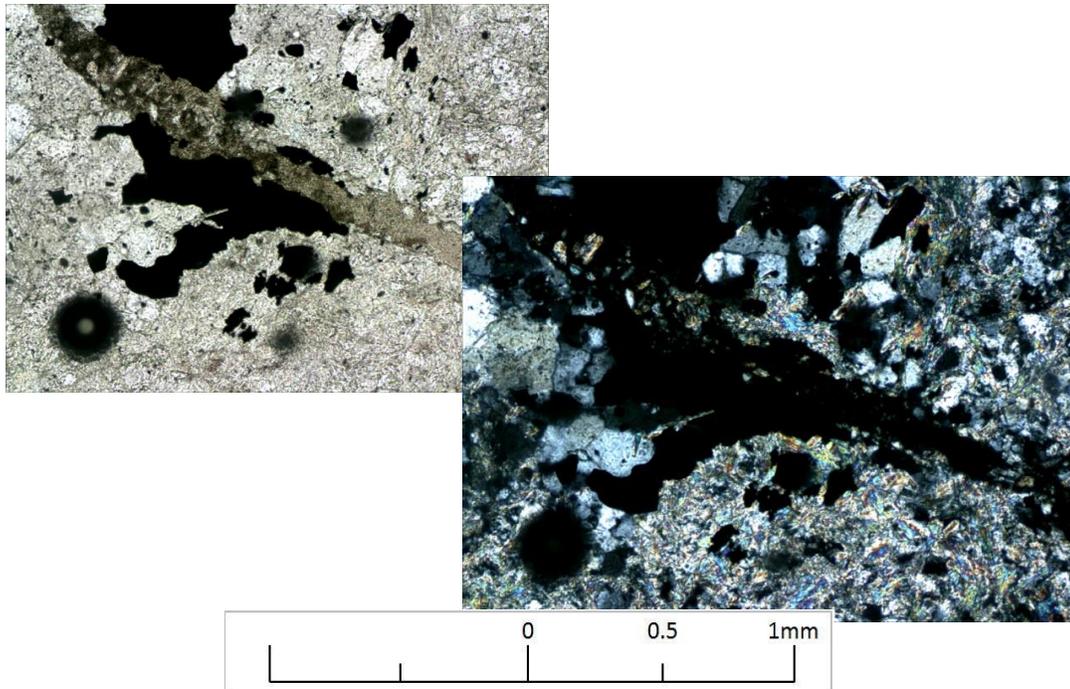


Microfotografía 1

Luz transmitida - np y nx - aumento 10x10

Aspecto general de la muestra. Alteración fílica con un arreglo microcristalino de cuarzo y abundantes parches de cuarzo-sericita y arcillas. Feldspatos reemplazados por arcillas-sericita.

Microfotografías

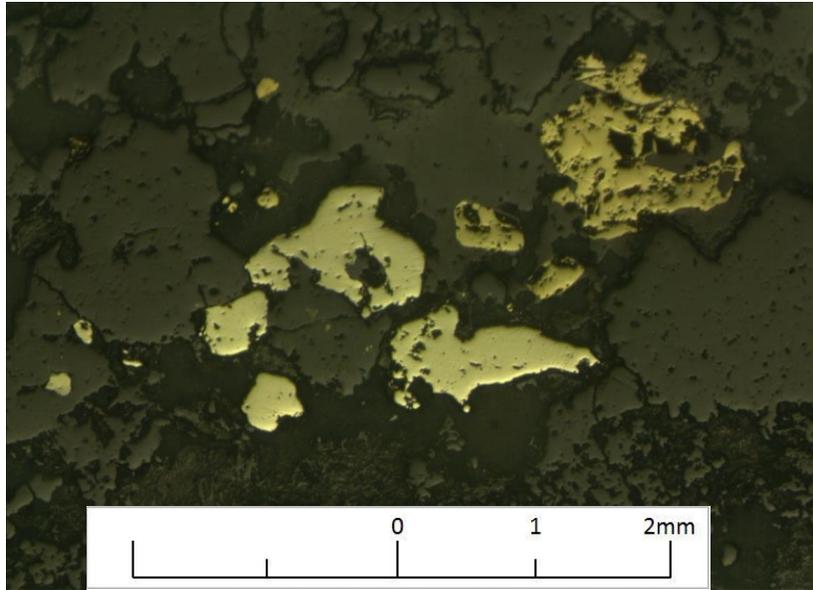


Microfotografía 2

Luz transmitida - nicoles paralelos - aumento 10x10

Vetilla de arcilla (mayormente caolinita) +/- cuarzo y opacos. Lateralmente a la vetilla se observa arreglo microcristalino de cuarzo-sericita.

Microfotografías

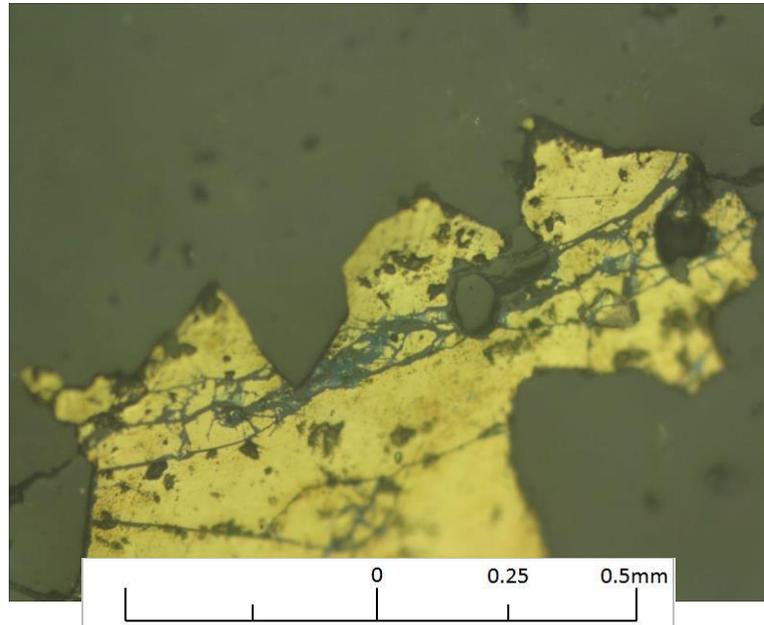


Microfotografía 3

Luz reflejada - nicoles paralelos - aumento 5x10

Mineralización en vetillas de Calcopirita + Pyrita - La calcopirita está asociada a los polimorfos de plagioclasa y en menor medida a arcillas y cuarzo, con bordes simples y bien definidos. Se espera buena liberación.

Microfotografías



Microfotografía 3

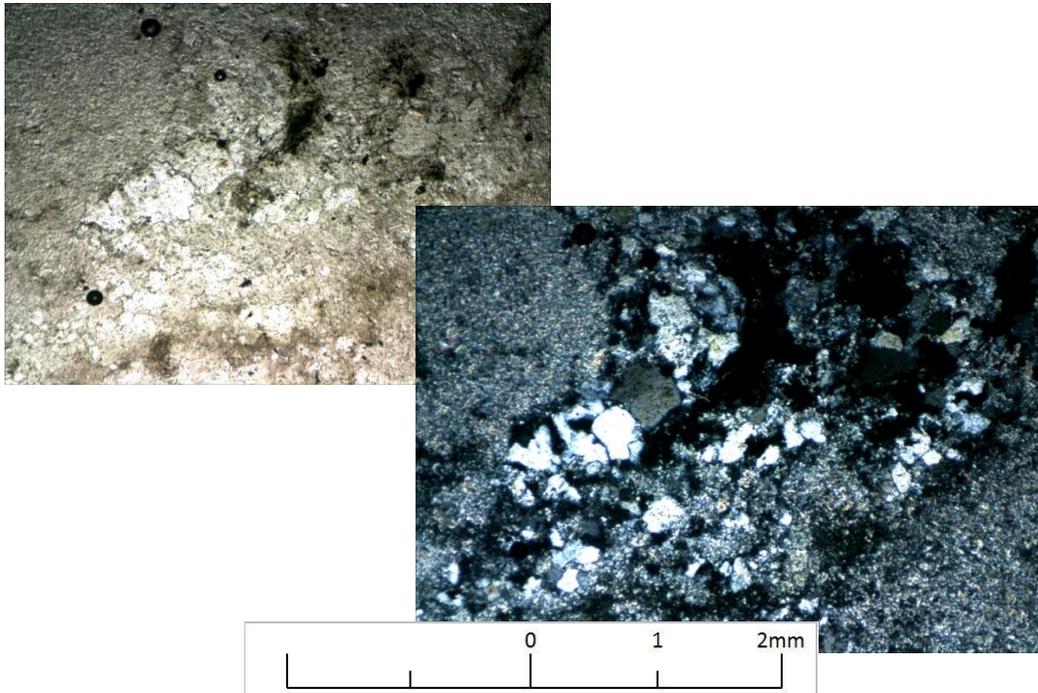
Luz reflejada - nicoles paralelos - aumento 10x20

Mineralización en vetillas de Calcopirita + Covelina + Calcosina. La calcopirita está siendo reemplazada por Cv-Cc en fracturas. La calcopirita presenta bordes simples y bien definidos con la ganga.

Descripción Petrográfica		Muestra:	EN-0102
Clasificación petrográfica			
Roca de textura porfídica con alteración pervasiva fílica y argílica débil.			
Textura			
Roca de textura equigranular (90% Cxx < 0.3 mm, 10% entre 0.3 y 1 mm)			
Descripción microscópica general			
La roca encajante es de textura andesítica porfídica con alteración pervasiva sericítica y argílica sobrepuesta. Los feldespatos, tabulares entre 0.5 y 2 mm, están reemplazados completamente por sericita (+arcillas). En los bordes de los feldespatos se observa argilización. La masa fundamental está recristalizada a un arreglo microcristalino de cuarzo-sericita-arcillas. Se observan microvetillas (<1% del total de la muestra) de arcillas (+cuarzo-sericita), con espesores de entre 0.2-1 mm, sin halo.			
Componentes minerales			
%	Mineral	Observaciones	
30	Cuarzo		
45	Sericita	Principalmente en halo de vetillas	
15	Arcillas	Reemplazando feldespatos y algunos diseminados.	
1	Opacos		
Alteración			
Tipo	Minerales	Intensidad	
Fílica	Cuarzo, sericita, arcillas	Intensa	
Argílica	Arcillas (caolinita)	Débil-Moderada	

Minerales opacos		Total =	1 %
%	Mineral	Modo ocurrencia	
0.5	Pirita	vetillas	
0.5	Calcopirita	vetillas y diseminado	
tr	Esfalerita	vetillas y diseminado	
tr	Hematita	vetillas y diseminado	
tr	Goetita	vetillas y diseminado	
tr	Covelina	vetillas	

Microfotografías

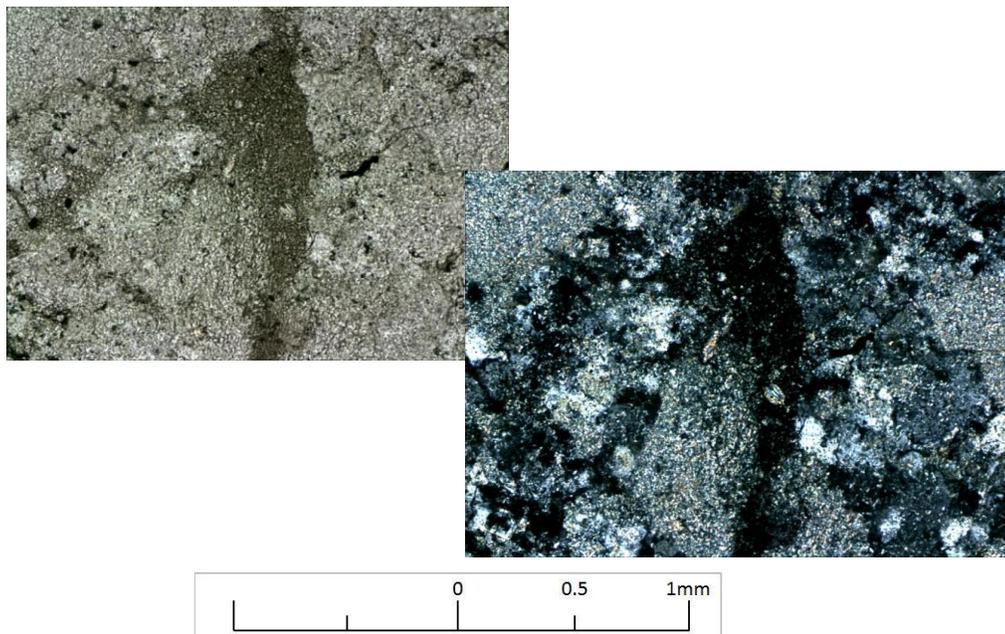


Microfotografía 1

Luz transmitida - np y nx - aumento 10x5

Aspecto general de la muestra. Alteración fílica con un arreglo microcristalino de cuarzo-sericita. Se observa vetilla de cuarzo-arcillas +/- sericita.

Microfotografías

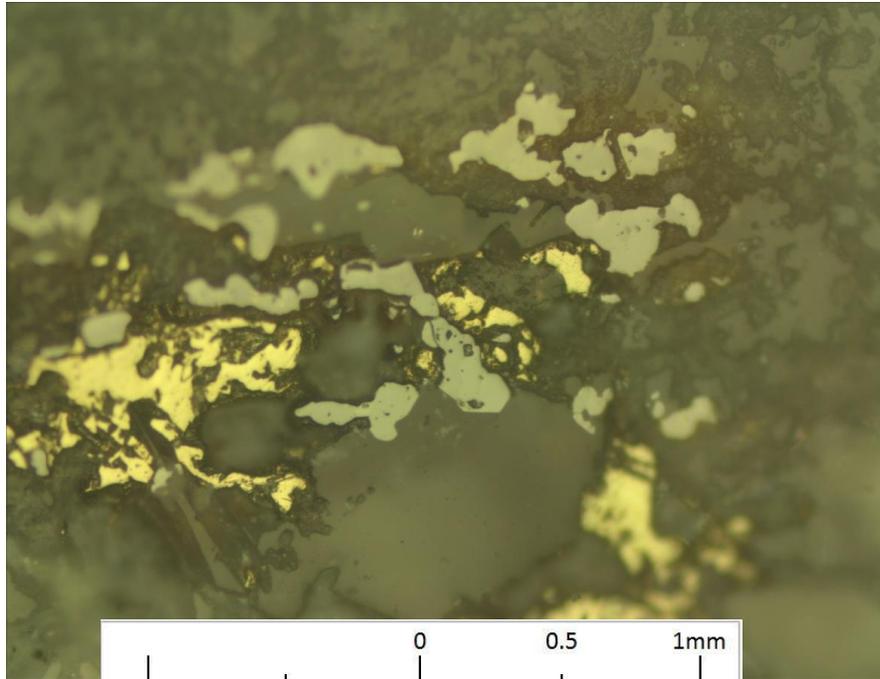


Microfotografía 2

Luz transmitida - np y nx - aumento 10x10

Vetilla de arcilla (mayormente caolinita) +/- cuarzo. Lateralmente a la vetilla se observa un arreglo microcristalino de cuarzo-sericita y arcillas.

Microfotografías

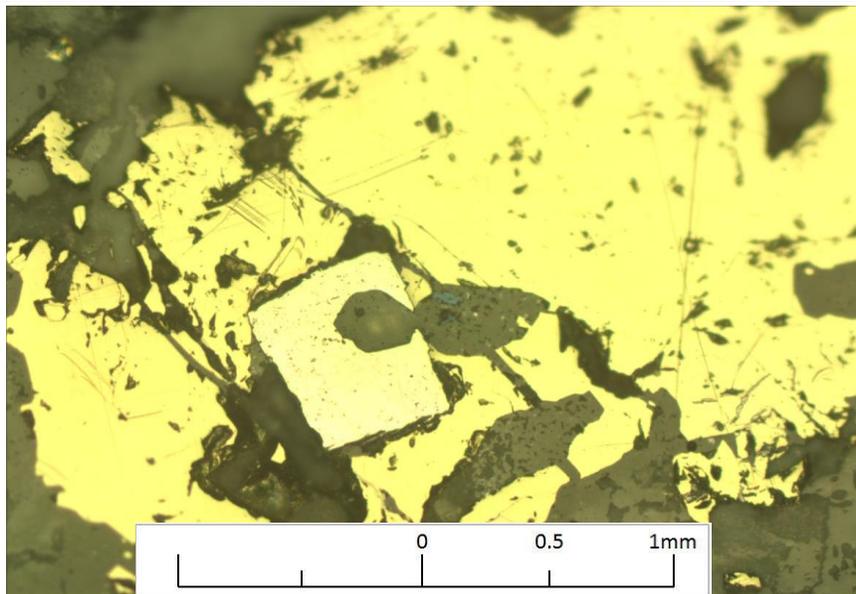


Microfotografía 3

Luz reflejada - nicoles paralelos - aumento 10x10

Mineralización diseminada de Calcopirita + Hematita +/- hidr Fe. La calcopirita está mayormente en contacto con la ganga, asociada a cuarzo y arcillas, mediante bordes simples y definidos.

Microfotografías



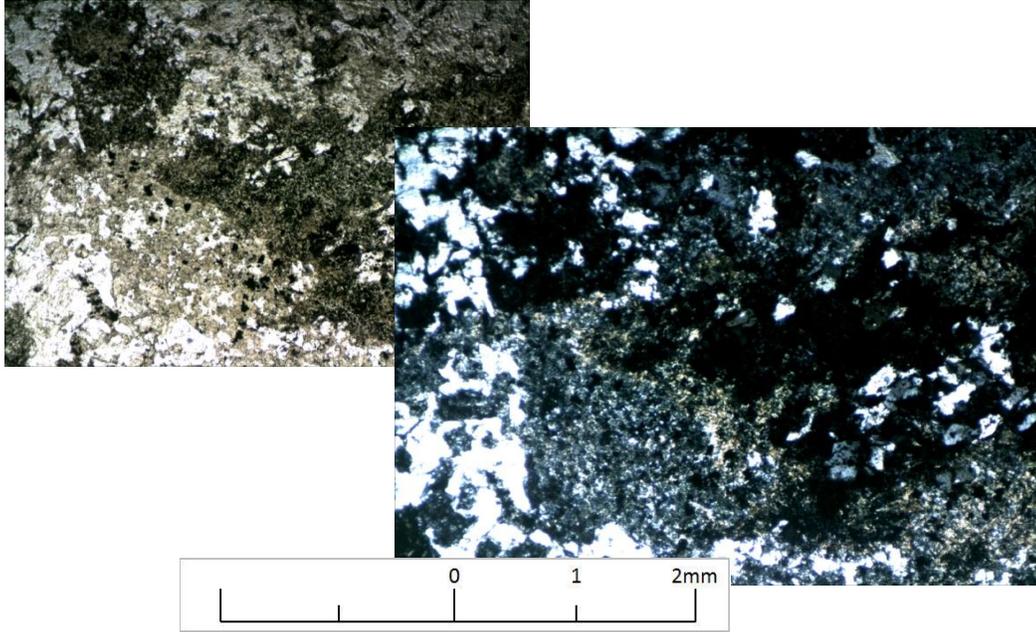
Microfotografía 4

Luz reflejada - nicoles paralelos - aumento 10x10

Mineralización en vetilla de Calcopirita + Pyrita + Covelina. La calcopirita está asociada a los polimorfos de plagioclasa y cuarzo, y en menor medida a arcillas y pirita. Los bordes están bien definidos y en mayormente simples. La covelina está asociada a la calcopirita, con borde simple bien definido.

Descripción Petrográfica		Muestra:	EN-0114
Clasificación petrográfica			
Roca de textura porfídica con alteración clorítica y sericítica sobrepuesta.			
Textura			
Roca de textura equigranular (80% Cxx < 0.2 mm, 20% > 0.3 mm). Textura original obliterada.			
Descripción microscópica general			
La textura original está completamente obliterada. Intensa alteración selectiva clorítica en los feldespatos, con preservación de los relictos de feldespatos en albita (se observa extinción simultánea de grupos de albitas separadas en formas disconexas, macroscópicamente tabulares). Algunos feldespatos están argilizados. Se encuentran minerales relictos de Anf-Biotita(?) completamente alterados a clorita-sericita. La masa fundamental está recrystalizada sericita-cuarzo-arcillas. Las vetillas (~0.5% del total de la muestra) son de (a) albita-cuarzo, con espesores de entre 0.1-0.3 mm, sin halo y (b) de cuarzo con espesores hasta 0.5 mm, sin halo.			
Componentes minerales			
%	Mineral	Observaciones	
20	Sericita	Reemplazando feldespatos y en matriz	
25	Clorita	Reemplazando feldespatos	
20	Albita	Reemplazando feldespatos	
20	Arcillas	Reemplazando feldespatos	
15	Cuarzo		
0.3	Opacos		
Alteración			
Tipo	Minerales	Intensidad	
Sericítica	Sericita	Débil-moderada	
Argílica?	Arcillas	Débil	
Clorítica	Clorita	Intensa	
Minerales opacos		Total =	0 %
%	Mineral	Modo ocurrencia	
0.3	Calcopirita	Diseminada	

Microfotografías

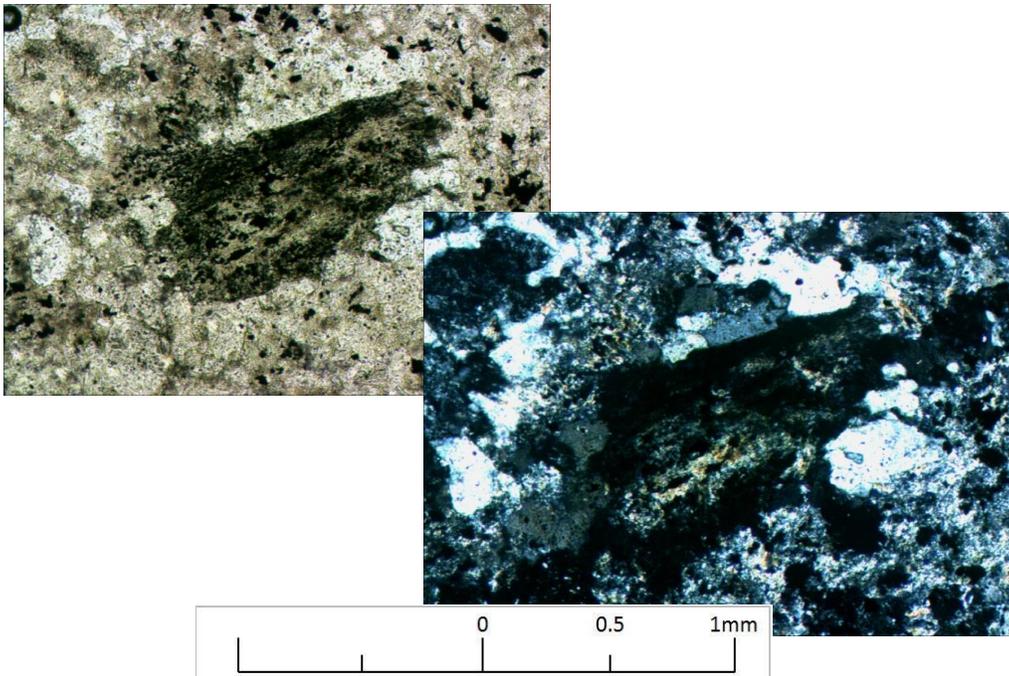


Microfotografía 1

Luz transmitida - np y nx - aumento 10x5

Aspecto general de la muestra. Relicto de Plg > 2 mm reemplazado a Albita. Matriz de sericita-cuarzo-arcillas.

Microfotografías

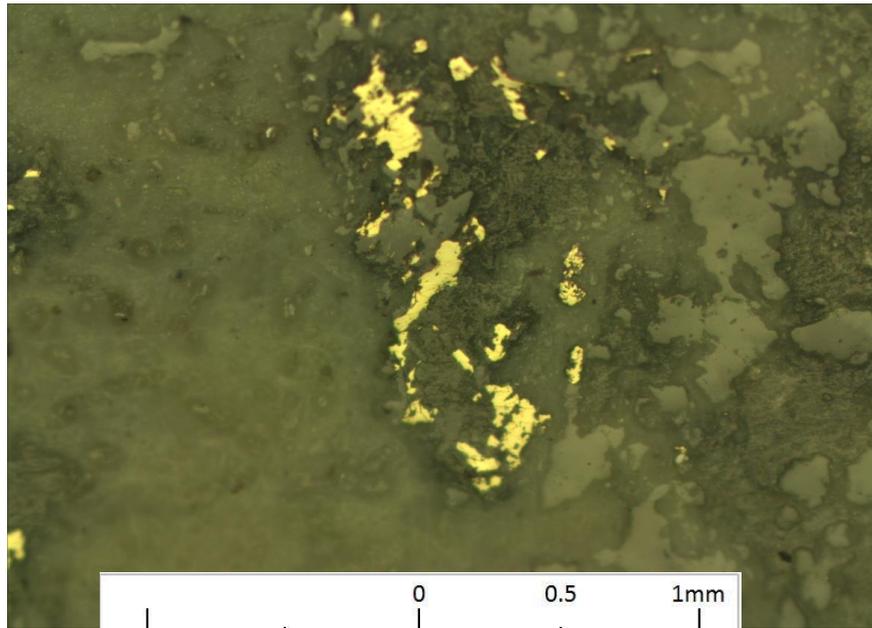


Microfotografía 2

Luz transmitida - np y nx - aumento 10x10

Mineral relicto de Biotita, reemplazado por sericita y posteriormente a clorita. Lateralmente albita-cuarzo-sericita.

Microfotografías



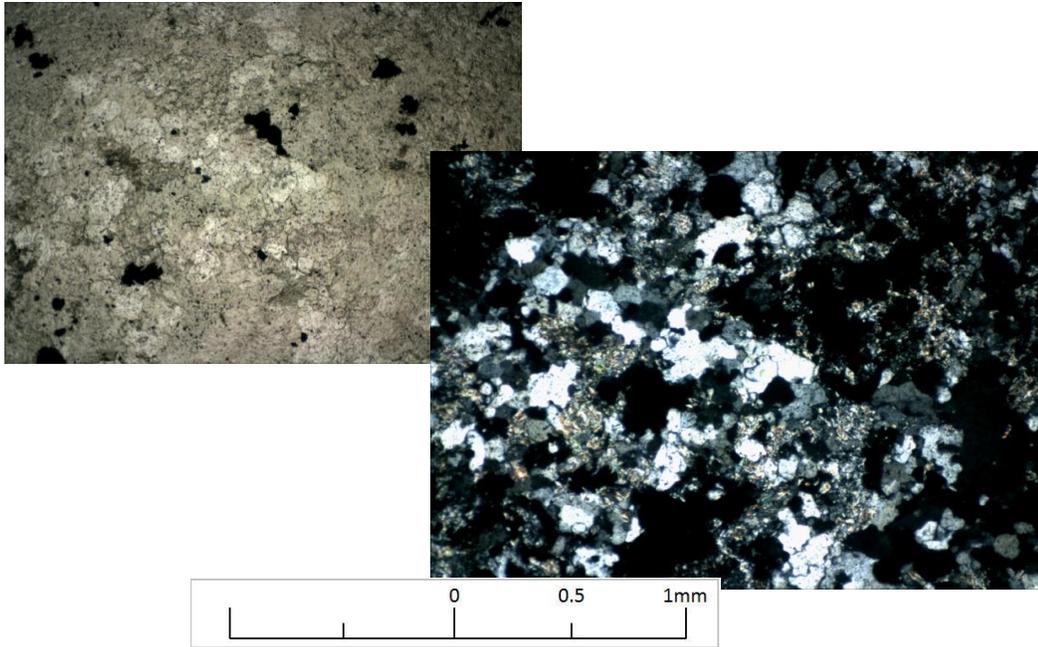
Microfotografía 3

Luz reflejada - nicoles paralelos - aumento 10x10

Mineralización diseminada de Calcopirita en asociación con polimorfos de plagioclasa (albitizados) y arcillas (Chl,Ser,Arc). Bordes de contacto aserrados.

Descripción Petrográfica		Muestra:	EN-0115
Clasificación petrográfica			
Andesita de textura porfídica con alteración fílica pervasiva.			
Textura			
Roca de textura equigranular (80% Cxx < 0.3 mm, 20% entre 0.3 y 1 mm). Textura original obliterada.			
Descripción microscópica general			
La textura original está obliterada. Intensa alteración pervasiva fílica. Los feldespatos están casi completamente reemplazados por sericita y acillas. La matriz está recristalizada a cuarzo-sericita-arcillas. Se encuentran escasos relictos de biotita reemplazados a clorita. Las vetillas (~3% del total de la muestra) son de dos tipos: (a) arcillas-cuarzo y opacos con sericita-muscovita subordinada, con espesores de entre 0.5 y 2 mm, con halo de cuarzo y sulfuros de hasta 3 mm; (b) Anidrita-opacos, con espesores de 2-4 mm, sin halo.			
Componentes minerales			
%	Mineral	Observaciones	
35	Cuarzo		
50	Sericita	Reemplazando feldespatos y asociada a cuarzo en matriz	
5	Arcillas		
3	Clorita		
3	Yeso	En vetillas	
2	Muscovita		
5	Opacos		
Alteración			
Tipo	Minerales	Intensidad	
Fílica	Cuarzo, sericita	Intensa	
Propilítica	Clorita, Anidrita	Débil	
Minerales opacos		Total =	5 %
%	Mineral	Modo ocurrencia	
5	Pirita	Vetillas y diseminado	
tr	Calcopirita	Exolución en Py	
tr	Digenita		
tr	Molibdenita		
tr	Esfalerita		
tr	Galena		

Microfotografías

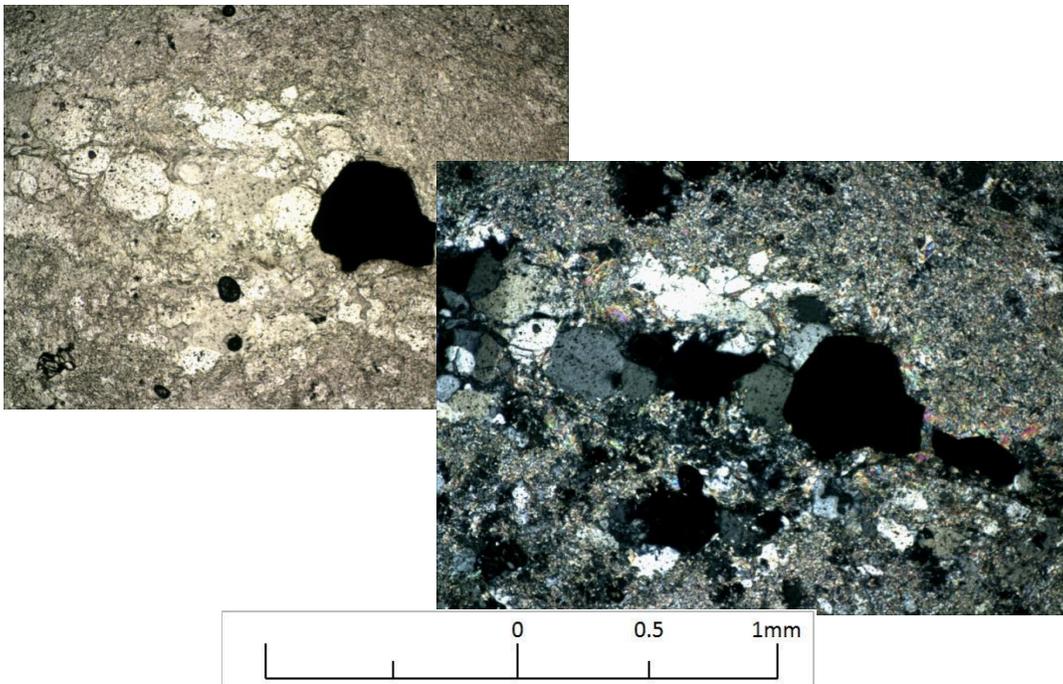


Microfotografía 1

Luz transmitida - nicoles paralelos y cruzados - 10x5

Aspecto general de la muestra. Intensa alteración flica con un arreglo microcristalino de cuarzo y abundantes parches de cuarzo-sericita y arcillas. Escasos minerales de Chl.

Microfotografías

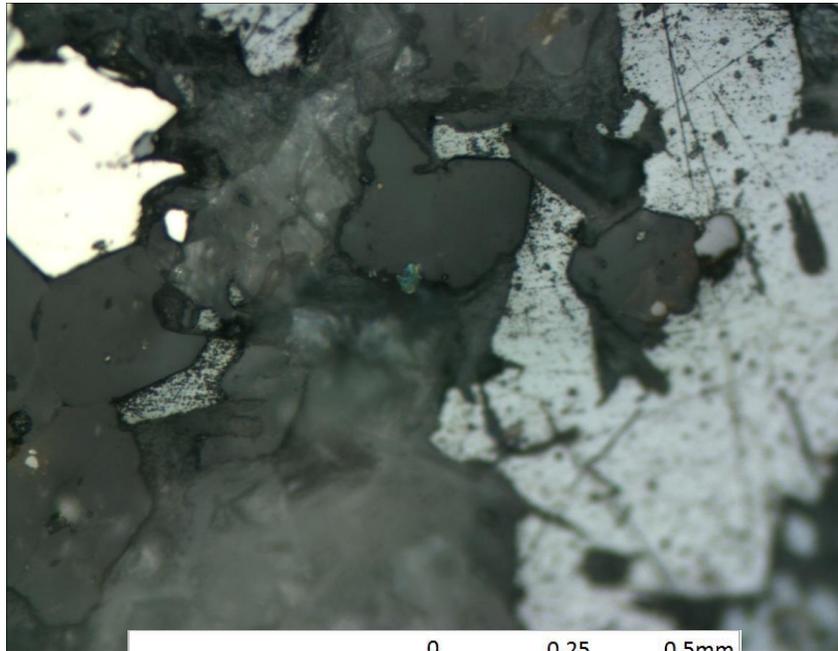


Microfotografía 2

Luz transmitida - np y nx - aumento 10x10

Aspecto general de las vetillas de Cuarzo-Arcillas-opacos. Se observa halo de cuarzo-sericita intenso. Algunos cristales de Anidrita.

Microfotografías



Microfotografía 3

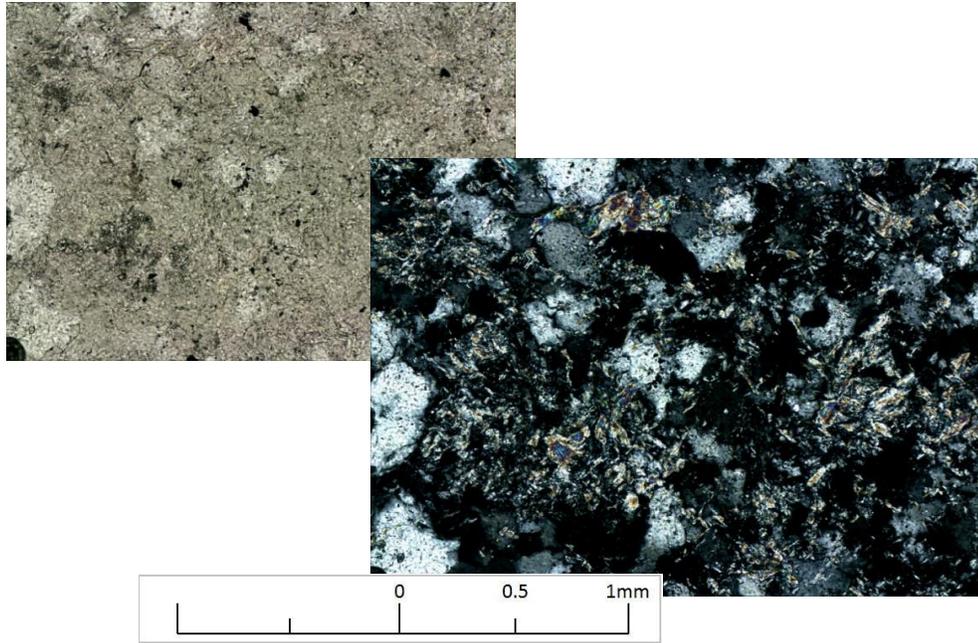
Luz reflejada - nicoles paralelos - aumento 10x20

Mineralización diseminada de molibdenita, digenita, pirita y Esfalerita. La molibdenita presenta bordes simples y está asociada a esfalerita y ganga, mediante bordes simples y definidos. La digenita está asociada a cuarzo y arcillas mediante bordes simples y definidos.

Descripción Petrográfica		Muestra:	EN-0116
Clasificación petrográfica			
Andesita de textura porfídica con alteración fílica pervasiva.			
Textura			
Roca de textura equigranular (90% Cxx < 0.3 mm, 10% entre 0.3 y 1 mm). Textura original obliterada.			
Descripción microscópica general			
La textura original está obliterada. Intensa alteración pervasiva fílica. Los feldespatos están casi completamente reemplazados por sericita y acrilas. La matriz está recristalizada a cuarzo-sericita en parches. Se encuentran escasos relictos de biotita reemplazados a clorita. Las vetillas (~3% del total de la muestra) están rellenas con opacos, cuarzo-sericita y arcillas, sin halo. Minerales opacos diseminados en cuarzo.			
Componentes minerales			
%	Mineral	Observaciones	
35	Cuarzo		
45	Sericita	Reemplazando feldespatos y asociada a cuarzo en matriz	
10	Arcillas		
tr	Clorita		
3	Opacos		
Alteración			
Tipo	Minerales	Intensidad	
Fílica	Cuarzo, sericita	Intensa	

Minerales opacos		Total =	3 %
%	Mineral	Modo ocurrencia	
3	Pirita	En vetillas y diseminado	
tr	Hematita	Algunas en bordes y fracturas de Py	

Microfotografías

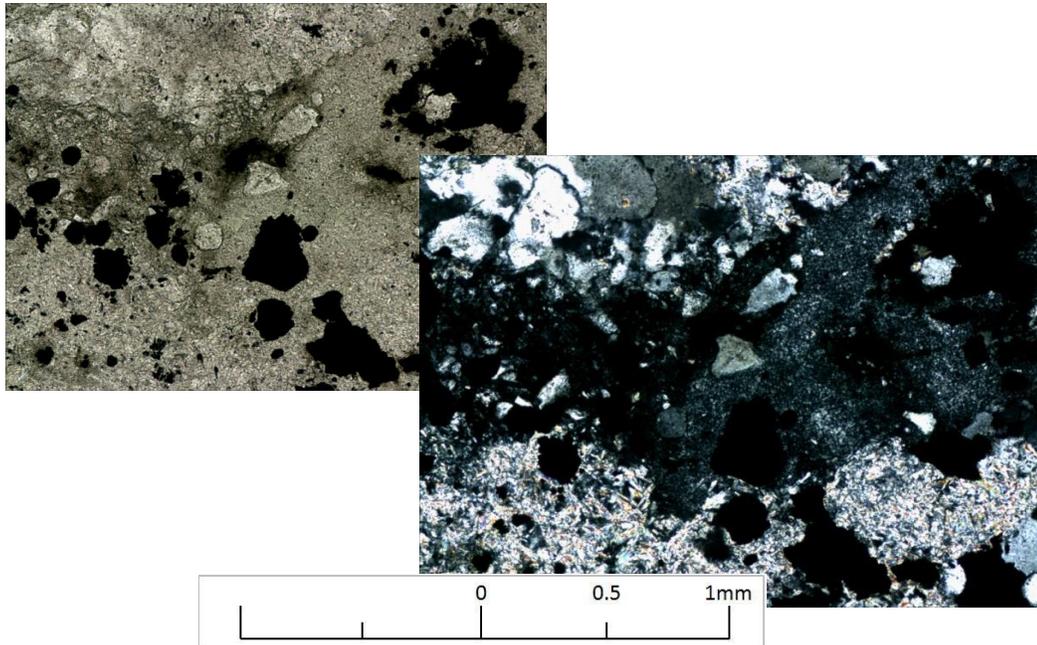


Microfotografía 1

Luz transmitida - nicoles paralelos y cruzados - 10x10

Aspecto general de la muestra: alteración intensa fílica con un arreglo microcristalino de cuarzo-sericita-arcillas.

Microfotografías

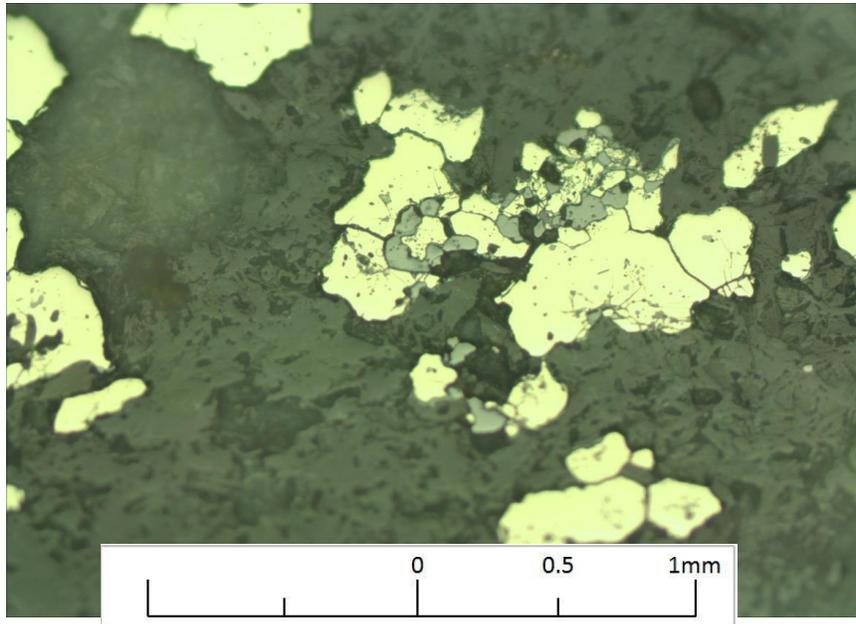


Microfotografía 2

Luz transmitida - np y nx - aumento 10x10

Aspecto general de las vetillas de Cuarzo-Arcillas (+ser)-opacos.

Microfotografías

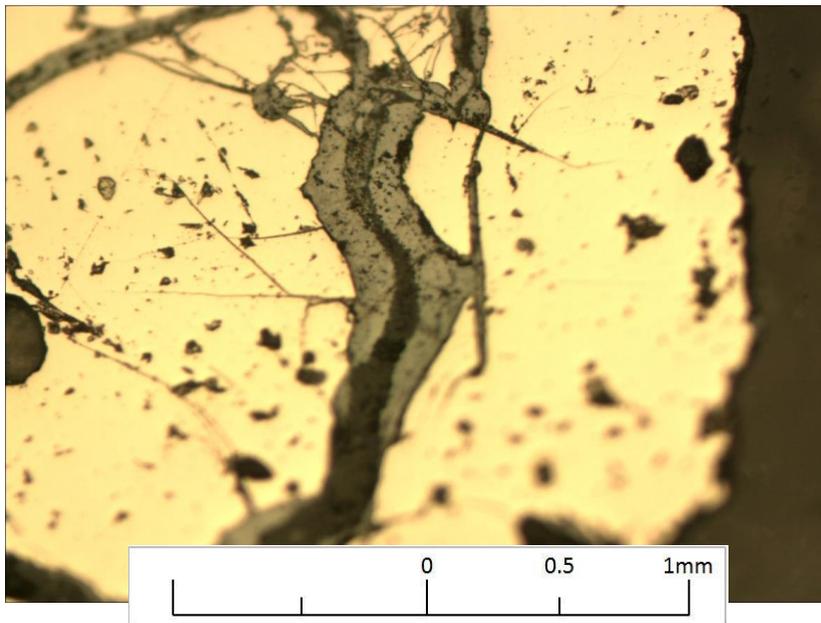


Microfotografía 3

Luz reflejada - nicoles paralelos - aumento 10x10

Mineralización de ganga en vetilla: Pirita-Hematita.

Microfotografías



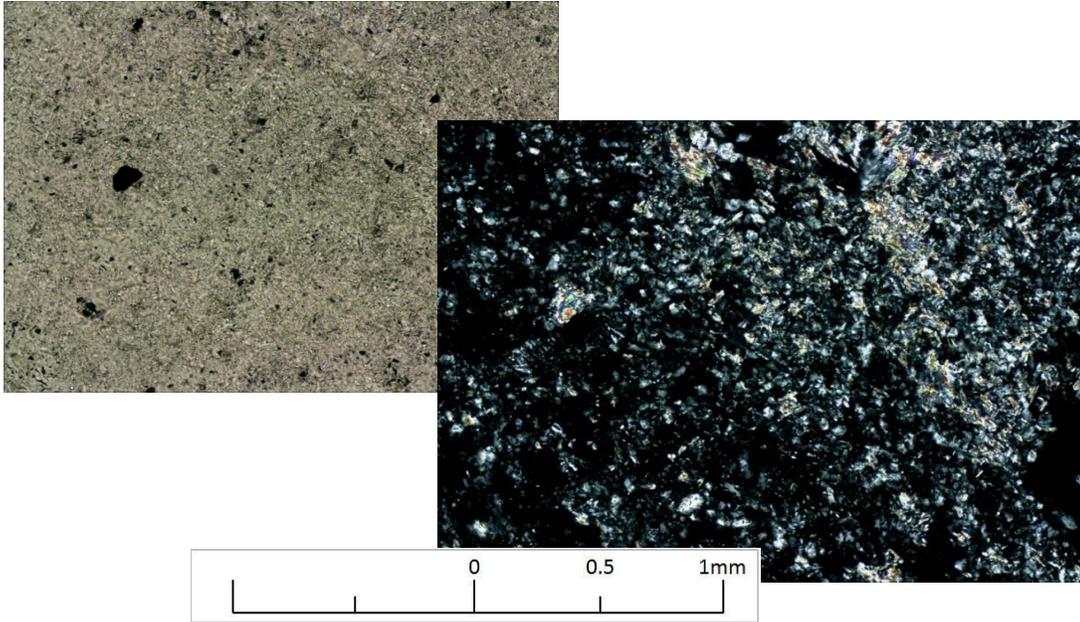
Microfotografía 4

Luz reflejada - nicoles paralelos - aumento 10x10

Mineralización de ganga Pirita-Hematita. Hematita en fracturas de la pirita.

Descripción Petrográfica		Muestra:	EN-0117
Clasificación petrográfica			
Andesita de textura porfídica con alteración fílica intensa.			
Textura			
Roca de textura equigranular (90% Cxx < 0.2 mm, 10% entre 0.3 y 0.8 mm). Textura original obliterada.			
Descripción microscópica general			
La textura original está obliterada. Intensa alteración pervasiva fílica. Los feldespatos (en su mayoría plagioclasas) están completamente reemplazados por sericita y arcillas. La matriz se encuentra recristalizada a un arreglo de cuarzo-sericita y escasos parches de arcillas. Se observan cristales euhedrales de muscovita. Las vetillas (~2% del total de la muestra) son de cuarzo-arcillas-yeso con opacos, de espesores entre 0.3-1 mm, con halo cuarzo-sericítico hasta 2 mm.			
Componentes minerales			
%	Mineral	Observaciones	
40	Cuarzo		
40	Sericita	Reemplazando a feldespatos, asociada a cuarzo en la matriz	
15	Arcillas		
1	Yeso	En vetillas	
tr	Muscovita	Cxs euhedrales con clivaje marcado	
5	Opacos	Vetillas y diseminado	
Alteración			
Tipo	Minerales	Intensidad	
Fílica	Cuarzo, sericita	Intensa	
Minerales opacos		Total =	5 %
%	Mineral	Modo ocurrencia	
5	Pirita	Desiminado y vetillas	
tr	Esfalerita	Exuelto en Py en vetillas	
tr	Hematita		

Microfotografías

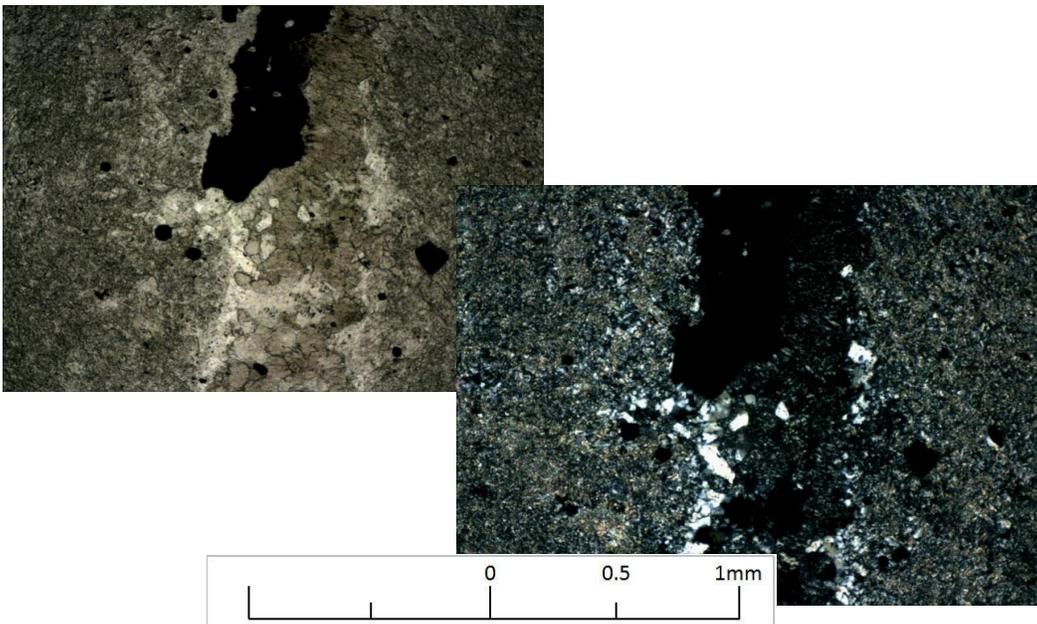


Microfotografía 1

Luz transmitida - nicoles paralelos y cruzados - 10x10

Aspecto general de la muestra: alteración intensa filica con un arreglo microcristalino de cuarzo-sericita-arcillas.

Microfotografías

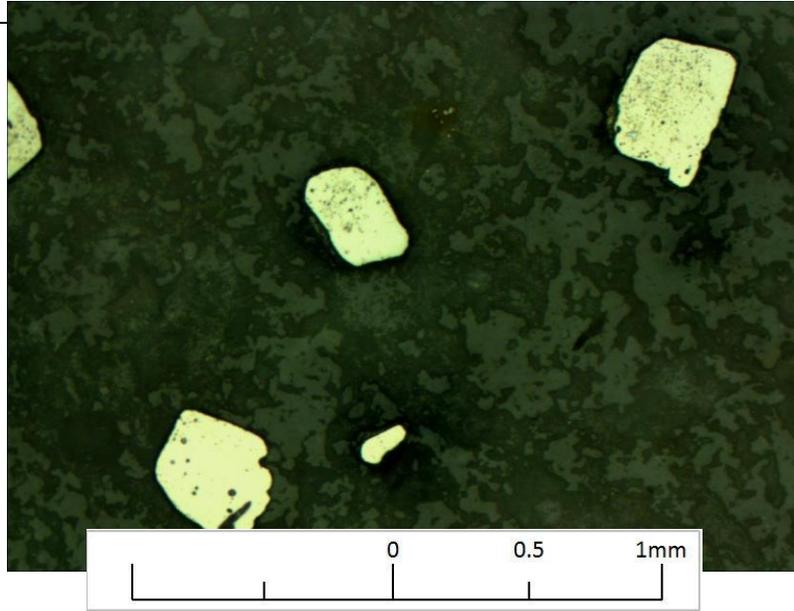


Microfotografía 2

Luz transmitida - np y nx - aumento 10x10

Aspecto general de las vetillas de Cuarzo-Arcillas (+-ser)-opacos. Se observa halo cuarzo-sericítico microlítico intenso.

Microfotografías



Microfotografía 3

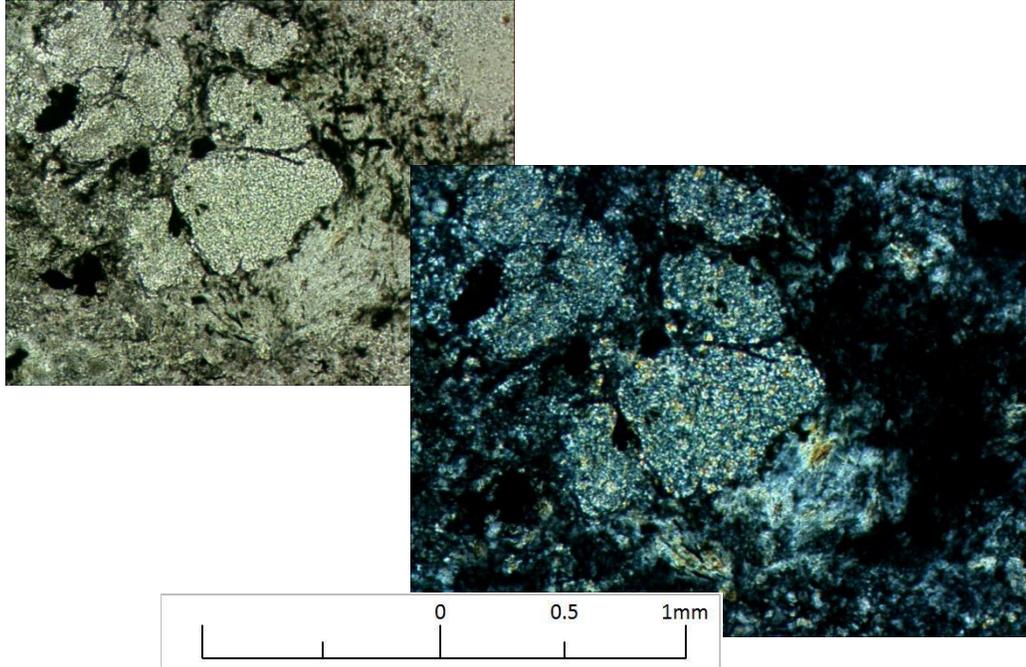
Luz reflejada - nicols paralelos - aumento 10x10

Mineralización diseminada de ganga: Pirita.

Descripción Petrográfica		Muestra:	EN-0118
Clasificación petrográfica			
Andesita con alteración fílica intensa			
Textura			
Textura hipidiomórfica (95% cxs < 0.1 mm; 5% cxs entre 0.1 y 0.5 mm)			
Descripción microscópica general			
Andesita porfídica con intensa alteración fílica y argilización. Los feldespatos, principalmente plagioclasa, se encuentran completamente reemplazados por arcillas +- sericita, quedando sólo sus hábitos - pseudomorfos. La matriz está recristalizada a un arreglo microcristalino de cuarzo-sericita (cxs <<0.05mm), con parches de alta sericitización. Las vetillas son de cuarzo-sericita-arcillas, con opacos, de espesores hasta 1 mm, sin halo.			
Componentes minerales			
%	Mineral	Observaciones	
40	Cuarzo		
30	Sericita		
10	Arcillas	Principalmente reemplazando plagioclasas, vetillas	
2	Opacos	Vetillas y diseminado	
Alteración			
Tipo	Minerales	Intensidad	
Fílica	Sericita-Cuarzo	Intensa	
Argílica?	Arcillas	Débil, Selectiva	

Minerales opacos		Total =	2 %
%	Mineral	Modo ocurrencia	
2	Pirita	En vetillas y diseminado	
tr	Bornita	Exsolvido en pirita en vetillas	
tr	Calcopirita	Exsolvido en pirita en vetillas	
tr	Hematita		

Microfotografías

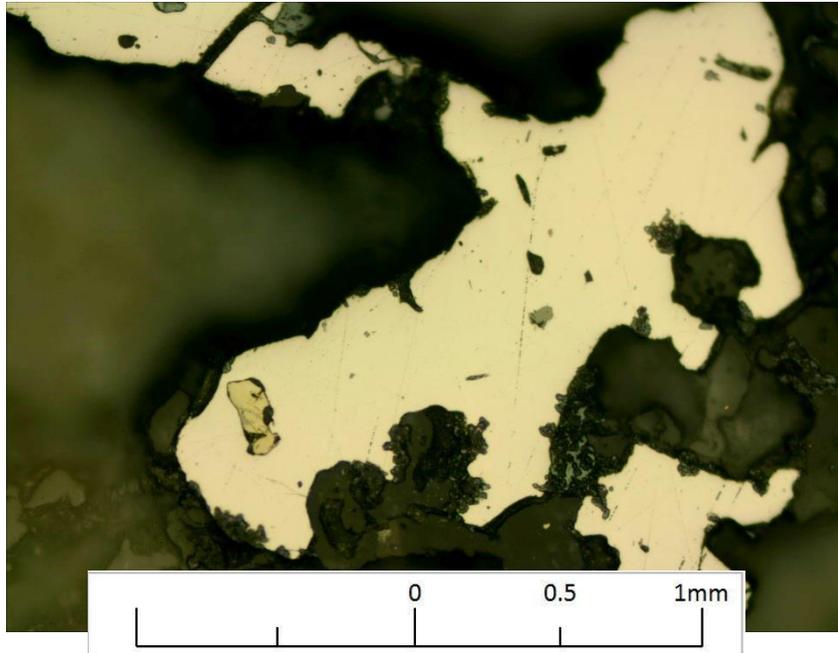


Microfotografía 1

Luz transmitida - nicoles paralelos y cruzados - 10x10

Aspecto general de la muestra: fenocristales de feldspatos completamente reemplazados por un arreglo de cuarzo-sericita. Escasos parches de arcillas.

Microfotografías



Microfotografía 2

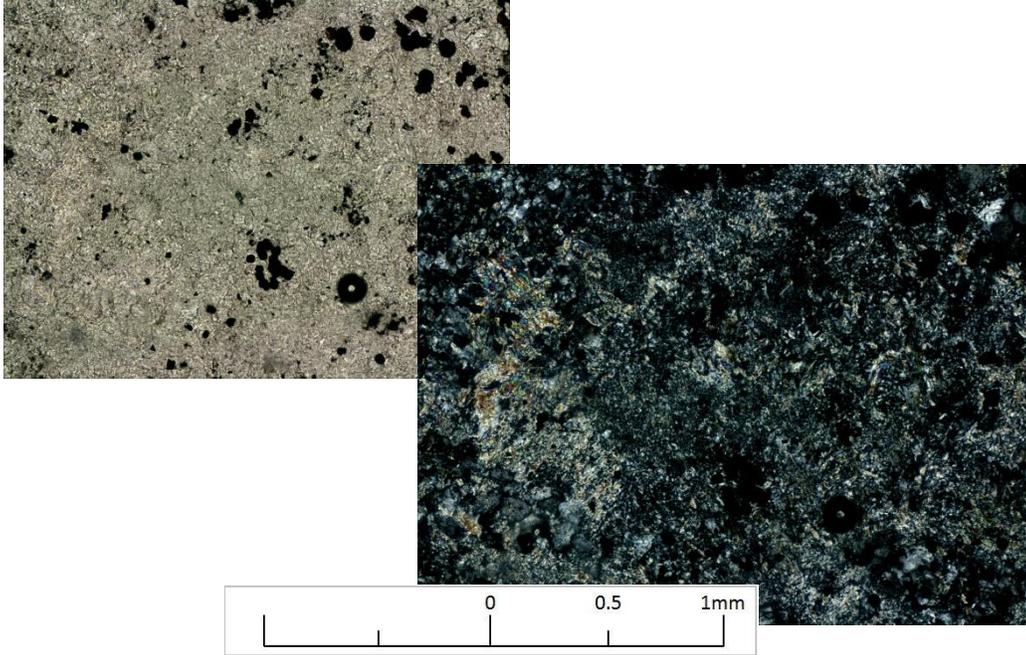
Luz reflejada - nicoles paralelos - aumento 20x10

Mineralización diseminada de Pirita. Granos de Calcopirita y Hematita(?) exseltos dentro de ésta. La Cpy está con bordes bien definidos y simples. Se espera liberación defectuosa, dado a que está completamente incluida en la Py.

Descripción Petrográfica		Muestra:	EN-0119
Clasificación petrográfica			
Andesita de textura porfídica con alteración argílica moderada.			
Textura			
Roca de textura equigranular (80% Cxx < 0.3 mm, 20% entre 0.3 y 1 mm). Textura original obliterada.			
Descripción microscópica general			
Andesita con alteración fílica y alteración argílica sobrepuesta. Los feldespatos se encuentran completamente reemplazados por arcillas+sericita. La matriz está recristalizada a un arreglo microcristalino de arcillas-cuarzo +- arcillas. Los sulfuros están lixiviados, quedando boxwork y amígdalas rellenas de hematita, goetita y otros FeOx. Las vetillas son de dos tipos: (a) desc?, de espesores hasta 1 mm, sin halo; (b) desc?, de espesores hasta 2 mm, con halo hematítico/FeOx.			
Componentes minerales			
%	Mineral	Observaciones	
10	Cuarzo		
20	Sericita	Reemplazando feldespatos y asociada a cuarzo en la matriz	
50	Arcillas		
3	Opacos		
10	FeOx	Goetita, Limonitas, otros	
Alteración			
Tipo	Minerales	Intensidad	
Sericítica	Sericita	Intensa	

Minerales opacos		Total =	3 %
%	Mineral	Modo ocurrencia	
8	Hm	Diseminado y bordes reemplazados y relleno de espacios	

Microfotografías

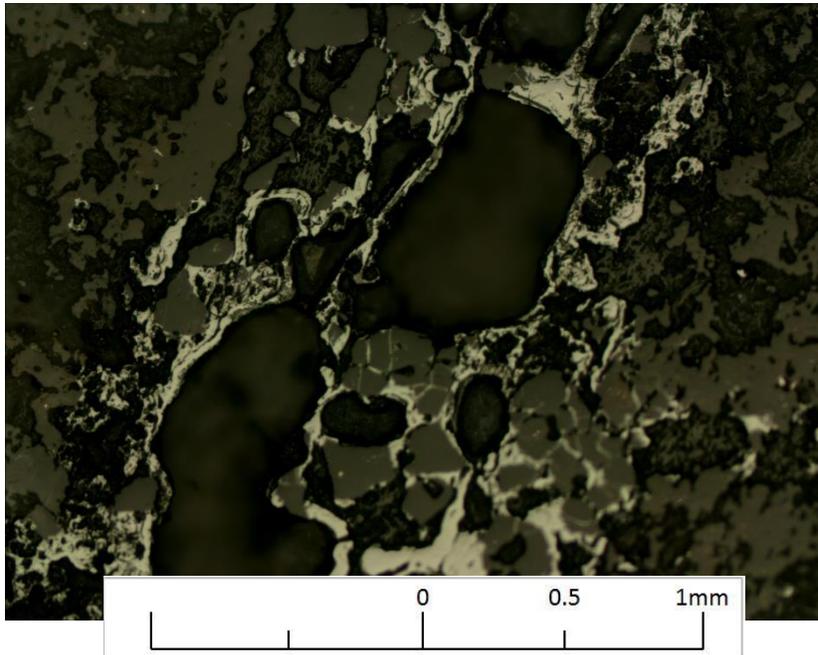


Microfotografía 1

Luz transmitida - nicoles paralelos y cruzados - 10x10

Aspecto general de la muestra: alteración intensa filica con un arreglo de cuarzo-sericita-arcillas.

Microfotografías



Microfotografía 2

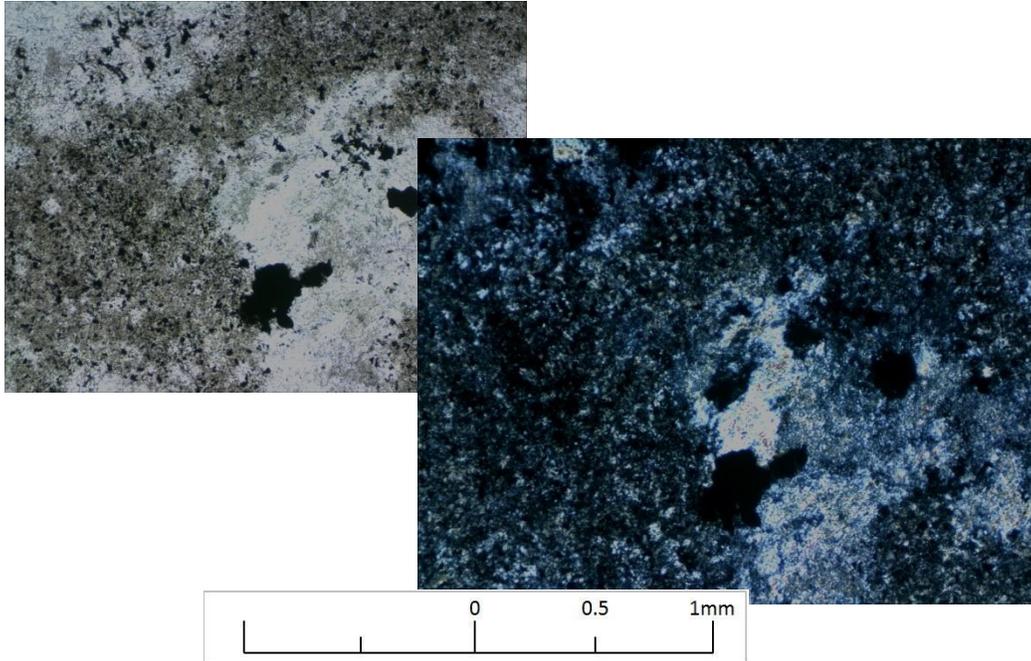
Luz reflejada - nicoles paralelos - aumento 10x10

Hematita en bordes de silicatos y cuarzo y diseminada.

Descripción Petrográfica		Muestra:	EN-0120
Clasificación petrográfica			
Andesita con alteración argílica.			
Textura			
Textura porfídica hipidiamórfica (95% cxs < 0.1 mm; 5% cxs entre 0.1 y 0.4 mm)			
Descripción microscópica general			
Andesita obliterada con alteración argílica pervasiva. Los feldespatos (pseudomorfos), en su mayoría plagioclasa, de tamaños variados <2mm, están completamente reemplazados por arcillas +- sericita. La matriz se encuentra reemplazada por arcillas +- sericita +- cuarzo y óxidos de hierro, que le dan un tinte rozado a las arcillas (inspección con lupa). Se observan escasos minerales de Anhidrita eu-subhedral, en cercanía a vetillas. Las vetillas son escasas (<1% de la muestra total), de espesores < 0.2 mm, y están rellenas con opacos, arcillas +- cuarzo-sericita.			
Componentes minerales			
%	Mineral	Observaciones	
15	Cuarzo		
45	Arcillas	Reemplazando feldespatos y matriz	
20	Sericita		
tr	Anidrita	En proximidad a vetillas	
8	Opacos	Diseminado y vetillas	
Alteración			
Tipo	Minerales	Intensidad	
Argílica	Arcillas	Intensa, Pervasiva	

Minerales opacos		Total =	8 %
%	Mineral	Modo ocurrencia	
3	Pirita		
3	FeOx		
2	Hematita		

Microfotografías

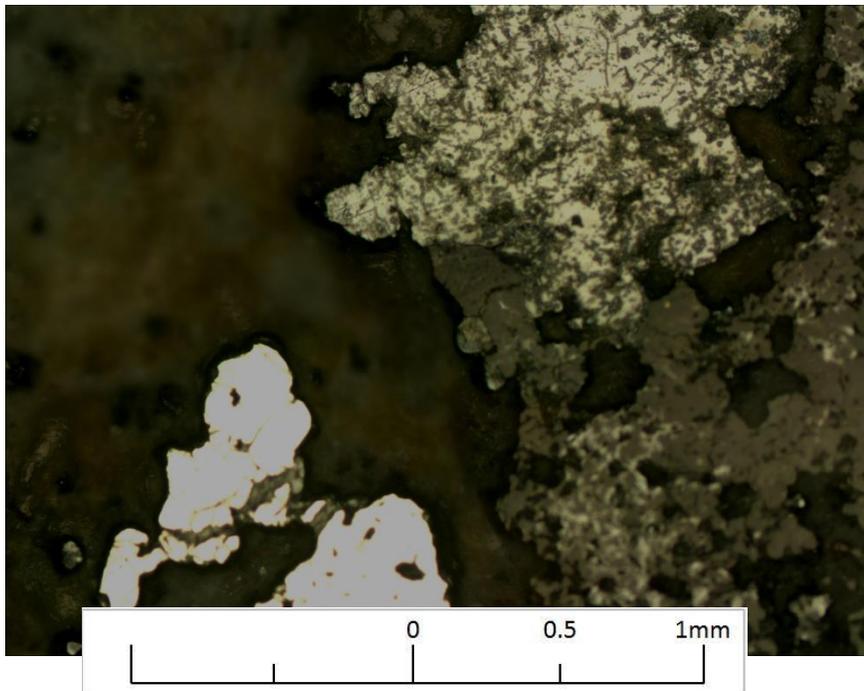


Microfotografía 1

Luz transmitida - nicoles paralelos y cruzados - 10x10

Aspecto general de la muestra: andesita porfírica con intensa alteración argílica, sobrepuesta a alteración fílica. Arreglo microcristalino de arcillas en matriz y reemplazando feldespatos.

Microfotografías



Microfotografía 2

Luz reflejada - nicoles paralelos - aumento 10x10

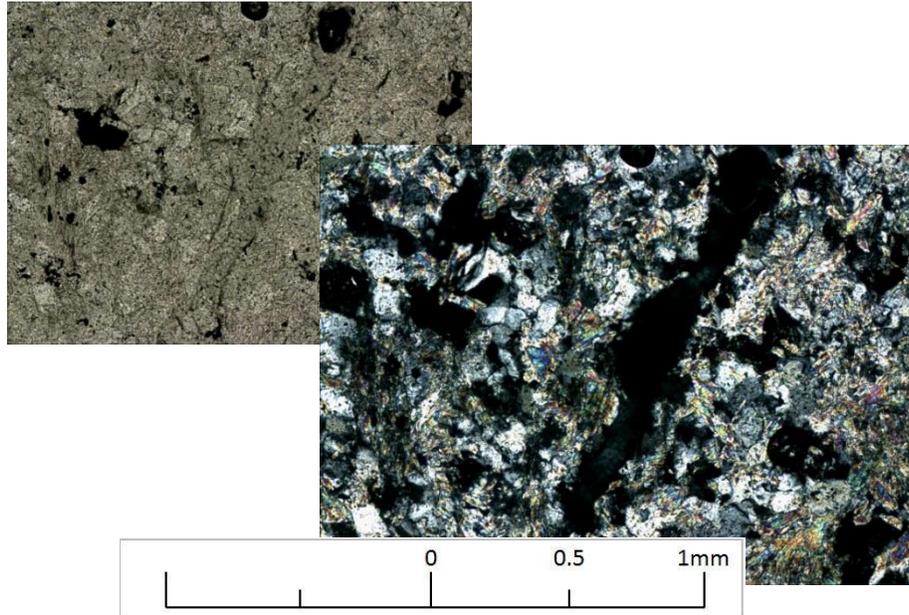
Mineralización diseminada de ganga: Pirita y Hematita.

9.4.2 Pórfidos

Descripción Petrográfica		Muestra: EN-0103
Clasificación petrográfica		
Roca de textura porfídica con alteración pervasiva.		
Textura		
Roca de textura equigranular (90% Cxx < 0.3 mm, 10% entre 0.3 y 1 mm)		
Descripción microscópica general		
La muestra es pórfido feldespático con alteración pervasiva fílica. Los feldespatos están reemplazados por sericita y arcillas. La masa fundamental está recristalizada a cuarzo-sericita-arcillas. Parches de arcilla de hasta 2 cm. Las vetillas (~4% del total de la muestra) son de cuarzo y opacos, con espesores de entre 0.2-1.5 mm, sin halo, presentando al menos dos temporalidades, sin diferenciarse en estructura.		
Componentes minerales		
%	Mineral	Observaciones
50	Cuarzo	
30	Sericita	Principalmente en halo de vetillas
15	Arcillas	Reemplazando feldespatos y algo en matriz
3	Opacos	
Alteración		
Tipo	Minerales	Intensidad
Fílica	Sericita, Cuarzo, Arcillas	Intensa
Argílica?	Arcillas	

Minerales opacos		Total =	1 %
%	Mineral	Modo ocurrencia	
1	Pirita	En vetillas y disseminado	
tr	Molibdenita	Asociado/exsuelto a Pirita	
tr	Esfalerita	Exsuelto en Pirita	
tr	Oro	Exsuelto en Pirita	

Microfotografías

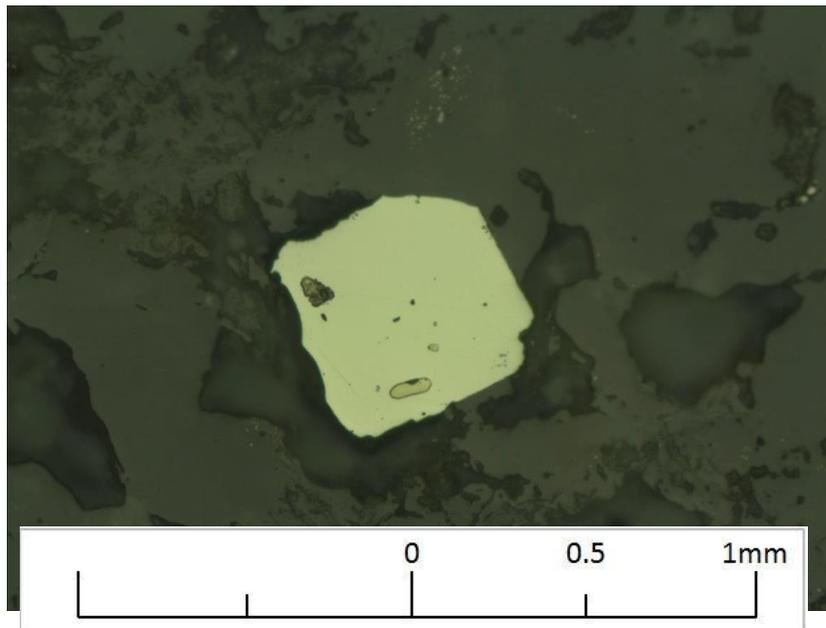


Microfotografía 1

Luz transmitida - nicoles paralelos y cruzados - 10x10

Aspecto general de la muestra. Masa fundamental con un arreglo de cuarzo-sericita. Feldespatos reemplazados por sericita-arcillas. Cúmulos de arcillas. Se aprecia vetilla de cuarzo-arcillas-opacos en el centro.

Microfotografías

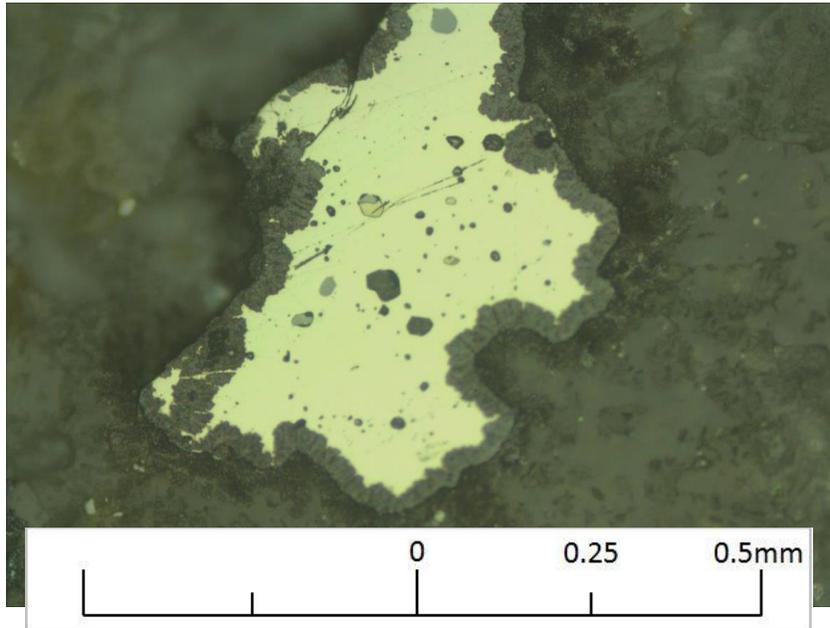


Microfotografía 2

Luz reflejada - nicoles paralelos - aumento 10x10

Mineralización diseminada de ganga de Pirita, con Oro (?) exsuelto.

Microfotografías



Microfotografía 3

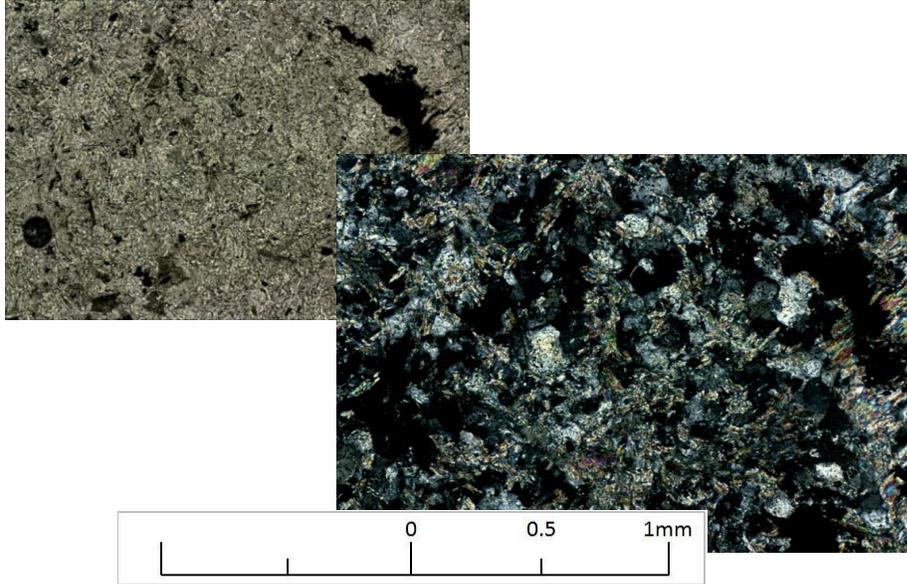
Luz reflejada - nicoles paralelos - aumento 20x10

Mineralización de ganga en diseminado: Pirita. Oro-Esfalerita-Molibdenita (?) exseltos dentro de la Py.

Descripción Petrográfica		Muestra:	EN-0104
Clasificación petrográfica			
Roca de textura porfídica con alteración pervasiva fílica.			
Textura			
Roca de textura equigranular (90% Cxx < 0.3 mm, 10% entre 0.3 y 1 mm)			
Descripción microscópica general			
La muestra es de textura de pórfido feldespático con alteración pervasiva fílica. Los feldespatos están reemplazados por sericita y arcillas. La masa fundamental está recristalizada a cuarzo-sericita-arcillas. Las vetillas (~5% del total de la muestra) son de tres tipos: (a) cuarzo y opacos, con espesores de hasta 1.5 mm, con halo sericítico débil, (b) óxidos de hierro con espesores < 0.1 mm, (c) cuarzo (+-opacos) de espesores entre 0.1 y 0.3 mm.			
Componentes minerales			
%	Mineral	Observaciones	
60	Cuarzo		
30	Sericita	Principalmente en halo de vetillas	
5	Arcillas	Reemplazando feldespatos y algo de diseminado en matriz	
5	Opacos		
Alteración			
Tipo	Minerales	Intensidad	
Fílica	Sericita, Cuarzo, Arcillas	Intensa	

Minerales opacos			Total =	2 %
%	Mineral	Modo ocurrencia		
0.5	Cc	Diseminado, asociada a Cpy.		
0.2	Bn	Diseminado		
0.5	Cpy	Diseminado, asociada a Py.		
0.3	Py	Diseminado		

Microfotografías

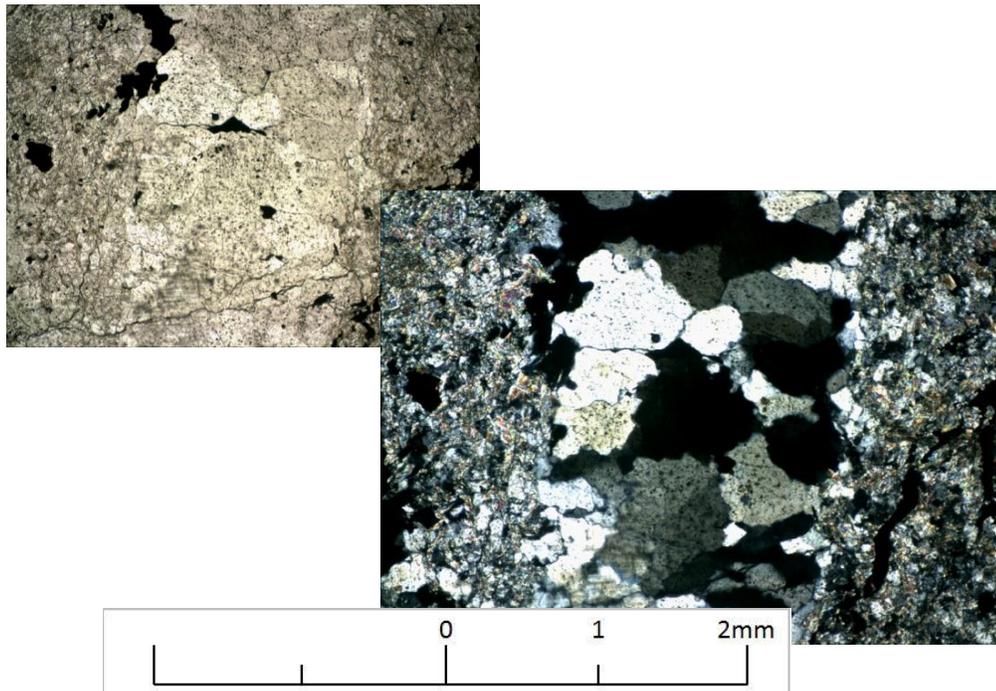


Microfotografía 1

Luz transmitida - nicoles paralelos y cruzados - 10x10

Aspecto general de la muestra: arreglo de cuarzo-sericita y escasas arcillas, con diseminación de sulfuros.

Microfotografías

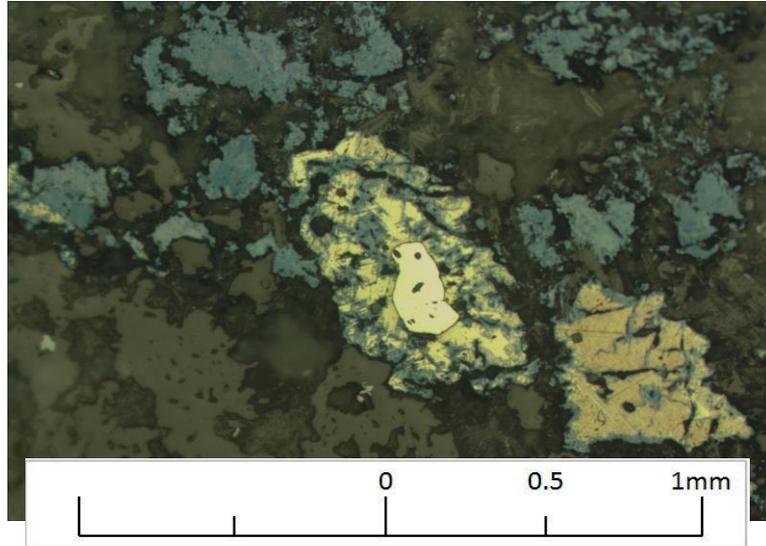


Microfotografía 2

Luz transmitida - nicoles paralelos y cruzados - 10x5

Vetilla (a): rellena de cuarzo y opacos, con halo sericítico débil.

Microfotografías

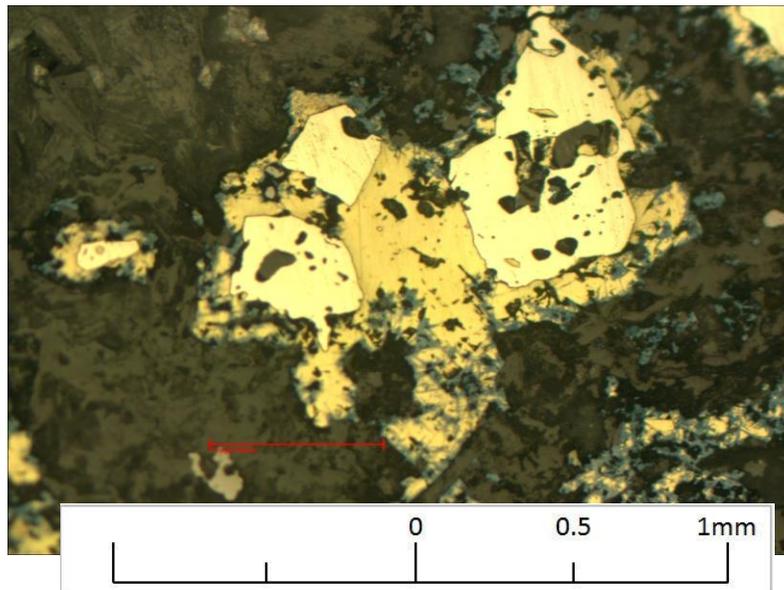


Microfotografía 3

Luz reflejada - nicoles paralelos - aumento 10x10

Mineralización en vetilla de Cpy-Py-Dig-Cv y Bn-Cv. Bordes irradiados finos entre Cpy-(Dig-Cv) (alteración) y entre Dig y cuarzo-feldespatos. Bordes simples entre Bn-Cv. Se espera liberación mediana a mala para la digenita respecto a qz-feld y mediana para la Bn respecto a la dig-cv.

Microfotografías



Microfotografía 1

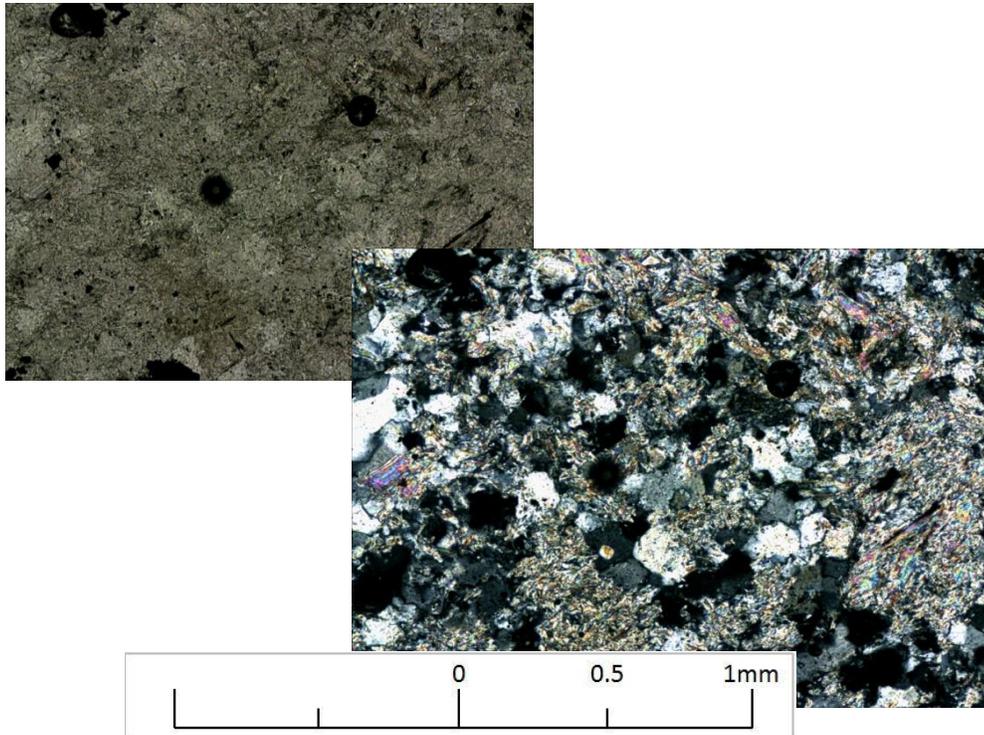
Luz reflejada - nicoles paralelos - aumento 10x10

Mineralización en vetilla de Calcopirita-Py-Covelina. Bordes irradiados entre Cpy-Cv y simples y bien definidos entre CPy-Py. Bordes simples y bien definidos entre Cpy y feldespatos/arcillas, y menos definidos entre Cv y feldespatos sericitizados.

Descripción Petrográfica		Muestra: EN-0105
Clasificación petrográfica		
Roca de textura porfídica con alteración pervasiva fílica.		
Textura		
Roca de textura equigranular (80% Cxx < 0.2 mm, 20% entre 0.2 y 0.7 mm)		
Descripción microscópica general		
La muestra es de textura de pórfido grueso con alteración pervasiva fílica. Los feldespatos están reemplazados por sericita y arcillas. La masa fundamental está recristalizada a cuarzo-sericita. Las vetillas (~3% del total de la muestra) son de cuarzo con escasas arcillas y trazas de anhidrita, con o sin opacos, de dimensiones entre 0.2 y 2 mm. No presentan halo.		
Componentes minerales		
%	Mineral	Observaciones
50	Cuarzo	
35	Sericita	Principalmente en halo de vetillas
tr	Anidrita	
1.5	Opacos	
Alteración		
Tipo	Minerales	Intensidad
Fílica	Sericita, cuarzo, arcillas	Intensa

Minerales opacos		Total =	2 %
%	Mineral	Modo ocurrencia	
0.5	Pirita	Diseminado y vetillas	
1	Calcopirita	Diseminado y vetillas	
tr	Sulfuro gris		

Microfotografías

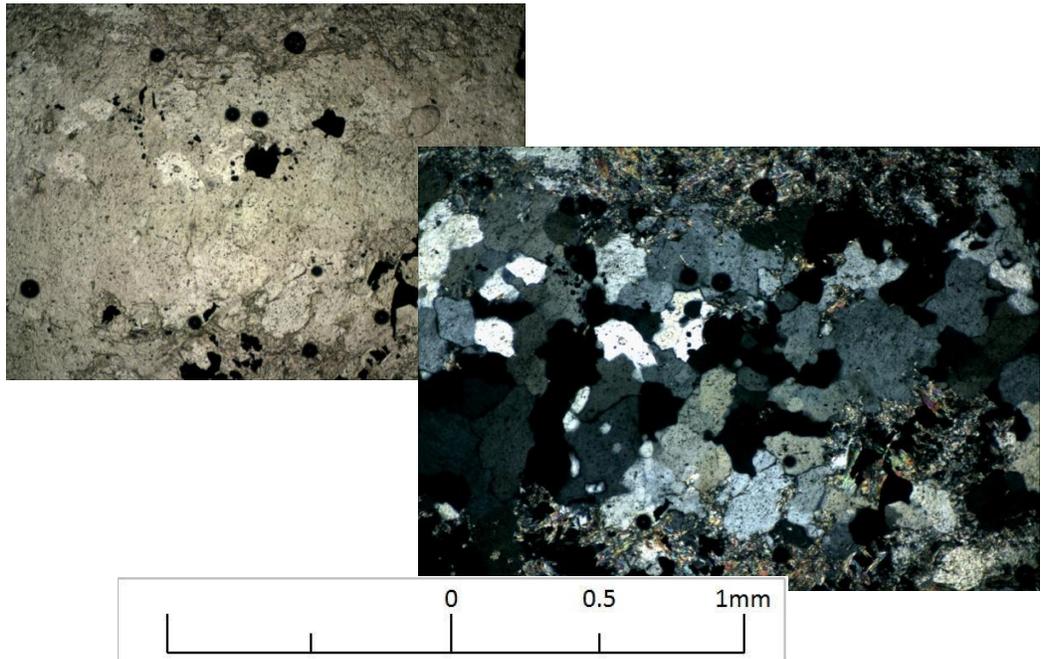


Microfotografía 1

Luz transmitida - nicoles paralelos y cruzados - 10x10

Aspecto general de la muestra. Los feldespatos sericitizados y la matriz reemplazada con un arreglo de cuarzo-sericita. Trazas de anhidrita en la izquierda.

Microfotografías

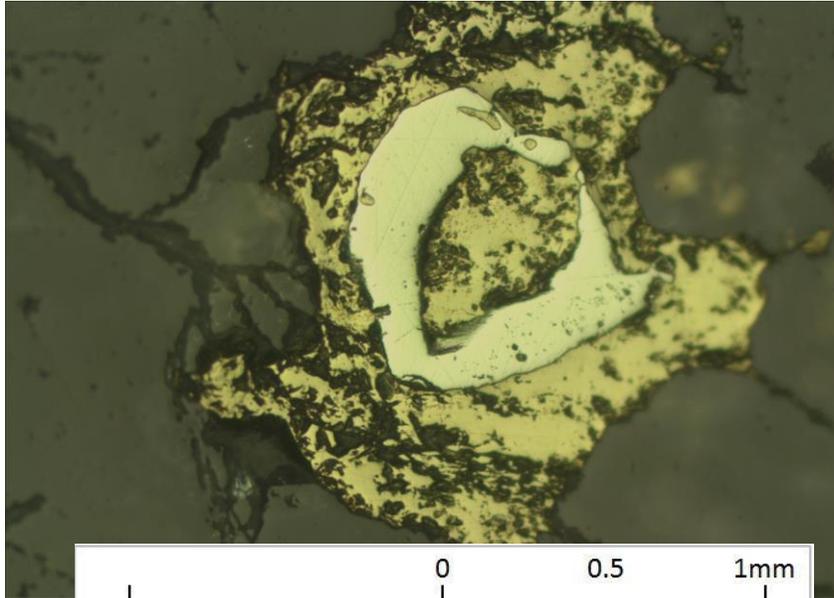


Microfotografía 2

Luz transmitida - nicoles paralelos y cruzados - 10x10

Vetilla de cuarzo con trazas de sericita y arcillas. Se observan opacos.

Microfotografías

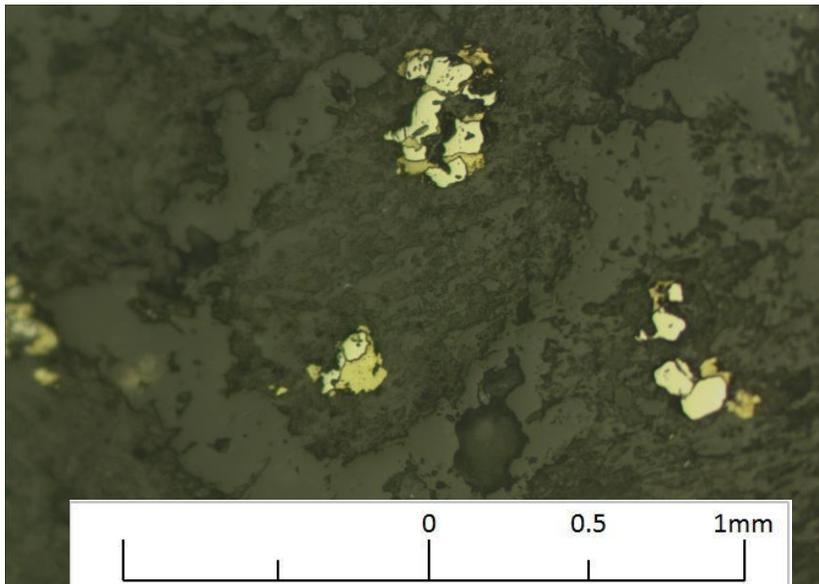


Microfotografía 3

Luz reflejada - nicoles paralelos - aumento 10x10

Mineralización en vetilla de Pirita+Calcopirita. La Cpy está sobrepuesta a la pirita y al cuarzo, con bordes simples y bien definidos. Se espera liberación fácil al tamaño de molienda del orden del grano. Adicionalmente hay exolución de cpy en la pirita de difícil liberación.

Microfotografías



Microfotografía 1

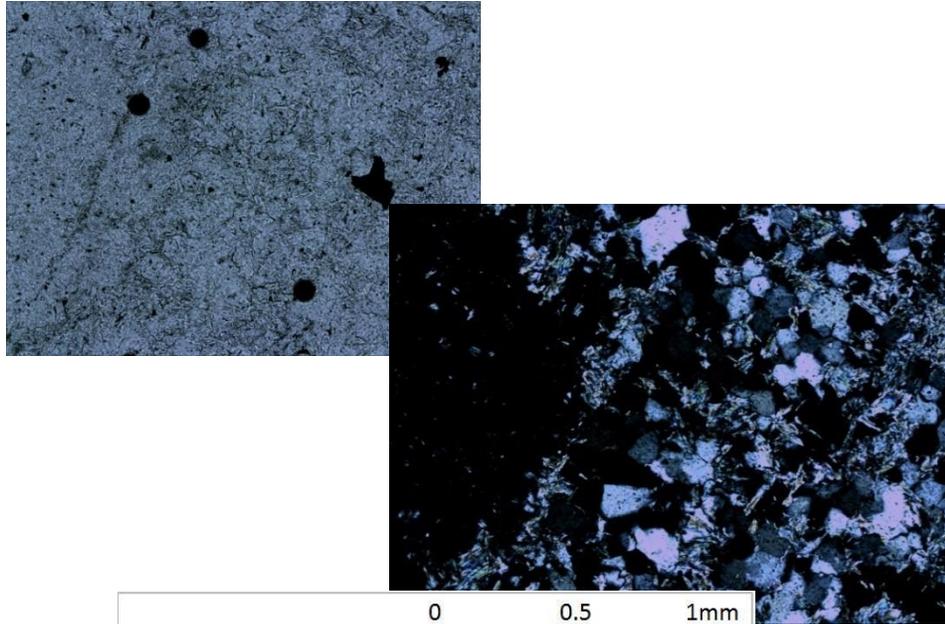
Luz reflejada - nicoles paralelos - aumento 10x10

Mineralización diseminada de Pirita+Calcopirita. La Cpy está sobrepuesta a la pirita, con bordes simples y bien definidos. En su conjunto Cpy+Py está diseminada en los feldespatos sericitizados, con bordes medianamente definidos. Con molienda al tamaño del grano, se espera liberación fácil de la Pirita, pero medianamente buena de la sericita.

Descripción Petrográfica		Muestra:	EN-0106
Clasificación petrográfica			
Pórfido grueso con textura obliterada y intensa alteración fílica.			
Textura			
Textura porfídica (70% mxs < 0.2mm y 30% mxs entre 0.2 y 2 mm)			
Descripción microscópica general			
Roca de textura de pórfido grueso, con intensa alteración fílica. No se logran distinguir los feldespatos, ya que han sido completamente reemplazados por sericita y/o arcillas. Se observan fenocristales anhedrales de Cuarzo, con tamaños hasta 2 mm (ojos de cuarzo). La matriz está compuesta por un arreglo microcristalino de cuarzo y sericita, con parches de arcillas, algunos probablemente por reemplazo de feldespatos. Las vetillas (5% del total de la roca) son de cuarzo aserrado y opacos, con arcillas subordinadas, sin halo, y espesores hasta 0.5 mm.			
Componentes minerales			
%	Mineral	Observaciones	
40	Cuarzo		
40	Sericita		
10	Arcillas	En parches	
1	Muscovita	En parches de cristales laminares	
1	Desconocido	Amarillo en np y nx, extinción abanico, en vetillas	
5	Opacos		
Alteración			
Tipo	Minerales	Intensidad	
Fílica	Sericita-Cuarzo	Intensa	

Minerales opacos		Total =	5 %
%	Mineral	Modo ocurrencia	
2	Pirita	Vetillas y trazas en diseminado	
3	Calcopirita	Diseminado	
tr	Hematita	Diseminado	

Microfotografías

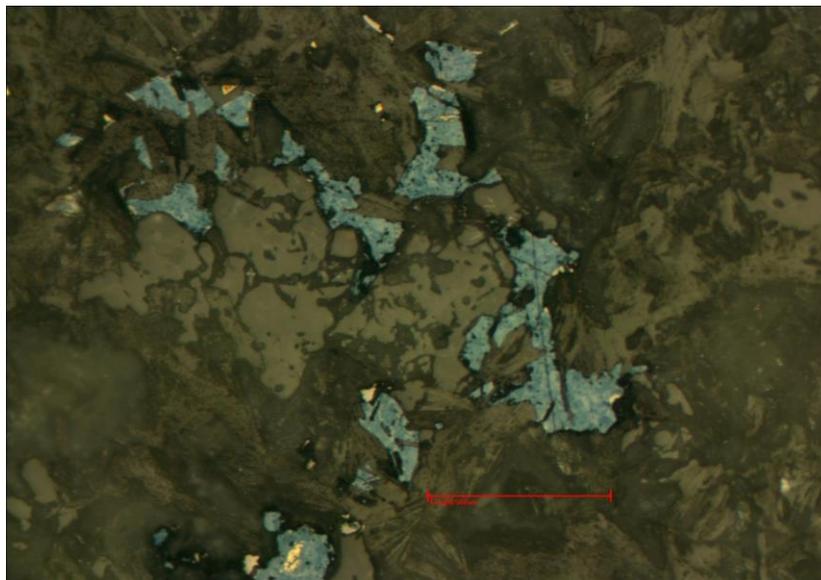


Microfotografía 1

Luz transmitida - nicoles paralelos y cruzados - 10x10

Aspecto general de la muestra. Alteración cuarzo-sericítica intensa, con un arreglo de cxs de cuarzo aserrados. Los feldespatos están completamente sericitizados y argilizados. Hasta 5% opacos. Escasos cxs de Muscovita.

Microfotografías

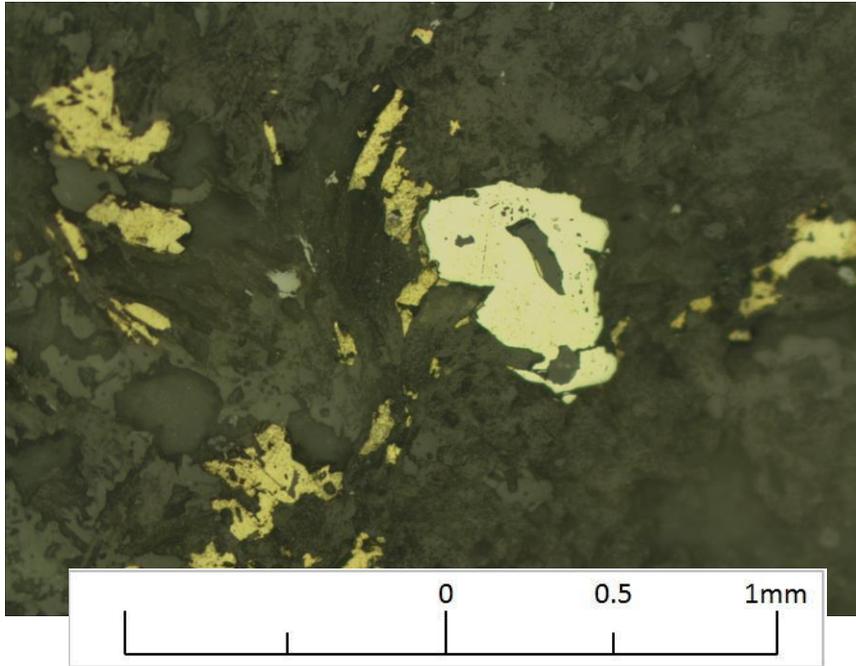


Microfotografía 2

Luz reflejada - nicoles paralelos - aumento 10x10

Mineralización diseminada de Dig+Cpy. La Dig está asociada al cuarzo y a los feldespatos sericitizados mediante bordes bien definidos. Se espera buena liberación. La asociación con la Cpy es con bordes difusos (alteración), por lo que su liberación puede ser algo más difícil.

Microfotografías



Microfotografía 3

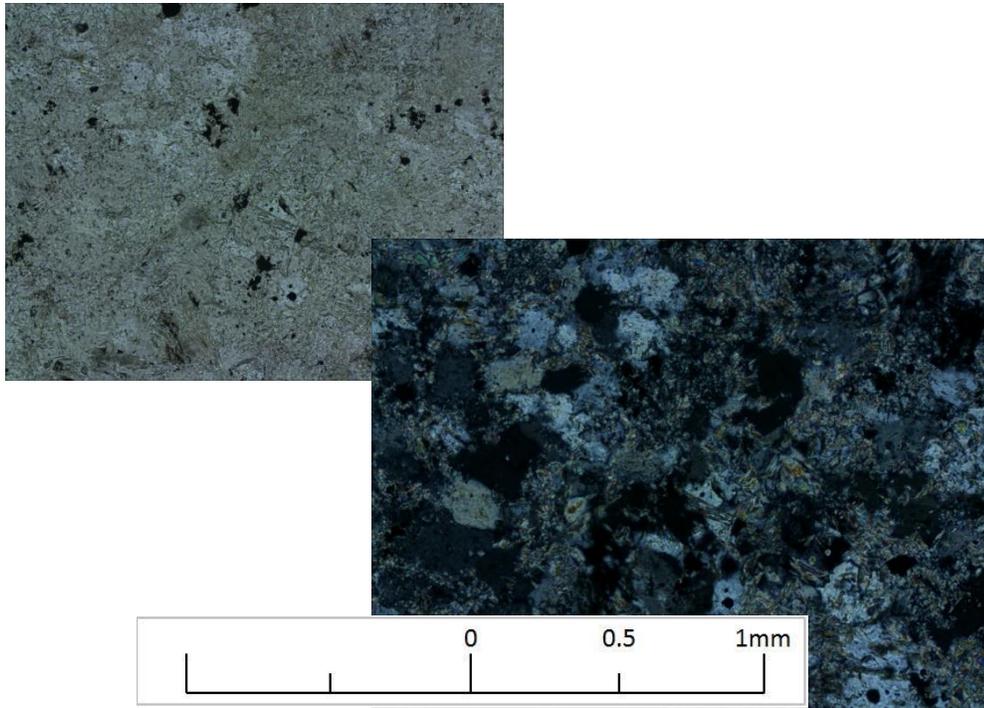
Luz reflejada - nicoles paralelos - aumento 10x10

Mineralización diseminada de Calcopirita-Pirita y, en menor medida, Esfalerita. La Cpy está mayormente aislada de la pirita y se asocia al cuarzo y a los feldespatos sericitizados con bordes simples y bien definidos. Se espera buena liberación al tamaño de molienda del orden del grano.

Descripción Petrográfica		Muestra: EN-0107
Clasificación petrográfica		
Pórfido Feldespático con textura obliterada, de fuerte alteración fílica y argílica superpuesta.		
Textura		
Textura porfídica hipidiomórfica (95% cxs < 0.1 mm, 5% cxs entre 0.1 y 0.5 mm)		
Descripción microscópica general		
Pórfido feldespático de textura obliterada y alteración fílica intensa y argílica moderada. Los feldespatos se encuentran completamente reemplazados por sericita y algunos por arcillas (parches de arcillas pseudomorfos, algunos tubulares). Las vetillas (3% del total de la roca) están compuestas de cuarzo en el centro (<0.1 mm) y arcillas hacia los bordes (hasta 2 mm), con escasa sericita, sin opacos.		
Componentes minerales		
%	Mineral	Observaciones
30	Cuarzo	
45	Sericita	En matriz y reemplazo de feldespatos
25	Arcillas	Especialmente en vetillas y en cercanía de éstas (no halo).
3	Opacos	Diseminados
Alteración		
Tipo	Minerales	Intensidad
Sericítica	Sericita +- Cuarzo	Intensa
Argílica	Arcillas (especialmente Caolinita)	Débil-Moderada

Minerales opacos		Total =	3 %
%	Mineral	Modo ocurrencia	
2	Pirita	Diseminado	
0.3	Calcopirita	Diseminado	
0.3	Hematita	Diseminado	
tr	Molibdenita	Diseminado	

Microfotografías

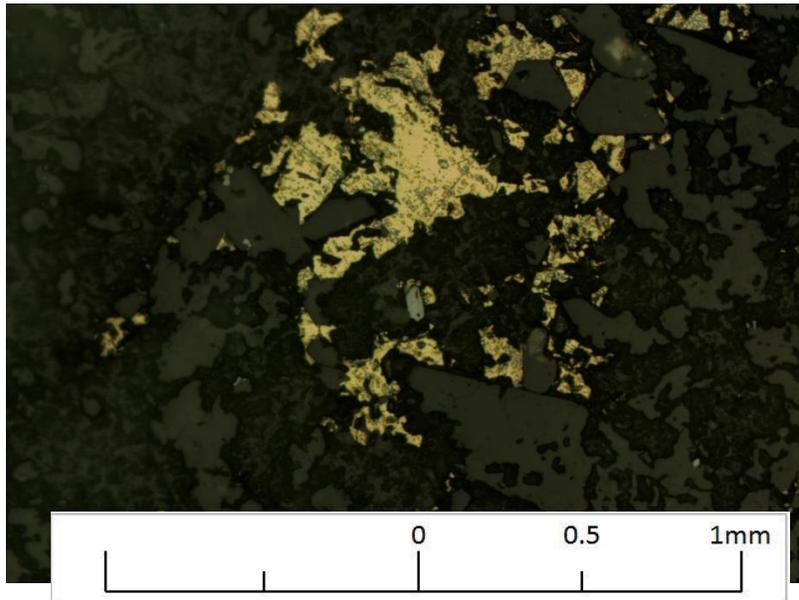


Microfotografía 1

Luz transmitida - nicoles paralelos y cruzados - 10x10

Aspecto general de la roca. Intensa alteración cuarzo-sericítica. Feldespatos completamente reemplazados por sericita y algunos por arcillas. Algunos cxs mayores de Muscovita. Hasta 3 % de opacos, diseminados.

Microfotografías

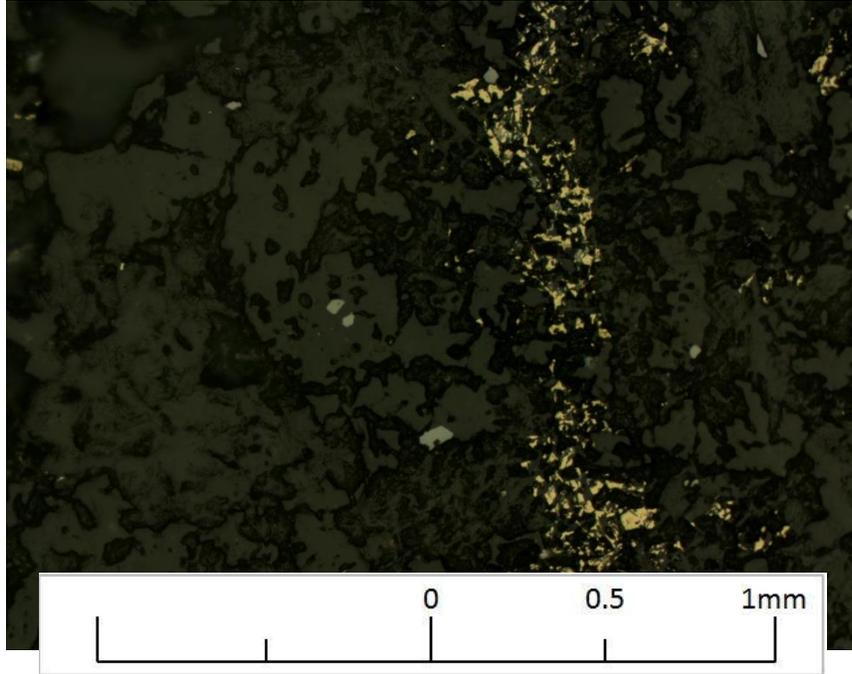


Microfotografía 2

Luz reflejada - nicoles paralelos - aumento 10x10

Mineralización diseminada de Cpy (cúmulo), con algunos bordes de Cc-Dig. Relación de borde con feldespatos y cuarzo, mediante bordes simples y bien definidos. Algunas formas convexas, podrían dificultar la liberación. Se espera buena liberación con molienda al orden del grano.

Microfotografías



Microfotografía 3

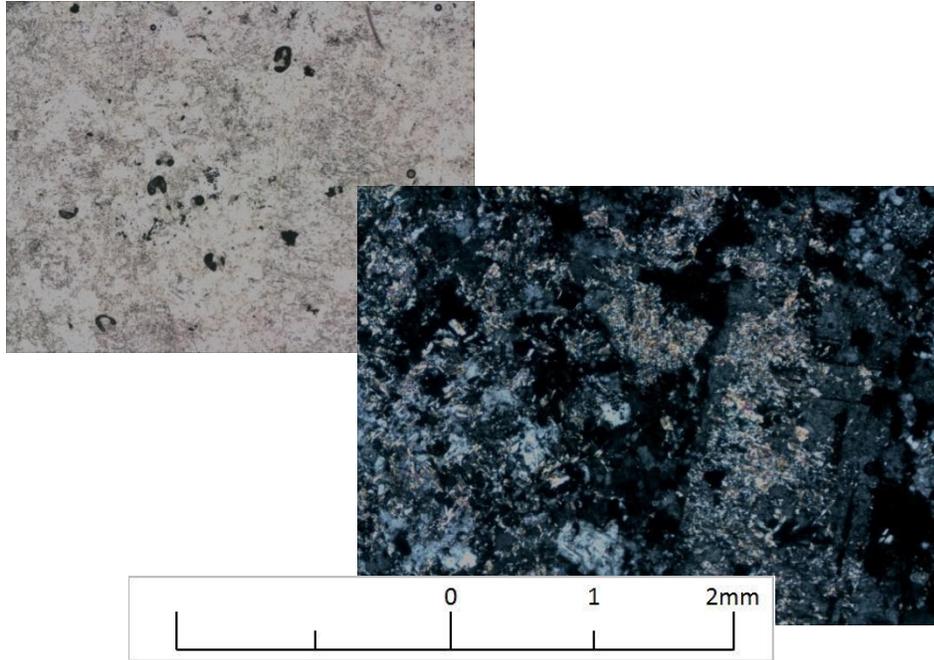
Luz reflejada - nicoles paralelos - aumento 10x10

Mineralización diseminada de Calcopirita y algunos cxs de Hm. La calcopirita es muy fina, del orden de 0.01 mm, aunque con bordes bien definidos. Algunos bordes aserrados, en contacto con feldespatos, arcillas y otros con cuarzo. Se espera liberación moderada-mala, a menos que la molienda llegue al tamaño del grano fino.

Descripción Petrográfica		Muestra: EN-0108
Clasificación petrográfica		
Pórfido Feldespático, con alteración fílica moderada y argílica débil-moderada.		
Textura		
Textura porfídica (80% cxs < 0.2 mm, 20% cxs 0.2-4 mm)		
Descripción microscópica general		
Pórfido Feldespático con textura porfídica. Los feldespatos (mayormente plagioclasa, pero también feld-K), son de tamaños hasta 4 mm y están parcialmente reemplazados por sericita +- arcillas. La masa fundamental está formada esencialmente por un arreglo microcristalino de cuarzo-sericita y parches de arcillas, principalmente caolinita. Las vetillas (8% del total de la muestra) son de dos tipos: (a) Cuarzo-opacos y escasas zonas de arcillas, con grosores de hasta 8 mm, sin halo; (b) Arcillas, con grosores hasta 1 mm, sin halo. Obs: el corte transparente muestra grandes zonas de mala fabricación, con pérdida de muestra.		
Componentes minerales		
%	Mineral	Observaciones
40	Cuarzo	
15	Plagioclasa	Parcialmente reemplazada por sericita +- arcillas
5	Ortoclasa	Parcialmente reemplazados por sericita +- arcillas
20	Sericita	
20	Arcillas	En parches
2	Opacos	
Alteración		
Tipo	Minerales	Intensidad
Fílica	Sericita, Cuarzo	Moderada
Argílica	Arcillas (Kao)	Débil-Moderada

Minerales opacos		Total =	2 %
%	Mineral	Modo ocurrencia	
1.5	Pirita	Diseminado y vetillas	
0.5	Calcopirita	Diseminado y vetillas	
tr	Hematita		

Microfotografías

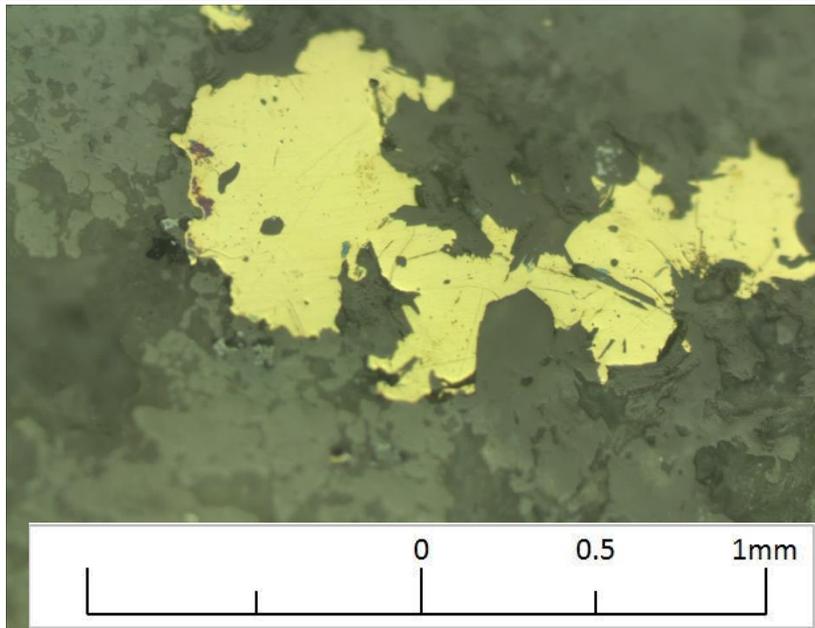


Microfotografía 1

Luz transmitida - nicoles paralelos y cruzados - 5x10

Aspecto general de la roca. Alteración sericitica (cuarzo) moderada y argilica débil. Fenocristales de feldspatos hasta 4 mm, completamente reemplazados por sericita y/o arcillas. Algunos fenocristales de Feld-K, reemplazados por arcillas.

Microfotografías

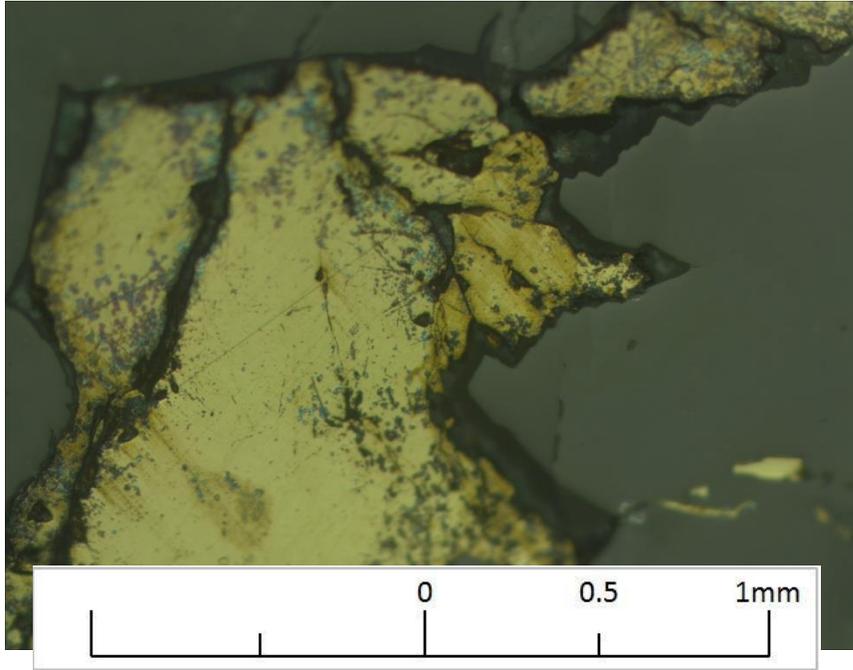


Microfotografía 2

Luz reflejada - nicoles paralelos - aumento 10x10

Mineralización diseminada de Cpy. Bordes bien definidos. Bordes simples con feldspatos y cuarzo, mientras que en zonas arcillosas son más aserrados. Se espera buena liberación con molienda al tamaño del grano.

Microfotografías



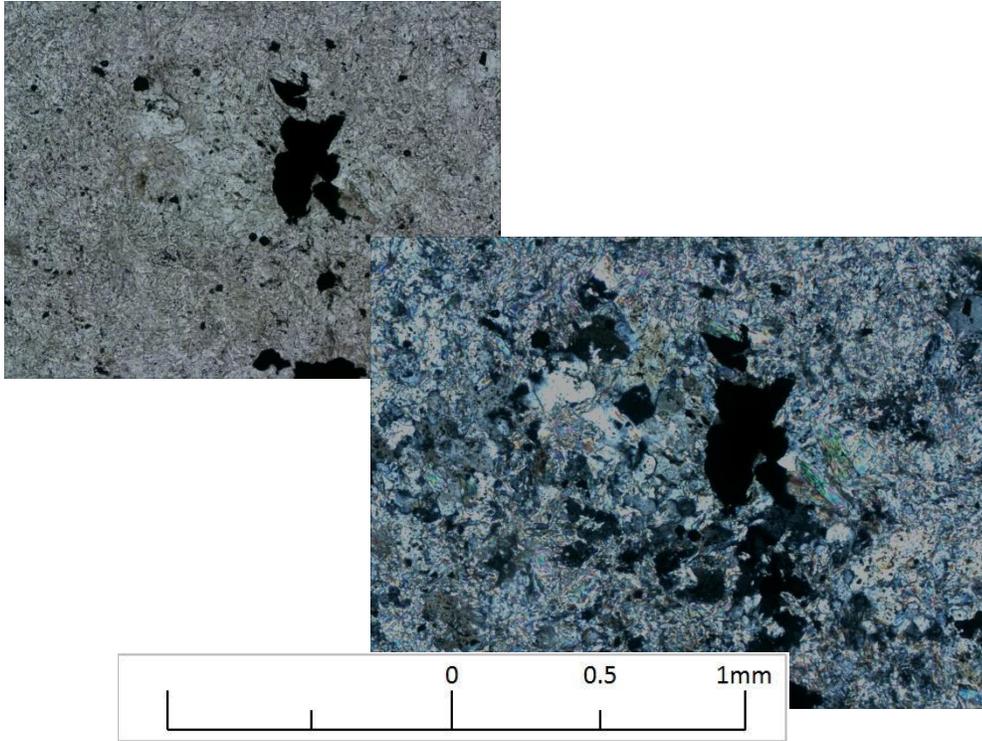
Microfotografía 3

Luz reflejada - nicoles paralelos - aumento 10x10

Mineralización de Cpy en vetillas. Se observa cristal ~2 mm, con bordes simples y bien definidos, en contacto con feld/cuarzo. Se espera buena liberación.

Descripción Petrográfica		Muestra:	EN-0109
Clasificación petrográfica			
Pórfido Feldespático con fuerte alteración fílica y argílica.			
Textura			
Textura obliterada hipidiamórfica (95% cxs < 0.1 mm, 5% cxs entre 0.1 y 0.5 mm)			
Descripción microscópica general			
Pórfido feldespático con textura completamente obliterada. La masa fundamental está recristalizada por un arreglo microcristalino de Cuarzo-Arcillas-Sericita. La roca tiene sobrepuesta una argilización intensa. Se observan algunos cristales de Prehnita euhedrales y cristales eu-subhedrales de Muscovita. Las vetillas son de hasta 0.5 mm, rellenas de arcillas y sin opacos ni halo. Las vetillas son de dos tipos: (a) Cuarzo-opacos, con espesores de hasta 3 mm, sin halo; (b) Arcillas +- opacos, con espesores de hasta 1 mm, sin halo. Obs: el corte transparente no presenta espesor estándar de 30 µm, por lo que los colores de interferencia no son los típicos.			
Componentes minerales			
%	Mineral	Observaciones	
35	Cuarzo	Aparece en varios colores por espesor atípico del corte	
30	Sericita		
25	Arcillas		
1	Prehnita		
tr	Muscovita	Asociada a vetillas	
5	Opacos	En vetillas y diseminados	
Alteración			
Tipo	Minerales	Intensidad	
Fílica	Sericita- Cuarzo	Intensa	
Argílica	Arcillas	Moderada	
Minerales opacos		Total =	5 %
%	Mineral	Modo ocurrencia	
3	Desc gris	Reflectividad media, oxidado y con exolución	
2	Pirita	Diseminada	
0.5	Calcopirita	Diseminada	

Microfotografías

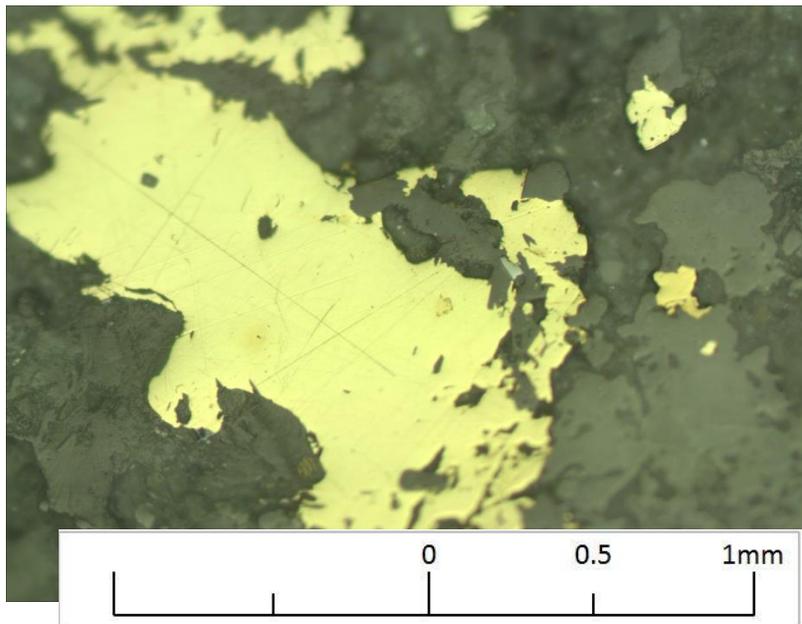


Microfotografía 1

Luz transmitida - nicoles paralelos y cruzados - 10x10

Aspecto general de la roca. Pórfido feldespático completamente obliterado por alteración cuarzo-sericítica y argílica sobrepuesta.

Microfotografías

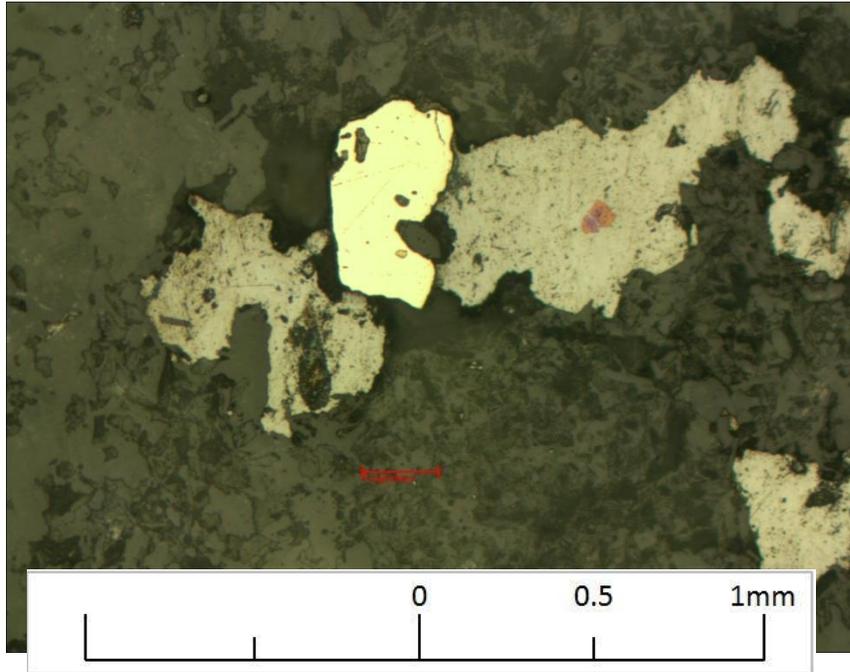


Microfotografía 2

Luz reflejada - nicoles paralelos - aumento 10x10

Mineralización diseminada de Cpy. Asociada a feldespatos y arcillas mediante bordes aserrados, pero bien definidos.

Microfotografías



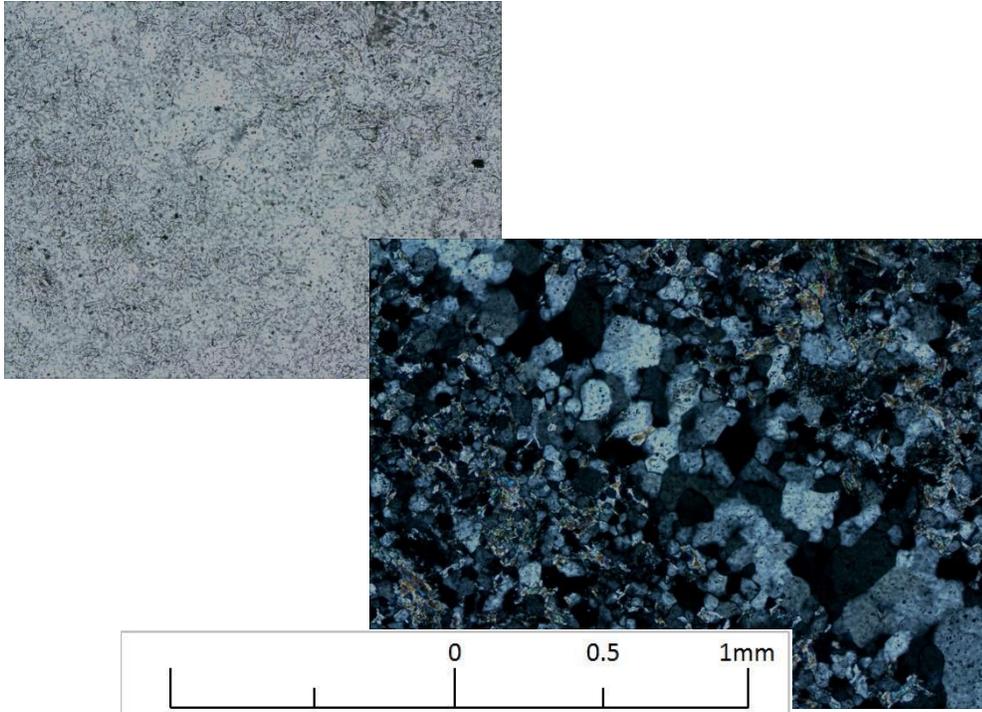
Microfotografía 3

Luz reflejada - nicoles paralelos - aumento 10x10

Mineralización diseminada de Cpy-Molibdenita. La calcopirita está con bordes bien definidos y simples. La molibdenita está con bordes simples a aserrados. Ambos minerales en contacto, y en contacto con silicatos.

Descripción Petrográfica		Muestra: EN-0110
Clasificación petrográfica		
Pórfido Feldespático con alteración fílica intensa y argilización moderada		
Textura		
Textura obliterada hipidiomórfica (95% cxs < 0.1 mm, 5% cxs > 0.1 mm)		
Descripción microscópica general		
Roca de textura obliterada. La roca completa está alterada a un arreglo fino de Cuarzo-Sericita y parches de fuerte argilización como halos de las vetillas y sobrepuestas a la alteración fílica (b). Las vetillas (15% del total de la muestra) son de dos tipos: (a) Vetillas mayormente compuestas de opacos, con espesores > 30 mm, en cuyos bordes están compuestas de cuarzo; (b) vetillas sin rellenar y con cuarzo en los bordes, con halo de fuerte argilización.		
Componentes minerales		
%	Mineral	Observaciones
40	Cuarzo	
20	Sericita	
30	Arcillas	Vetillas y halos de vetillas
tr	Prehnita	
10	Opacos	Vetillas y diseminados
Alteración		
Tipo	Minerales	Intensidad
Fílica	Cuarzo-Sericita	Intensa
Argílica	Arcillas	Moderada
Minerales opacos		Total = 10 %
%	Mineral	Modo ocurrencia
10	Pirita	Vetillas y diseminados
tr	Grises	

Microfotografías

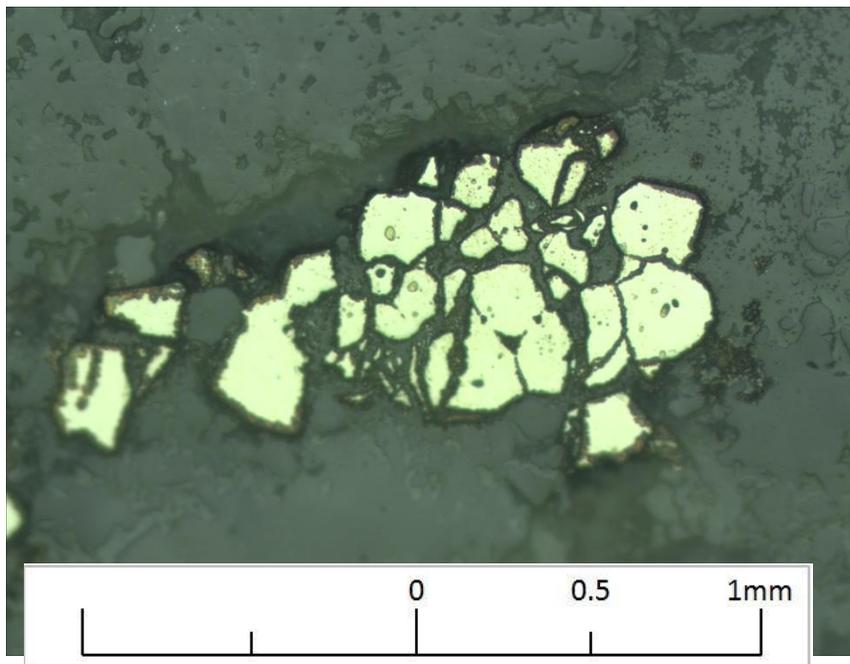


Microfotografía 1

Luz transmitida - nicoles paralelos y cruzados - 10x10

Aspecto general de la roca. Pórfido feldespático completamente obliterado por alteración cuarzo-sericítica y argílica débil sobrepuesta. En la imagen se aprecia vetilla de cuarzo-opacos.

Microfotografías



Microfotografía 2

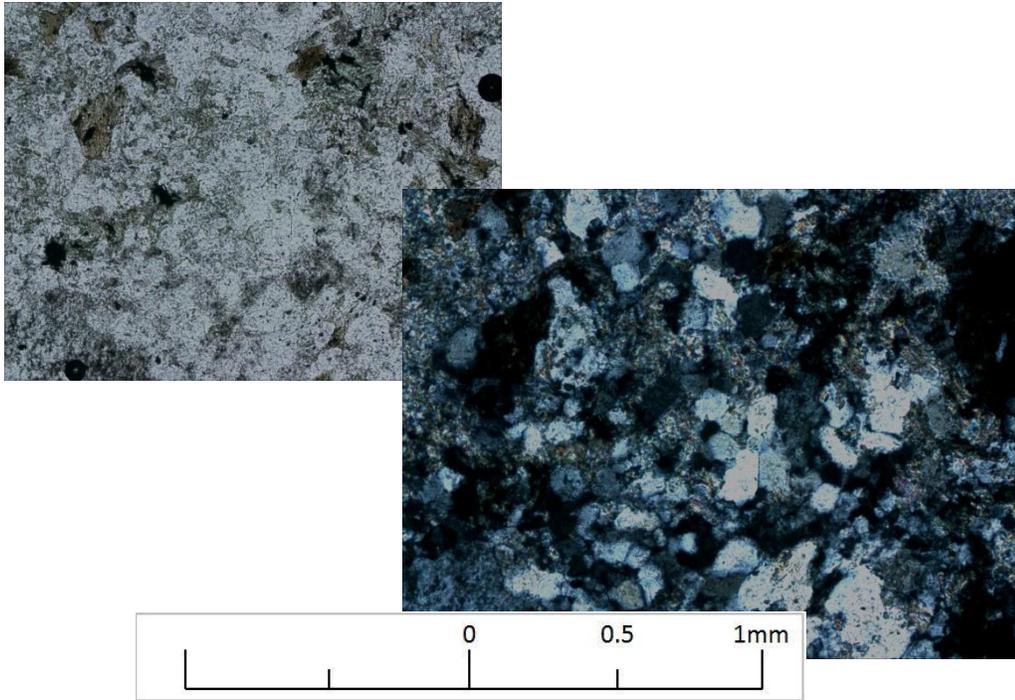
Luz reflejada - nicoles paralelos - aumento 10x10

Mineralización de ganga, Py en vetillas, con bordes oxidados. Exsolución de Oro?

Descripción Petrográfica		Muestra: EN-0111
Clasificación petrográfica		
Prófidio feldespático con alteración biotítica y fílica sobrepuesta.		
Textura		
Textura porfídica (70% cxs < 0.2 mm, 30% cxs entre 0.2 y 10 mm)		
Descripción microscópica general		
Pórfido Feldespático con alteración biotítica moderada-intensa y fílica moderada. Se observan cristales de biotita de dos poblaciones: (i) euhedrales, de tamaños hasta 0.5 mm; (ii) an-subhedrales, sin clivaje marcado de hasta 0.3 mm, pero generalmente del orden de 0.1 mm. Algunas biotitas están parcialmente reemplazadas por clorita. Se observan clusters de Cuarzo de mayor tamaño (cxs hasta 0.5 mm). Los feldespatos (hasta 2 cm) son parcialmente reemplazados por sericita. La matriz está constituida de un arreglo de cuarzo de bordes aserrados, intracrecido con más o menos sericita y algunas zonas con más arcillas. Las vetillas (2% de la muestra) son de cuarzo, con escasos opacos, de espesor hasta 0.5 mm, sin halo.		
Componentes minerales		
%	Mineral	Observaciones
40	Cuarzo	Microcristalino aserrado en matriz y en parches
10	Feldespatos	Plagioclasa y Ortoclasa
20	Biotita	Dos poblaciones: euhedral y sub-anhedral
5	Clorita	Reemplazando y asociada a Biotita
20	Sericita	Reemplazando feldespatos y en matriz
5	Arcillas	
3	Opacos	
Alteración		
Tipo	Minerales	Intensidad
Biotítica	Biotita	Moderada-Intensa
Fílica	Sericita-Cuarzo	Moderada

Minerales opacos		Total =	3 %
%	Mineral	Modo ocurrencia	
2	Py	Diseminado y algo en vetillas	
0.5	Cpy	Diseminado, traza en vetillas	
tr	Mgt-Hm	Diseminado	

Microfotografías

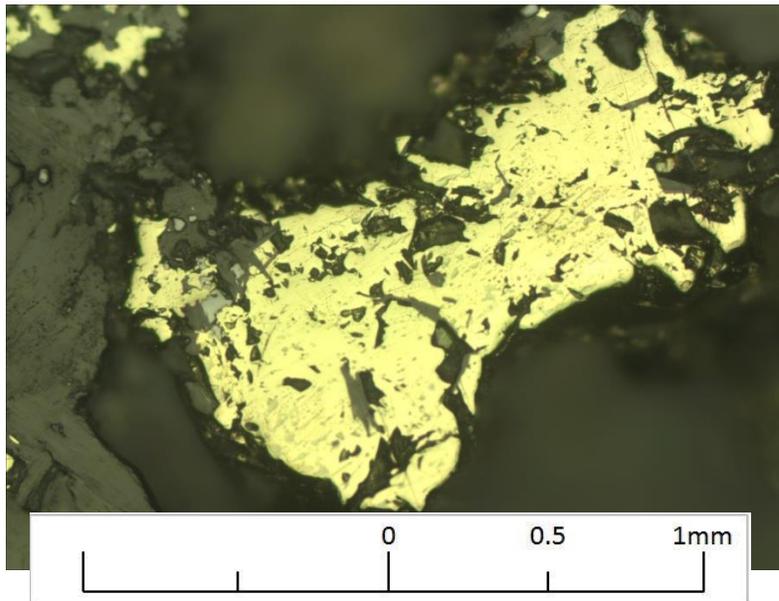


Microfotografía 1

Luz transmitida - nicoles paralelos y cruzados - 10x10

Aspecto general de la roca. Pórfido feldespático con alteración biotítica débil-moderada, y fílica sobrepuesta. Arreglo de cuarzo-sericita en matriz, mientras que feldespatos sericitizados. Parches de arcillas.

Microfotografías

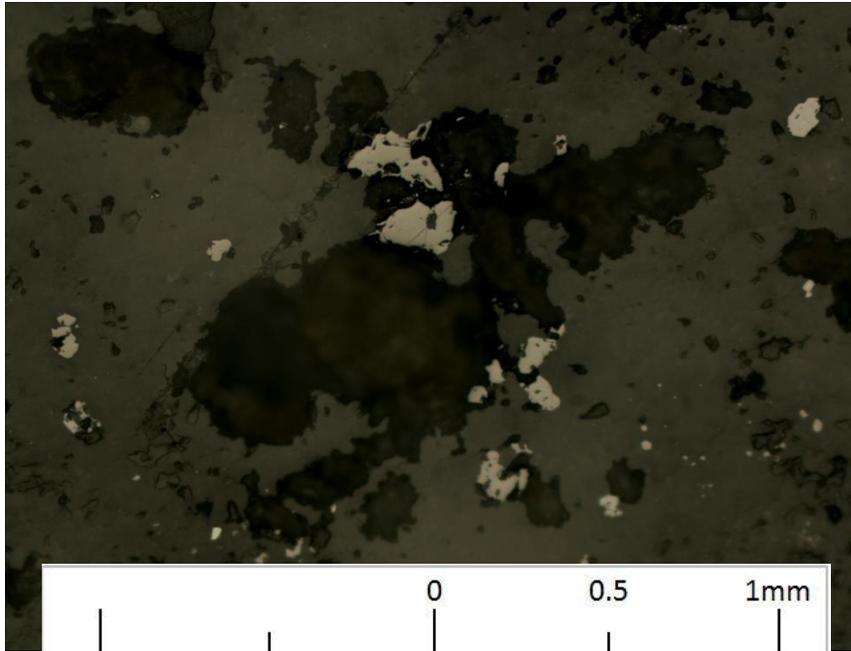


Microfotografía 2

Luz reflejada - nicoles paralelos - aumento 10x10

Mineralización diseminada de Cpy y trazas de Hm. Bordes bien definidos, pero complejos, especialmente en asociación con Bt-Chl. Se espera buena liberación por el tamaño de la partícula, pero liberación moderada en los bordes.

Microfotografías



Microfotografía 3

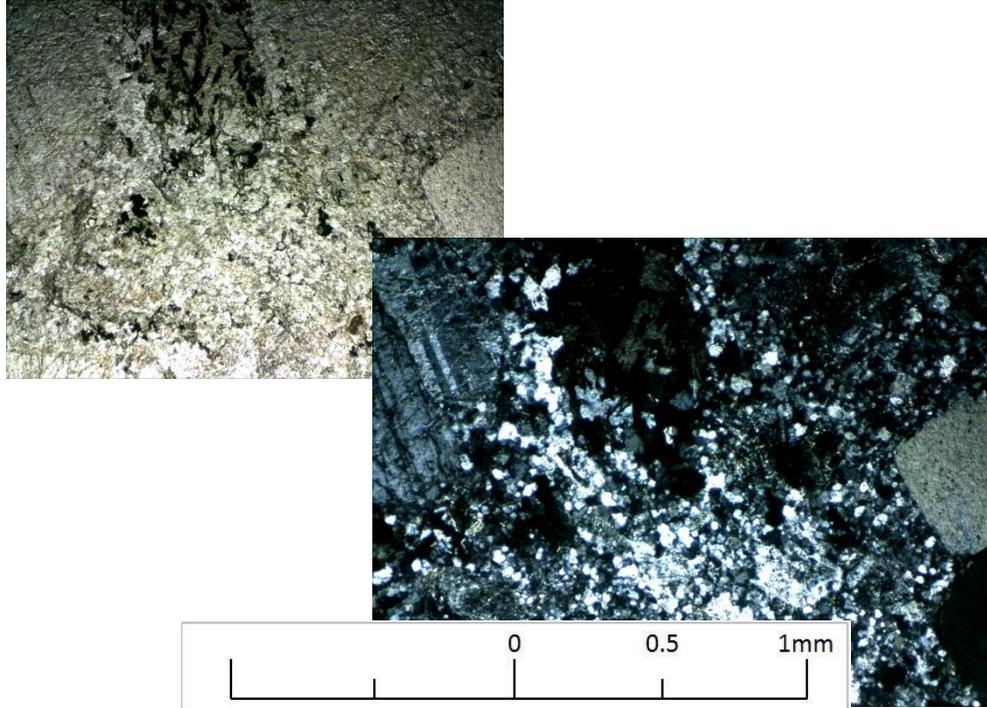
Luz reflejada - nicoles paralelos - aumento 10x10

Mineralización de Hm-Mgt diseminada fina.

Descripción Petrográfica		Muestra: EN-0112
Clasificación petrográfica		
Pórfido Dacítico		
Textura		
Textura porfídica (75% cxs < 0.2 mm, 25% cxs entre 0.2 y 10 mm)		
Descripción microscópica general		
<p>Pórfido dacítico de textura porfídica. Se aprecian los feldespatos, en su mayoría ortoclasa, pero también plagioclasas, con tamaños de hasta 1 cm, se encuentran reemplazadas parcial y selectivamente por sericita-arcillas y escasas biotitas y cloritas. La masa fundamental está recrystalizada a un arreglo de biotita-clorita y cuarzo microcristalino. Las biotitas son anhedrales y en tinte amarillo, sin clivaje, mientras que las cloritas son subhedrales y con clivaje marcado y están reemplazando las biotitas y ocasionalmente las ortoclasas. Se observan ortoclasas compactamente reemplazados con clorita. Las vetillas (% del total de la roca) son de 3 tipos: (a) biotita +- arcillas, con espesores hasta 0.2 mm, sin halo; (b) desconocido, con espesores hasta 0.2 mm; (c) cuarzo</p>		
Componentes minerales		
%	Mineral	Observaciones
40	Cuarzo	
20	Feldespatos	Ortoclasa y Plagioclasa
10	Sericita	Reemplazando feldespatos
7	Biotita	En matriz y asociada a feldespatos
8	Clorita	Reemplazando Biotita, Ortoclasas y en matriz
10	Arcillas	Reemplazando feldespatos y subordinada en vetillas
5	Opacos	Diseminado y en vetillas
Alteración		
Tipo	Minerales	Intensidad
Clorítica	Clorita +- Biotita	Moderada
Argílica	Arcillas	Moderada
Fílica	Sericita-Cuarzo	Débil

Minerales opacos		Total =	5 %
%	Mineral	Modo ocurrencia	
3	Pirita	Diseminado, Vetillas	
2	Calcopirita	Diseminado, Vetillas	
tr	Hematita		

Microfotografías

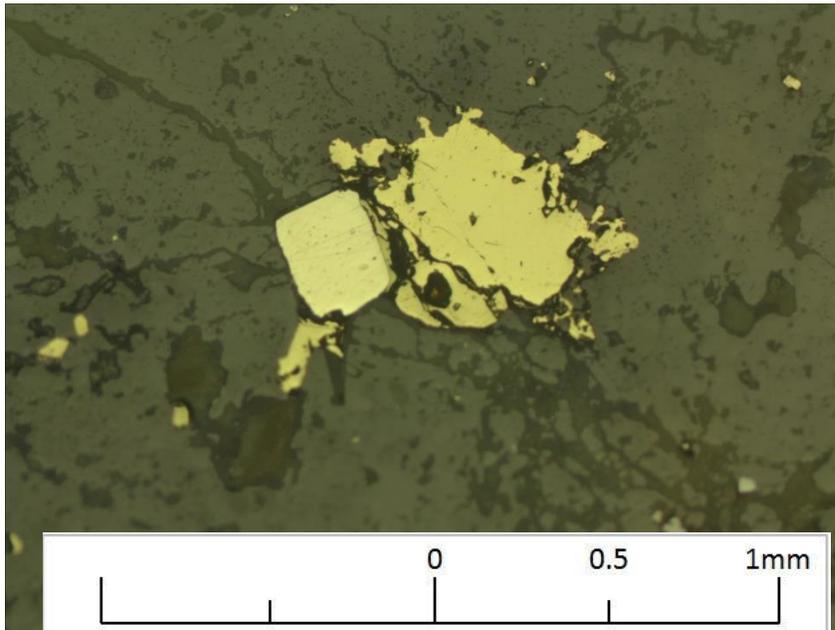


Microfotografía 1

Luz transmitida - nicoles paralelos y cruzados - 10x10

Aspecto general de la roca. Pórfido dacítico con alteración Clorítica, alteración fílica débil y argílica moderada sobrepuesta. En la imagen se aprecian fenocristales de Feld-K y plagioclasas con macla polisintética.

Microfotografías



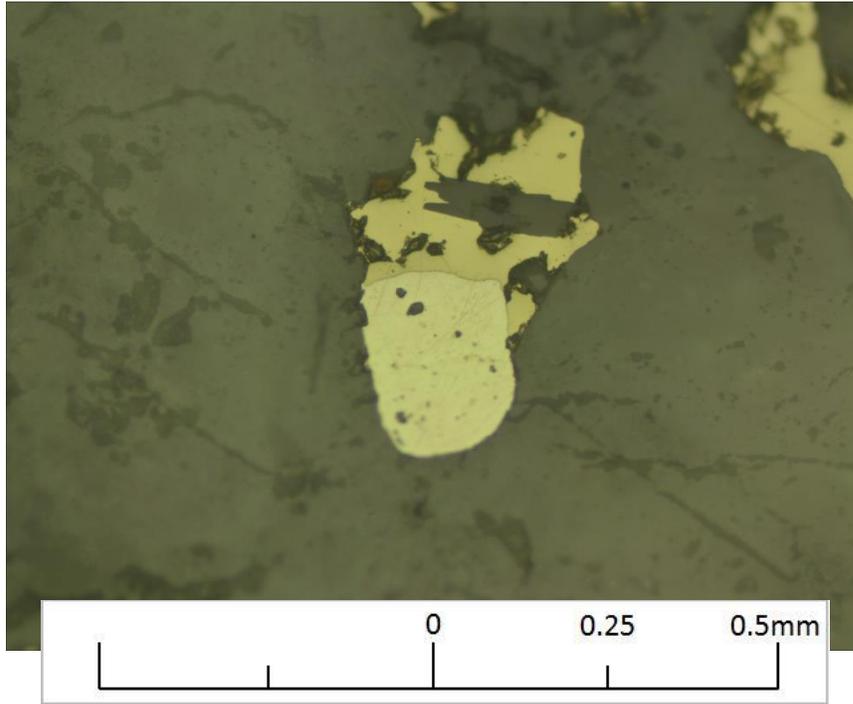
Microfotografía 2

Luz reflejada - nicoles paralelos - aumento 10x10

Mineralización diseminada de Cpy-Py. Cpy en asociación lateral con Py, mediante bordes simples y bien definidos. Cpy con bordes simples a aserrados y bien definidos contra silicatos. Se espera liberación

media. Escasos minerales de Hm.

Microfotografías



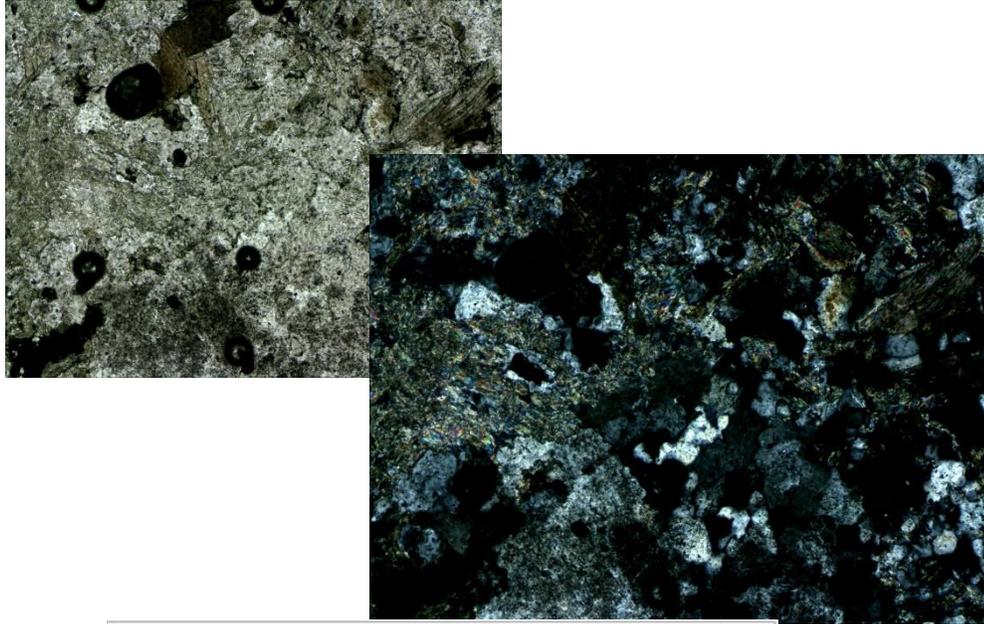
Microfotografía 3

Luz reflejada - nicols paralelos - aumento 20x10

Mineralización diseminada de Cpy-Py. Cpy en asociación lateral con Py, mediante bordes simples y bien definidos. Cpy con bordes simples y bien definidos contra silicatos. Se espera liberación media-alta.

Descripción Petrográfica		Muestra: EN-0113
Clasificación petrográfica		
Pórfido Dacítico con alteración Clorítica y Fílica		
Textura		
Textura Porfídica (80% cxs < 0.2 mm, 20% cxs entre 0.2 y 10 mm)		
Descripción microscópica general		
Pórfido dacítico con textura porfídica. Los feldespatos son de ortoclasa y plagioclasa, con tamaños hasta 5 mm. Se observan ortoclasas compactamente reemplazadas por clorita y subordinadamente biotita, mientras que otros con argilización y reemplazo parcial de clorita. Se observan plagioclasas parcialmente reemplazadas por sericita +- arcillas y albita en fracturas. Algunas plagioclasas con borde de sobrecrecimiento (Albita?). Se observan cristales redondeados de cuarzo de hasta 10 mm (ojitos de cuarzo). La matriz está con un arreglo microcristalino de cuarzo y sericita/arcillas subordinados. Las vetillas (1% del total de la muestra) son de cuarzo-opacos, con espesores hasta 1 mm, sin halo.		
Componentes minerales		
%	Mineral	Observaciones
30	Cuarzo	
20	Feldespatos	Ortoclasa y Plagioclasa
10	Sericita	Reemplazando selectivamente plagioclasas +- ortoclasa
12	Clorita	Reemplazando ortoclasa y en matriz
10	Arcillas	Reemplazando selectivamente a feldespatos
3	Opacos	Diseminados y vetillas
Alteración		
Tipo	Minerales	Intensidad
Clorítica	Clorita	Moderada
Albítica	Albita, reemplazando plagioclasas + sobrecrecimiento	Débil
Fílica	Sericita, Cuarzo	Moderada
Minerales opacos		Total = 3 %
%	Mineral	Modo ocurrencia
2	Pirita	Diseminado y Vetillas
1	Calcopirita	Diseminado y Vetillas
tr	Hematita	
tr	Magnetita	

Microfotografías

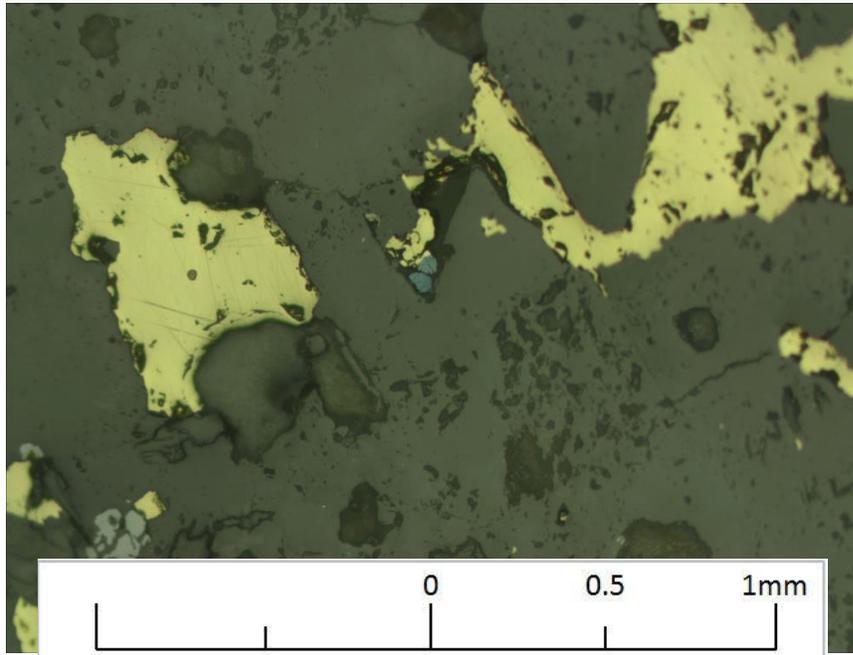


Microfotografía 1

Luz transmitida - nicoles paralelos y cruzados - 10x10

Aspecto general de la roca. Pórfido dacítico con alteración Clorítica-Albítica y Fílica moderadas.

Microfotografías

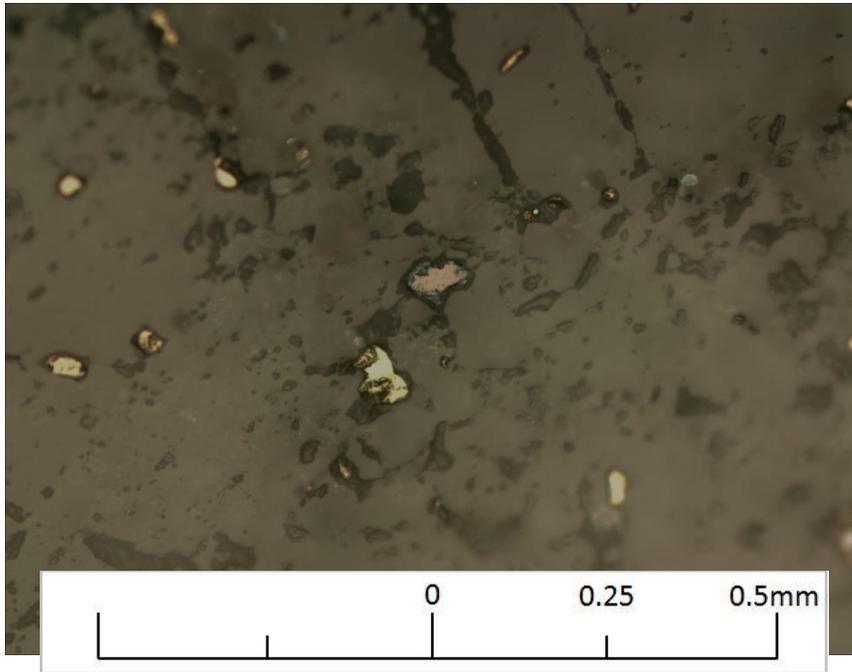


Microfotografía 2

Luz reflejada - nicoles paralelos - aumento 10x10

Mineralización diseminada de Cpy-Cc-Dig. Cpy con bordes simples a complejos, asociados a silicatos-cuarzo. Cc-Dig asociadas a Cpy, con bordes simples y bien definidos. Se espera buena liberación de los sulfuros de Cu, con molienda al tamaño de la partícula. Escasos mxs de Esf (en Cpy) y Mgt-Hm.

Microfotografías



Microfotografía 3

Luz reflejada - nicoles paralelos - aumento 20x10

Mineralización diseminada de Cpy-Bn-Cc. Cc en bordes de Bn, con bordes complejos, de asociación lateral, pero buena definición contra silicatos. Cpy con bordes simples-complejos contra silicatos. Se espera liberación deficiente, a menos que la molienda se lleve a menos que el tamaño de partícula.