



UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
DEPARTAMENTO CIENCIAS DE LA TIERRA



**CARACTERIZACIÓN DE ESPECIES
RECUPERABLES EN EL PROCESO DE
CONCENTRACIÓN, CODELCO-DIVISIÓN EL
TENIENTE, REGIÓN DEL LIBERTADOR
BERNARDO O'HIGGINS, CHILE.**

Memoria para optar al Título de Geólogo

Enrique Esteban Crisóstomo Toledo

Profesor Patrocinante: Dr. Oscar Jerez Riveros
Profesional Guía: MSc. Ludovina Burgos Ramírez
Profesores Comisión: MSc. Abraham González Martínez
MSc. Liubow González Martínez

Concepción, 2019



*A los que siempre estuvieron ahí:
familia, amigos y naturaleza*

ÍNDICE

	Página
RESUMEN	
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. GENERALIDADES	1
1.2. OBJETIVOS	3
1.2.1. OBJETIVO GENERAL	3
1.2.2. OBJETIVO ESPECÍFICO	3
1.3. UBICACIÓN Y ACCESO	4
1.4. FISIOGRAFÍA	5
1.5. METODOLOGÍA DE TRABAJO	6
1.5.1. ETAPA DE GABINETE I	6
1.5.2. ETAPA DE TERRENO	6
1.5.3. ETAPA DE GABINETE II	6
1.6. TRABAJOS ANTERIORES	6
1.7. AGRADECIMIENTOS	9
2. ANTECEDENTES GEOLÓGICOS	11
2.1. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL	11
2.1.1. ROCAS ESTRATIFICADAS	12
2.1.2. ROCAS INTRUSIVAS	14
2.1.3. ESTRUCTURAS	15
2.2. MARCO GEOLÓGICO DISTRITAL	16
2.2.1. LITOLOGÍAS	18
2.2.2. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL DEL DEPÓSITO	22
2.2.3. ALTERACIÓN Y MINERALIZACIÓN	24
3. GEOLOGÍA Y METALURGIA	27
3.1. INTRODUCCIÓN	27
3.2. CONCEPTOS BÁSICOS	27
3.3. PROCESO DE CONCENTRACIÓN	29
3.4. LIBERACIÓN Y FLOTABILIDAD DE PARTÍCULAS	30
3.5. TAMAÑO DE PARTÍCULAS	32
3.6. ASOCIACIÓN MINERAL	34
4. SECTORES PRODUCTIVOS Y PROYECTOS EN ESTUDIO	35
4.1. GENERALIDADES	35
4.2. SECTORES PRODUCTIVOS/PROYECTOS	37
5. CARACTERIZACIÓN GEOMETALÚRGICA Y MINERALÓGICA	39
5.1. INTRODUCCIÓN	39
5.2. ANTECEDENTES Y CONSIDERACIONES	39
5.2.1. BASE DE DATOS	39
5.2.2. RECUPERACIÓN POR ESPECIE MINERAL	40
5.2.3. BALANCE DE MASAS	43

5.2.4. RANGOS DE RECUPERACIÓN MINERAL PARA LA DIVISIÓN EL TENIENTE	45
5.2.5. ESTADÍSTICA EXPLORATORIA DE DATOS	48
5.3. METODOLOGÍA	49
5.3.1. SELECCIÓN DE MUESTRAS GEOMETALÚRGICAS	49
5.3.2. PRUEBAS METALÚRGICAS DE FLOTACIÓN	51
5.3.3. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA	54
5.3.4. ANÁLISIS MINERALÓGICO DE MUESTRAS GEOMETALÚRGICAS	54
5.3.5. DEPURACIÓN DE LA BASE DE DATOS	59
6. ANÁLISIS Y RESULTADOS	63
6.1. ANÁLISIS GLOBAL	63
6.1.1. CALCOPIRITA	63
6.1.2. BORNITA	68
6.2. ANÁLISIS Y RESULTADOS POR SECTOR PRODUCTIVO/PROYECTO	73
6.2.1. SECTOR PRODUCTIVO DACITA	73
6.2.1.1. CALCOPIRITA	73
6.2.1.2. BORNITA	78
6.2.2. SECTOR PRODUCTIVO RENO	82
6.2.2.1. CALCOPIRITA	82
6.2.2.2. BORNITA	86
6.2.3. PROYECTO ANDESITA	90
6.2.3.1. CALCOPIRITA	90
6.2.3.2. BORNITA	94
6.2.4. PROYECTO RECURSOS NORTE	98
6.2.4.1. CALCOPIRITA	98
6.2.4.2. BORNITA	102
6.2.5. SECTOR PRODUCTIVO ESMERALDA	106
6.2.5.1. CALCOPIRITA	106
6.2.5.2. BORNITA	110
6.2.6. PROYECTO DIAMANTE	114
6.2.6.1. CALCOPIRITA	114
6.2.6.2. BORNITA	118
6.2.7. PROYECTO EXTENSIÓN SUR ESMERALDA	122
6.2.7.1. CALCOPIRITA	122
6.2.7.2. BORNITA	126
6.2.8. SECTOR PRODUCTIVO DIABLO REGIMIENTO	130
6.2.8.1. CALCOPIRITA	130
6.2.8.2. BORNITA	134
6.2.9. SECTOR PRODUCTIVO PACÍFICO SUPERIOR	138
6.2.9.1. CALCOPIRITA	138
6.2.9.2. BORNITA	142
6.3. ANÁLISIS ESPACIAL DE ZONAS DE RECUPERACIÓN MINERAL	145
6.4. ANÁLISIS ESPACIAL DE ALTERACIONES Y LITOLOGÍA	148

6.4.1. GENERALIDADES	148
6.4.2. ZONA NORTE	151
6.4.3. ZONA SUR ESTE	153
6.4.4. ZONA OESTE	155
7. DISCUSIONES	157
8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	175
9. REFERENCIAS	178

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. 1. Esquema de sectores productivos de la mina subterránea	2
1. 2. Mapa ubicación de Mina El Teniente	4
1. 3. Tramos de la carretera del cobre desde Rancagua al yacimiento El Teniente .	5
2. 1. Mapa geológico regional de la zona cordillerana chileno-argentina central ...	11
2. 2. Mapa y esquema estructural	16
2. 3. Mapa geológico del yacimiento El Teniente	17
2. 4. Zona de Falla El Teniente (ZFT)	23
3. 1. Esquema de celda de flotación espumante	29
3. 2. Esquema del grado de liberación de partículas y su expresión cuantitativa	30
3. 3. Grados de liberación de partículas	31
3. 4. Hidrofobicidad de partículas valiosas	32
3. 5. Esquema del tamaño de partículas	32
3. 6. Asociación mineral de partículas	34
4. 1. Esquema de sectores productivos de la mina subterránea	35
4. 2. Mapa de los sectores productivos y proyectos DET	36
5. 1. Mapa de distribución de muestras de sondajes estudiadas en la DET	40
5. 2. Esquema general de un concentrador por flotación <i>rougher</i>	41
5. 3. Errores relativos de las recuperaciones totales del equipo y totales con <i>null values</i>	42
5. 4. Cantidad de valores negativos por parámetro mineralógico	42
5. 5. Gráfica circular del total de valores negativos con respecto al total de la data	43
5. 6. Esquema del balance en masas para un ensayo de flotación <i>rougher</i>	44
5. 7. Correlación entre recuperaciones con factor de masas y sin factor de masas para calcopirita	45
5. 8. Correlación entre recuperaciones con factor de masas y sin factor de masas para bornita	45
5. 9. Estadística descriptiva de las recuperaciones minerales de compuestos mensuales	47
5. 10. Representatividad de sulfuros de cobre en la alimentación a proceso	47
5. 11. Gráficos de densidad (izquierda) y de probabilidad normal (derecha) por especie mineral según sus recuperaciones	48
5. 12. Gráfica de recuperación en porcentaje en peso de sulfuros de cobre	49
5. 13. Registro fotográfico de muestra geometalúrgica de 12 m	50
5. 14. Celda de flotación WEMCO utilizada para las pruebas geometalúrgicas de flotación.....	52

5.	15.	Horno de secado y muestra seca después del secado	53
5.	16.	Esquema del proceso de toma de información para las muestras de cabeza-concentrado-relave	53
5.	17.	Diagrama de funcionamiento del QEMSCAN®	55
5.	18.	Equipo QEMSCAN® del laboratorio SGS	55
5.	19.	Fotografías de briqueta finales	56
5.	20.	Recuento de datos por parámetro filtrado	57
5.	21.	Ejemplo de reporte de imagen de asociación mineral	58
5.	22.	Gráfica circular de la data utilizada	59
5.	23.	Recuento de datos por parámetro filtrado	60
5.	24.	Diagrama esquemático del cruce de información de ambas tablas de datos	60
5.	25.	Recuento de datos por parámetro filtrado para data final	61
5.	26.	Gráfico de cantidad de datos por sector productivo/proyecto	62
5.	27.	Gráfica resumen de la proporción total de datos desestimados <i>versus</i> el total de datos	62
6.	1.	Gráfico de distribución de especies de cobre <i>versus</i> % recuperación	63
6.	2.	Gráfica de recuperación de calcopirita según sector productivo/proyecto	64
6.	3.	Gráfica de distribución de recuperación de calcopirita <i>versus</i> litología	65
6.	4.	Gráfica de recuperación por litologías para la calcopirita	65
6.	5.	Distribución de calcopirita según diferentes rangos de grado de liberación <i>versus</i> porcentaje de recuperación	66
6.	6.	Distribución de calcopirita según asociación mineral <i>versus</i> porcentaje de recuperación	67
6.	7.	Distribución de calcopirita según tipo de filosilicato <i>versus</i> % de recuperación	67
6.	8.	Distribución de calcopirita según rangos de tamaño <i>versus</i> porcentaje de recuperación	68
6.	9.	Gráfica de recuperación de bornita según sector productivo/proyecto	69
6.	10.	Gráficos de distribución de recuperación de bornita <i>versus</i> litología	70
6.	11.	Gráfica de recuperación por litologías para la bornita	70
6.	12.	Distribución de bornita según diferentes rangos de grado de liberación <i>versus</i> porcentaje de recuperación	71
6.	13.	Distribución de bornita según asociación mineral <i>versus</i> porcentaje de recuperación	72
6.	14.	Distribución de bornita según tipo de filosilicato <i>versus</i> porcentaje de recuperación	72
6.	15.	Distribución de bornita según rangos de tamaño <i>versus</i> % de recuperación	73
6.	16.	Grados de liberación de calcopirita para el sector Dacita	74
6.	17.	Recuperaciones por asociaciones minerales para calcopirita en el sector Dacita	75
6.	18.	Tamaños de calcopirita para el sector Dacita	77
6.	19.	Recuperación de calcopirita por unidad litológica para el sector Dacita	78
6.	20.	Grados de liberación de bornita para el sector Dacita	79
6.	21.	Recuperaciones por asociaciones minerales para bornita en el sector Dacita .	80
6.	22.	Tamaños de bornita para el sector Dacita	81
6.	23.	Recuperación de bornita por unidad litológica para el sector Dacita	82
6.	24.	Grados de liberación de calcopirita para el sector RENO	83

6. 25.	Recuperaciones por asociaciones minerales para calcopirita en el sector RENO	84
6. 26.	Tamaños de calcopirita para el sector RENO	85
6. 27.	Recuperación de calcopirita por unidad litológica para el sector RENO	86
6. 28.	Grados de liberación de bornita para el sector RENO	87
6. 29.	Recuperaciones por asociaciones minerales para bornita en el sector RENO .	88
6. 30.	Tamaños de bornita para el sector RENO	89
6. 31.	Recuperación de bornita por unidad litológica para el sector RENO	90
6. 32.	Grados de liberación de calcopirita para el proyecto Andesita	91
6. 33.	Recuperaciones por asociaciones minerales para calcopirita en el proyecto Andesita	92
6. 34.	Tamaños de calcopirita para el proyecto Andesita	93
6. 35.	Recuperación de calcopirita por unidad litológica para el proyecto Andesita	94
6. 36.	Grados de liberación de bornita para el proyecto Andesita	95
6. 37.	Recuperaciones por asociaciones minerales para bornita en el proyecto Andesita	96
6. 38.	Tamaños de bornita para el proyecto Andesita	97
6. 39.	Recuperación de bornita por unidad litológica para el proyecto Andesita	98
6. 40.	Grados de liberación de calcopirita para el proyecto Recursos Norte	99
6. 41.	Recuperaciones por asociaciones minerales para calcopirita en el proyecto Recursos Norte	100
6. 42.	Tamaños de calcopirita para el proyecto Recursos Norte	101
6. 43.	Recuperación de calcopirita por unidad litológica para el proyecto Recursos Norte	102
6. 44.	Grados de liberación de bornita para el proyecto Recursos Norte	103
6. 45.	Recuperaciones por asociaciones minerales para bornita en el proyecto Recursos Norte	104
6. 46.	Tamaños de bornita para el proyecto Recursos Norte	105
6. 47.	Recuperación de bornita por unidad litológica para el proyecto Recursos Norte	106
6. 48.	Grados de liberación de calcopirita para el sector Esmeralda	107
6. 49.	Recuperaciones por asociaciones minerales para calcopirita en el sector Esmeralda	108
6. 50.	Tamaños de calcopirita para el sector Esmeralda	109
6. 51.	Recuperación de calcopirita por unidad litológica para el sector Esmeralda ..	110
6. 52.	Grados de liberación de bornita para el sector Esmeralda	111
6. 53.	Recuperaciones por asociaciones minerales para bornita en el sector Esmeralda	112
6. 54.	Tamaños de bornita para el sector Esmeralda	113
6. 55.	Recuperación de bornita por unidad litológica para el sector Esmeralda	114
6. 56.	Grados de liberación de calcopirita para el proyecto Diamante	115
6. 57.	Recuperaciones por asociaciones minerales para calcopirita en el proyecto Diamante	116
6. 58.	Tamaños de calcopirita para el sector Esmeralda	117
6. 59.	Recuperación de calcopirita por unidad litológica para el proyecto Diamante	118
6. 60.	Grados de liberación de bornita para el proyecto Diamante	119

6. 61.	Recuperaciones por asociaciones minerales para bornita en el sector Esmeralda	120
6. 62.	Tamaños de bornita para el sector Esmeralda	121
6. 63.	Recuperación de bornita por unidad litológica para el proyecto Diamante	122
6. 64.	Grados de liberación de calcopirita para el proyecto Extensión Sur Esmeralda	122
6. 65.	Recuperaciones por asociaciones minerales para calcopirita en el proyecto Extensión Sur Esmeralda	124
6. 66.	Tamaños de calcopirita para el sector Extensión Sur Esmeralda	125
6. 67.	Recuperación de calcopirita por unidad litológica para el proyecto Extensión Sur Esmeralda	126
6. 68.	Grados de liberación de bornita para el proyecto Extensión Sur Esmeralda ...	127
6. 69.	Recuperaciones por asociaciones minerales para bornita en el proyecto Extensión Sur Esmeralda	128
6. 70.	Tamaños de bornita para el proyecto Extensión Sur Esmeralda	129
6. 71.	Recuperación de bornita por unidad litológica para el proyecto Extensión Sur Esmeralda	129
6. 72.	Grados de liberación de calcopirita para el sector Diablo Regimiento	130
6. 73.	Recuperaciones por asociaciones minerales para calcopirita en el sector Diablo Regimiento	131
6. 74.	Tamaños de calcopirita para el sector Diablo Regimiento	132
6. 75.	Recuperación de calcopirita por unidad litológica para el sector Diablo Regimiento	133
6. 76.	Grados de liberación de bornita para el sector Diablo Regimiento	134
6. 77.	Recuperaciones por asociaciones minerales para bornita en el sector Diablo Regimiento	135
6. 78.	Tamaños de bornita para el sector Diablo Regimiento	136
6. 79.	Recuperación de bornita por unidad litológica para el sector Diablo Regimiento	137
6. 80.	Grados de liberación de calcopirita para el sector Pacífico Superior	138
6. 81.	Recuperaciones por asociaciones minerales para calcopirita en el sector Pacífico Superior	139
6. 82.	Tamaños de calcopirita para el sector Pacífico Superior	140
6. 83.	Recuperación de calcopirita por unidad litológica para el sector Pacífico Superior	141
6. 84.	Grados de liberación de bornita para el sector Pacífico Superior	142
6. 85.	Recuperaciones por asociaciones minerales para bornita en el sector Pacífico Superior	143
6. 86.	Tamaños de bornita para el sector Pacífico Superior	144
6. 87.	Recuperación de bornita por unidad litológica para el sector Pacífico Superior	145
6. 88.	Gráficos de densidad (izquierda) y <i>QQPlot</i> (derecha) para las fases de calcopirita y bornita	146
6. 89.	Distribución espacial de las recuperaciones de calcopirita	147
6. 90.	Distribución espacial de las recuperaciones de bornita	148
6. 91.	Alteraciones de alta intensidad y litologías dominantes en el yacimiento	149
6. 92.	Zonas de alta y baja recuperación relacionados a litologías en el yacimiento	151
6. 93.	Alteraciones del sector norte del yacimiento (calcopirita)	152

6.	94.	Alteraciones del sector norte del yacimiento (bornita)	152
6.	95.	Alteraciones del sector sureste del yacimiento (calcopirita)	153
6.	96.	Alteración media del sector sureste del yacimiento	154
6.	97.	Alteraciones del sector sureste del yacimiento (bornita)	154
6.	98.	Alteraciones del sector oeste del yacimiento (calcopirita)	155
6.	99.	Alteraciones del sector oeste del yacimiento (bornita)	156
7.	1.	Diagrama de líneas comparativas entre las recuperaciones altas y bajas de calcopirita por grado de liberación	157
7.	2.	Diagrama de líneas comparativas entre las recuperaciones altas y bajas de calcopirita por asociación mineral	158
7.	3.	Imágenes QEMSCAN® de asociación mineral de calcopirita con partículas complejas para zonas de alta y baja recuperación	159
7.	4.	Diagrama de líneas comparativas entre las recuperaciones altas y bajas de calcopirita por tamaño	160
7.	5.	Diagramas resumen de parámetros con mayor potencial de recuperación y pérdidas de calcopirita	161
7.	6.	Diagrama de líneas comparativas entre las recuperaciones altas y bajas de bornita por grado de liberación	164
7.	7.	Diagrama de líneas comparativas entre las recuperaciones altas y bajas de calcopirita por asociación mineral	165
7.	8.	Imágenes QEMSCAN® de asociación mineral de bornita con partículas complejas para zonas de alta y baja recuperación	166
7.	9.	Diagrama de líneas comparativas entre las recuperaciones altas y bajas de bornita por tamaño	167
7.	10.	Diagramas resumen de parámetros con mayor potencial de recuperación y pérdidas de bornita	168
7.	11.	Recuperaciones de calcopirita y bornita <i>versus</i> alteraciones	172
7.	12.	Gráficos esquemáticos del quiebre en los tamaños de calcopirita	174

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
2. 1. Clasificación estructuras maestras mina El Teniente	23
5. 1. Ejemplo de valores negativos para rangos específicos de los parámetros de estudio	41
5. 2. Variables estadísticas de las masas de concentrado y relave para una data representativa de 240 muestras	44
5. 3. Pesos típicos de tramos de sondajes de 12 m	51
5. 4. Ejemplo de reporte de liberación	57
5. 5. Ejemplo de reporte de asociación mineral para calcopirita	58
5. 6. Ejemplo de reporte de tamaño para calcopirita.....	58
6. 1. Representatividad de los rangos de grado de liberación de calcopirita para el sector Dacita y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación	75
6. 2. Representatividad de las asociaciones minerales con calcopirita para el sector Dacita y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación	76

6.	3.	Representatividad de la asociación mineral de filosilicatos con calcopirita para el sector productivo Dacita y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación	76
6.	4.	Representatividad de los rangos de tamaño de calcopirita para el sector Dacita y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación	77
6.	5.	Representatividad de los rangos de grado de liberación de bornita para el sector Dacita y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación	79
6.	6.	Representatividad de las asociaciones minerales con bornita para el sector Dacita y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación	80
6.	7.	Representatividad de los rangos de tamaño de bornita para el sector Dacita y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación	81
6.	8.	Representatividad de los rangos de grado de liberación de calcopirita para el sector RENO y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación	83
6.	9.	Representatividad de las asociaciones minerales con calcopirita para el sector RENO y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación	84
6.	10.	Representatividad de la asociación mineral de filosilicatos con calcopirita para el sector productivo RENO y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación	85
6.	11.	Representatividad de los rangos de tamaño de calcopirita para el sector RENO y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación	86
6.	12.	Representatividad de los grados de liberación de calcopirita para el sector RENO y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación	87
6.	13.	Representatividad de la asociación mineral de bornita para el sector RENO y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación	88
6.	14.	Representatividad de los rangos de tamaño de bornita para el sector RENO y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación	89
6.	15.	Representatividad de los rangos de grado de liberación de calcopirita para el proyecto Andesita y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación	91
6.	16.	Representatividad de la asociación mineral de calcopirita para el proyecto Andesita y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación	92
6.	17.	Representatividad de la asociación mineral de filosilicatos con calcopirita para el proyecto Andesita y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación	93
6.	18.	Representatividad de los rangos de tamaño de calcopirita para el proyecto Andesita y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación	94
6.	19.	Representatividad de los rangos de grado de liberación de bornita para el proyecto Andesita y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación	95
6.	20.	Representatividad de la asociación mineral de bornita para el proyecto Andesita y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación	96
6.	21.	Representatividad de la asociación mineral de filosilicatos con bornita para el proyecto Andesita y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación	97

6.	22.	Representatividad de los rangos de tamaño de bornita para el proyecto Andesita y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación	98
6.	23.	Representatividad de los rangos de grado de liberación de calcopirita para el proyecto Recursos Norte y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación	99
6.	24.	Representatividad de la asociación mineral de calcopirita para el proyecto Recursos Norte y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación	100
6.	25.	Representatividad de la asociación mineral de filosilicatos con calcopirita para el proyecto Recursos Norte y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación	101
6.	26.	Representatividad de los rangos de tamaño de calcopirita para el proyecto Recursos Norte y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación	102
6.	27.	Representatividad de los rangos de grado de liberación de bornita para el proyecto Recursos Norte y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación	103
6.	28.	Representatividad de la asociación mineral de bornita para el proyecto Recursos Norte y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación	104
6.	29.	Representatividad de los rangos de tamaño de bornita para el proyecto Recursos Norte y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación	105
6.	30.	Representatividad de los rangos de tamaño de calcopirita para el sector Esmeralda y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación ...	107
6.	31.	Representatividad de la asociación mineral de calcopirita para el sector Esmeralda y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación ...	108
6.	32.	Representatividad de los rangos de tamaño de calcopirita para el sector Esmeralda y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación ...	109
6.	33.	Representatividad de los rangos de grado de liberación de bornita para el sector Esmeralda y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación	111
6.	34.	Representatividad de la asociación mineral de bornita para el sector Esmeralda y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación	113
6.	35.	Representatividad de los rangos de tamaño de bornita para el sector Esmeralda y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación	114
6.	36.	Representatividad de los rangos de grado de liberación de calcopirita para el proyecto Diamante y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación	116
6.	37.	Representatividad de la asociación mineral de calcopirita para el proyecto Diamante y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación	117
6.	38.	Representatividad de la asociación mineral de filosilicatos con calcopirita para el proyecto Diamante y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación	117

6.	39.	Representatividad de los rangos de tamaño de calcopirita para el proyecto Diamante y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación	118
6.	40.	Representatividad de los rangos de grado de liberación de bornita para el proyecto Diamante y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación	120
6.	41.	Representatividad de la asociación mineral de bornita para el proyecto Diamante y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación ...	121
6.	42.	Representatividad de los rangos de tamaño de bornita para el proyecto Diamante y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación ...	122
6.	43.	Representatividad de los rangos de grado de liberación de calcopirita para el proyecto Extensión Sur Esmeralda y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación	123
6.	44.	Representatividad de la asociación mineral de calcopirita para el proyecto Extensión Sur Esmeralda y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación	124
6.	45.	Representatividad de la asociación mineral de filosilicatos con calcopirita para el proyecto Extensión Sur Esmeralda y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación	125
6.	46.	Representatividad de los rangos de tamaño de calcopirita para el proyecto Extensión Sur Esmeralda y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación	126
6.	47.	Representatividad de los rangos de grado de liberación de bornita para el proyecto Extensión Sur Esmeralda y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación	128
6.	48.	Representatividad de la asociación mineral de bornita para el proyecto Extensión Sur Esmeralda y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación	129
6.	49.	Representatividad de los rangos de tamaño de bornita para el proyecto Extensión Sur Esmeralda y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación	130
6.	50.	Representatividad de la asociación mineral de calcopirita para el sector Diablo Regimiento y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación	131
6.	51.	Representatividad de los rangos de grado de liberación de calcopirita para el sector Diablo Regimiento y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación	132
6.	52.	Representatividad de los rangos de tamaño de calcopirita para el sector Diablo Regimiento y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación	133
6.	53.	Representatividad de la asociación mineral de bornita para el sector Diablo Regimiento y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación	135
6.	54.	Representatividad de los rangos de grado de liberación de bornita para el sector Diablo Regimiento y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación	136

6.	55.	Representatividad de los rangos de tamaño de bornita para el sector Diablo Regimiento y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación	137
6.	56.	Representatividad de la asociación mineral de calcopirita para el sector Pacífico Superior y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación	139
6.	57.	Representatividad de los rangos de grado de liberación de calcopirita para el sector Pacífico Superior y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación	140
6.	58.	Representatividad de los rangos de tamaño de calcopirita para el sector Pacífico Superior y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación	141
6.	59.	Representatividad de los rangos de grado de liberación de bornita para el sector Pacífico Superior y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación	143
6.	60.	Representatividad de la asociación mineral de bornita para el sector Pacífico Superior y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación	144
6.	61.	Representatividad de los rangos de tamaño de bornita para el sector Pacífico Superior y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación	145
6.	62.	Clasificación de los rangos de recuperación mineral	146

ÍNDICE DE FOTOMICROGRAFÍAS

Fotografía	Página
7. 1. Ejemplos de altas recuperaciones de calcopirita ocluida en muestra de concentrado	162
7. 2. Ejemplos de altas recuperaciones de calcopirita fina en muestra de concentrado	163
7. 3. Ejemplos de altas recuperaciones de bornita ocluida en muestra de concentrado	169
7. 4. Asociaciones con otros sulfuros de cobre en muestras de concentrado	170
7. 5. Ejemplos de altas recuperaciones de bornita fina en muestra de concentrado	170
7. 6. Ejemplos de pérdidas en muestras de relave	171

RESUMEN

La mina subterránea El Teniente, corresponde a una mega depósito de cobre, al cual se le asocian diferentes eventos hidrotermales, junto a controles estructurales que favorecieron la mineralización. La mineralogía de mena se encuentra en torno a un cuerpo de brecha de forma “cónica” y se estima en más de 18.000 Mt con ley de 0,57% CuT de recursos geológicos, lo que garantiza la explotación por más de 100 años a los actuales niveles de extracción.

El presente trabajo se encuentra bajo el alero de la unidad de Geometalurgia y Mineralogía de la División El Teniente, y viene aportar nueva información sobre las variables intrínsecas de los minerales de cobre, las cuales se utilizarán para establecer mayores fundamentos en las actualizaciones de los modelos geometalúrgicos *in situ* de recuperación de Cu. El estudio presenta los resultados de variables mineralógicas de muestras geometalúrgicas, de nueve sectores productivos/proyectos y tiene como objetivo caracterizar las diferentes fases minerales de cobre (mena primaria), que ejercen una mayor injerencia en el proceso de flotación *rougher* y de esta forma sentar las bases de dominios de recuperación mineral, además de la identificación de las posibles pérdidas generadas por las características propias de los minerales.

La caracterización mineralógica es realizada con mineralogía automatizada QEMSCAN® que considera el contenido modal, grado de liberación, tamaño y asociación mineral de los sulfuros de cobre, analizadas en briquetas geometalúrgicas de laboratorio, las cuales contemplan información de alimentación (cabeza), concentrado y relave (cola). Los conceptos grado de liberación y tamaño, se han presentado en El Teniente, desde el año 2018, en función de los parámetros mineralúrgicos de “mena recuperable por grado de liberación” y “mena recuperable por tamaño”, siendo de gran necesidad fijar los valores específicos de estos parámetros, para obtener la mayor recuperación mineral. La metodología de cálculo adoptada para la recuperación mineral por especie, fue la que se utiliza en la división. En la actualidad, los valores determinados bajo estos parámetros corresponden a un 50% de grado de liberación y un tamaño de grano mayor a 12 micrones, pero estas estimaciones carecen de sustento empírico.

En el yacimiento existen dominios de alta recuperación mineral, caracterizados por poseer grados de liberación y tamaños mayores, con significativas asociaciones con otros sulfuros de cobre y menos eventos hidrotermales superpuestos. Los dominios de recuperación mineral tienen cierta relación con las litologías del yacimiento, constatando que las zonas de alta recuperación de calcopirita se asocian a los pórfidos (Dacita y Diorita), mientras que las de bornita concierne al Complejo Máfico El Teniente, con una relación espacial en torno a la Brecha Braden.

El grado de liberación y tamaño de grano son los parámetros más influyentes en términos de recuperación mineral, mientras que, en términos de pérdidas, el tamaño posee una mayor relevancia. Asimismo, las asociaciones de estas fases minerales con otros sulfuros de cobre favorecen el proceso de recuperación. Los valores óptimos de recuperación para una alimentación, corresponden a partículas con grados de liberación mayor a un 80% para la calcopirita y bornita, y tamaños entre 38-212 μm y 24-212 μm para la calcopirita y bornita respectivamente. Por otra parte, las pérdidas de calcopirita se acentúan en grados de liberación bajo el 30% y tamaños menores a 38 μm , mientras que, para la bornita, las pérdidas se asocian a liberaciones bajo el 10% y tamaños menores a 24 μm .

1 INTRODUCCIÓN

1.1 GENERALIDADES

Desde 1976 la Corporación Nacional del Cobre de Chile (CODELCO-CHILE) cuenta con el dominio del yacimiento El Teniente, el cual corresponde a un extenso depósito de Cu-Mo de tipo mixto, que consta de explotación subterránea y rajo abierto, y es considerada la mina subterránea más grande del mundo. Tiene un área aproximada de 3 km² y una profundidad de más de 1 km, donde sus producciones son en torno a las 137 mil toneladas diarias de mineral. Posee un complejo integrado por mina, planta concentradora y fundición, además de un mineral con ley de cobre promedio de 0,97% CuT (concentración del metal con valor comercial por tonelada).

Durante la Colonia el yacimiento era conocido con el nombre de “La Fortuna”, a contar de 1760 se le denominó como la mina “del Teniente” por su descubridor, quien sería un oficial del ejército español fugitivo de la justicia. Este se habría escondido en una cueva donde divisó las vetas del mineral, encontrando así este depósito. La gran minería del cobre comienza en 1905 con la empresa norteamericana Braden Copper Company, la cual habilitó y activó las operaciones del yacimiento, obteniendo en su primer año 250 toneladas diarias de mineral tratado.

El yacimiento está conformado por un cuerpo geológico que tiene la forma de un cono o pipa, el cual no posee valor económico y es donde se encuentra la infraestructura principal (Figura 1.1.). Sin embargo, alrededor de éste, hay importante mineral, estimado en más de 18.000 Mt con ley de 0,57 CuT de recursos geológicos, lo que garantiza la explotación por más de 100 años a los actuales niveles de extracción.

El depósito está hospedado dentro de la franja metalogénica del Mioceno superior-Plioceno inferior, ubicada en los Andes Centrales entre los 32 y 34° S. Corresponde a la franja más oriental, y su vez, la más joven. El Teniente, en particular posee una edad de 6,3 – 4,4 Ma. Este cinturón neógeno además incluye otros depósitos supergigantes como lo son Río Blanco-Los Bronces y Los Pelambres, que lo convierten en el segundo más importante del país.

El método de explotación de la mina subterránea, en un principio fue mediante el hundimiento de bloques (*block caving*), posteriormente se actualizó al hundimiento de paneles (*panel caving*) (Rojas *et al.*, 2001), que consiste en utilizar el peso que ejerce el cerro para facilitar el quiebre y posterior hundimiento del techo, provocando así una estructura de colapso en la

superficie (cavidad Teniente). Esta modificación en el método de explotación se debe a la migración de los avances en la explotación de la roca secundaria a primaria, que se encuentra a mayor profundidad y posee una mayor dureza.

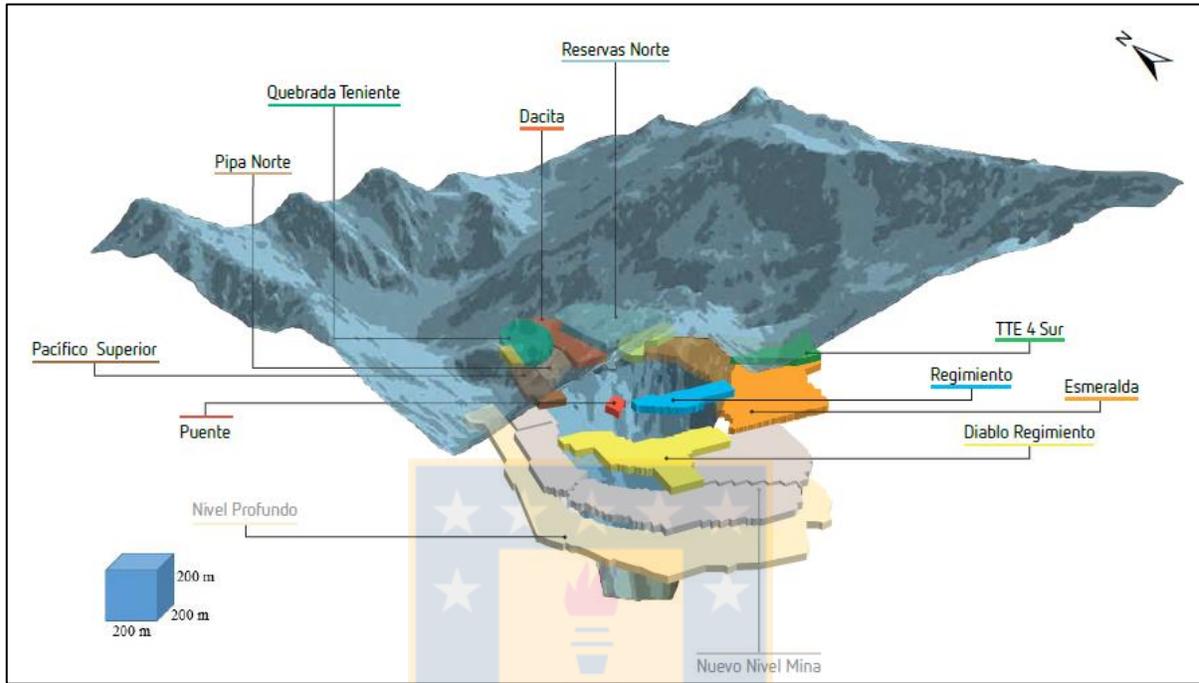


Figura 1.1: Esquema de sectores productivos de la mina subterránea. Modificado de CODELCO (2011).

La División El Teniente (DET) consta de 3 líneas de procesamiento mineral. El material proveniente del rajo alimenta a la Línea Sewell, mientras que el material de la mina subterránea es procesado en la Planta SAG (Semi-autógena) y en la Convencional. La Línea SAG, es alimentada por los sectores productivos Esmeralda (ES), Reservas Norte (NN), Pipa Norte (PN), Sur Andes Pipa (SP), Pilar Norte (PI), Panel Reno (PR) y Panel Esmeralda (PE), los cuales, al no poseer chancador en interior mina, generan como producto material grueso para el proceso de Planta. Mientras que la Línea de proceso de mineral Convencional, recibe el material proveniente de los sectores productivos Diablo Regimiento (DR), Dacita (DT) y Pacífico Superior (PS), los cuales, poseen un chancador primario en interior mina, que les permite generar como producto mineral fino antes de llegar a la Línea de Planta.

En el año 2017 se obtuvo una producción de 464.328 t de cobre, dispuesto como concentrado de Cu, cátodos y ánodos. Como resultado del procesamiento, desde el mineral también se obtiene 6.683 t métricas de molibdeno (CODELCO, 2017a). Se suman además del proyecto Nuevo Nivel Mina, 2.020 Mt métricas de reservas, con una ley media de cobre de 0,86% y de molibdeno de 0,022%.

El área de Geometalurgia de la DET se encuentra bajo el alero de la Gerencia de Minas y Desarrollo (GRMD), y tiene como propósito reducir significativamente el impacto de la incertidumbre espacial en el planeamiento de la mina, debido a que documenta la variabilidad en un depósito, minimizando el riesgo del proyecto al permitir lo siguiente: documentación rigurosa del impacto geológico y mineralógico en el rendimiento metalúrgico y de molienda; diseño de planta que reconoce la variabilidad inherente al depósito; pronóstico de los parámetros de producción tales como capacidad de procesamiento de la planta, ley, recuperación, P80 y ley del concentrado trimestral o anualmente, con un intervalo de confianza estadístico; optimización del rendimiento de planta con respecto a la variabilidad del mineral; minería efectiva del mineral a lo largo de la vida de la mina; recurso de mina y rendimiento de planta optimizados, entre otros.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

Caracterizar la recuperación mineral de especies sulfuradas de cobre en pruebas de flotación *rougher* de muestras geometalúrgicas *in situ*, pertenecientes a sectores productivos y proyectos de la División El Teniente-CODELCO. Para alcanzar este objetivo, se estudiarán parámetros mineralógicos como grados de liberación, asociación mineral y tamaños de las partículas recuperables. Junto con esto, se determinará como impactan estas variables mineralógicas en la generación de pérdidas de sulfuros de cobre en el proceso de concentración.

1.2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

- Definir el conjunto de sulfuros de cobre relevantes para ser estudiados.
- Confeccionar base de datos con los parámetros en estudio.
- Evaluar el comportamiento de los sectores productivos/proyectos con respecto a la recuperación mineral.
- Definir intervalos óptimos de recuperación mineral para los parámetros de grados de liberación, asociación mineral y tamaño.
- Identificar y definir variables que generan pérdidas en el proceso de concentración.
- Establecer dominios de alta y baja recuperación en el yacimiento.

1.3 UBICACIÓN Y ACCESOS

El depósito El Teniente se ubica en la Cordillera de los Andes de Chile Central, adyacente a la localidad de Sewell, 40 km al NE de la ciudad de Rancagua, a 72 km al SE de la ciudad de Santiago (Figura 1.2.). Específicamente se encuentra entre las coordenadas U.T.M 6.230.064-6.220.582 N y 373.651-377.597 E, Región del Libertador Bernardo O'Higgins en la Provincia de Cachapoal, aproximadamente a cotas de 2.000 y 3.200 m s.n.m.

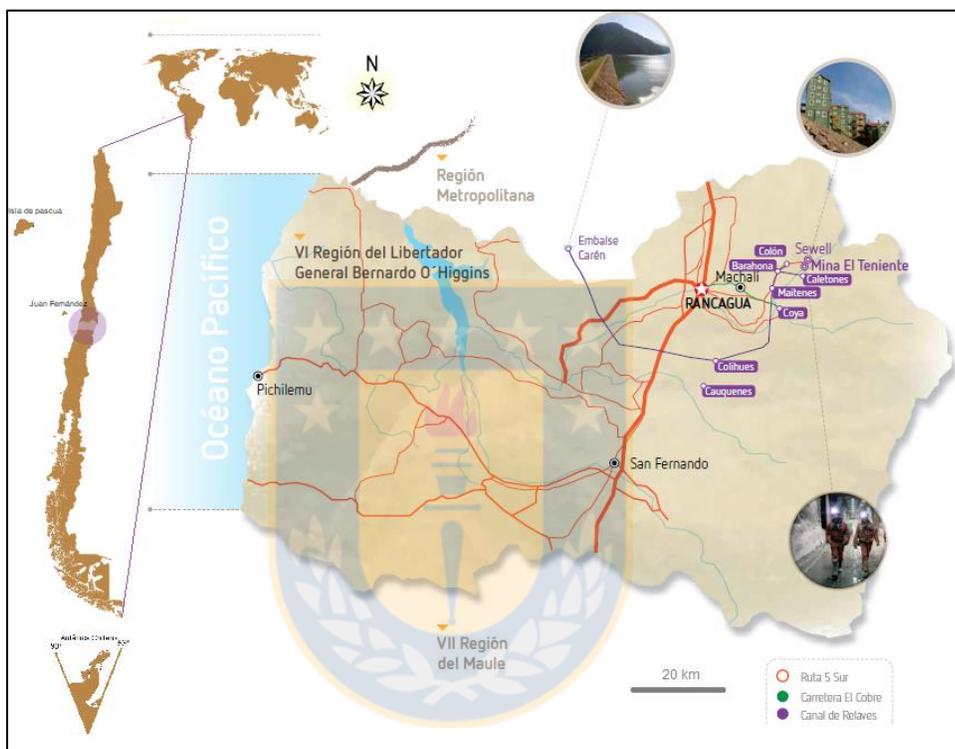


Figura 1.2: Mapa ubicación de Mina El Teniente. Modificado de CODELCO (2011).

La Carretera del Cobre Eduardo Frei Montalva (Ruta H-25) es el único camino que conecta la ciudad de Rancagua con la localidad de Sewell. Para acceder a la mina existen cinco tramos (Figura 1.3.), el primero de uso público hasta el primer control de acceso (Barrera Maitenes). Posteriormente, los demás tramos son caminos privados con circulación restringida.

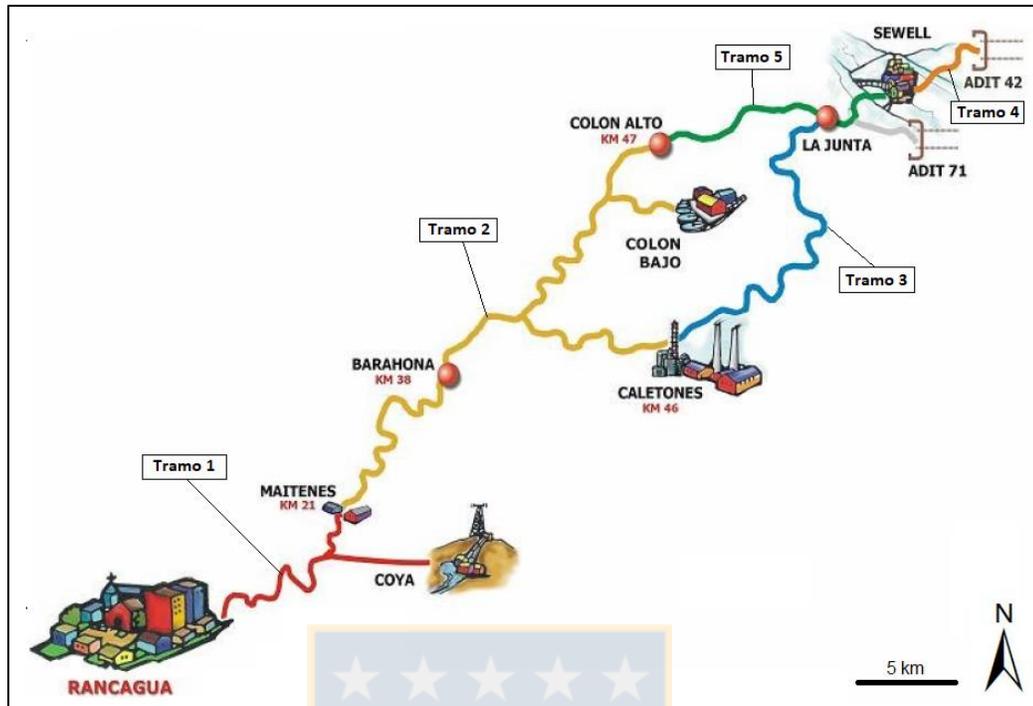


Figura 1.3: Tramos de la carretera del cobre desde Rancagua al yacimiento El Teniente.

Modificado de CODELCO (2017b)

1.4 FISIOGRAFÍA

La zona central de Chile, comprendida entre las latitudes sur $33^{\circ}40'$ y $34^{\circ}30'$ se encuentra conformada por las siguientes unidades morfológicas de oeste a este: Planicie Litoral, Cordillera de la Costa, Depresión Central, Precordillera y Cordillera de los Andes. Las unidades más relevantes al yacimiento El Teniente, por cercanía, es la Depresión Central, correspondiente a un valle de elongación norte-sur, de relieve relativamente plano, donde se ha depositado sedimentos aluviales cuaternarios erosionados de rocas provenientes de zonas elevadas ubicadas al este y productos volcánicos plio-cuaternario. La Precordillera se alza suavemente a partir del valle central alcanzando alturas no mayores a los 1.200 m s.n.m., para dar paso a la Cordillera de los Andes, que es la unidad más oriental de Chile en esta región. Las cumbres más altas alcanzan entre 3.000 y 4.000 m s.n.m. para esta localidad y su relieve está estrechamente relacionado a fallas.

1.5 METODOLOGÍA DE TRABAJO

1.5.1 ETAPA DE GABINETE I

Revisión bibliográfica del yacimiento El Teniente que incluyen publicaciones, informes internos, protocolos, trabajos anteriores, entre otros. Además, del análisis y procesamiento de la data mediante el lenguaje de programación *Python* y *Excel*.

1.5.2 ETAPA DE TERRENO

Consistió en la revisión de sondajes de diferentes sectores productivos y proyectos en la bodega de geología ubicada en Colón Bajo, visita a dependencias de S.G.S en Santiago, para comprender los análisis y protocolos de laboratorio para las muestras de Geometalurgia utilizadas en el estudio.

1.5.3 ETAPA DE GABINETE II

Generación de resultados e interpretación del análisis estadístico de la data mineralógica de las muestras de sondajes. Estudio óptico de briquetas para validación de datos.

1.6 TRABAJOS ANTERIORES

Uno de los primeros aportes al pórfido cuprífero El Teniente es realizado por Yeatman (1911), el cuál calculó reservas, indicando una ley media de 2,85% de Cu y 10,5 Mt de mineral. Posteriormente se han realizado numerosos trabajos, de los cuales se resumen los más relevantes.

LINGREN & BASTIN (1922) a través de una publicación en *Economic Geology*, dieron a conocer la primera interpretación geológica del yacimiento El Teniente. Proponen una teoría acerca de la formación del complejo de la Brecha Braden, en la que se habría originado por una gran explosión causada por el alzamiento progresivo de un cuerpo de roca parcialmente fundida que se habría encontrado bajo el conducto actual.

HOWELL Y MOLLY (1960) estudiaron durante tres años el yacimiento El Teniente, para proponer una nueva interpretación geológica de este. Reconocieron al Pórfido Teniente como cuerpos relativamente pequeños que estarían asociados al periodo principal de mineralización de cobre. Reconocieron, además, cinco etapas paragenéticas de mineralización metálica y de ganga, y realizaron una caracterización de la mineralización hipógena de las zonas de oxidación y de enriquecimiento secundario.

OSSANDÓN (1974) en su memoria de título estudió la petrografía primaria y de alteración del Pórfido Teniente, definiendo dos variedades texturales: Pórfido Dacítico Idiomorfo y Pórfido Dacítico Hipidiomorfo rico en feldespatos potásicos. Además, reconoció la distribución zonal de los minerales de alteración y sulfuros hipógenos en este cuerpo.

CAMUS (1975) actualiza los conocimientos que se tenían de El Teniente, describiendo la mineralogía de alteración de vetillas y propone un nuevo modelo genético. Reconoce tres tipos de alteración hipógena (potásica, cuarzo-sericita y propilítica) y una fase de alteración supérgena (argílica).

VILLALOBOS (1975) estudia las rocas máficas del sector este del yacimiento, caracterizando sus alteraciones y mineralización. Definió zonas de mineralización y de alteración las cuales las relacionó con el emplazamiento del Pórfido Teniente, Chimenea Braden y apófisis de diorita.

ZÚÑIGA (1982) en su trabajo de título caracteriza la alteración y mineralización hipógena en el sector oeste del yacimiento, definiendo las características de las etapas tardimagmática, hidrotermal principal e hidrotermal tardía. Con los datos anteriores propone un modelo sobre la evolución geológica de la mineralización y alteración.

CUADRA (1986) realiza dataciones K-Ar en biotitas interior mina y áreas circundantes, concluyendo que el evento principal de alteración ocurrió entre 4,6-4,7 Ma y estaría relacionado al Pórfido Teniente. La actividad magmática se extendería hasta los 3,8 Ma por la intrusión de diques máficos.

GARRIDO (1992) propuso que el yacimiento se encuentra emplazado en una compleja zona de fallas de carácter distrital, estableciendo un modelo geológico estructural y geotécnico del yacimiento.

RABBIA ET AL. (2000) Sobre la base de las características petrográficas, mineralógicas, geoquímicas e isotópicas de los intrusivos La Huifa y Sewell, concluyeron que son análogos a la suite del tipo TTG (trondhjemitita-tonalita-granodiorita) y representan un magma del tipo adakítico rico en aluminio.

SKEWES ET AL. (2002) reclasifica a El Teniente como un mega depósito de brechas, en lugar de un mega pórfido cuprífero sobre la base de nuevos mapeos y diferencias con yacimientos de la misma franja. Propone una función redistributiva de la mineralización, poniendo énfasis en la implicancia genética.

MAKSAEV ET AL. (2004) combina diferentes métodos isotópicos (U-Pb, Re-Os, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ y trazas de fisión) para demostrar cinco episodios de intrusiones félsicas en un corto periodo de tiempo (aproximadamente de 6,3-4,3 Ma).

CANNELL ET AL. (2005) aportan nueva información sobre la geología, mineralización, alteración y evolución estructural del yacimiento El Teniente. Lo definen como un típico depósito del tipo pórfido cuprífero de Cu y Mo, caracterizado por múltiples fases de intrusiones félsicas. Estudian las vetillas, de las cuales reconocen 14 etapas diferenciadas, con excepción de la primera y últimas dos etapas, todas contienen sulfuros de Cu y Fe, indicando que cada etapa paragenética tuvo cobre en sus fluidos y que además existieron las condiciones para la precipitación de sulfuros portadores de cobre. El desarrollo de vetillas ha sido consecuencia de un estrés local y no del regional, y que estaría influenciado por un cuerpo de magma profundo.

GUZMÁN (2006) presenta un modelamiento geometalúrgico para Teniente Fase III. Informe interno.

STERN ET AL. (2010) estudió la evolución magmática de El Teniente, reafirmando la relación genética de los intrusivos con la mineralización del depósito. Encontraron que las brechas magmáticas-hidrotermales y las secuencias de intrusivos félsicos fueron derivados de un gran sistema magmático que involucró al menos $>600 \text{ km}^3$ de magma durante un periodo de $\sim 3 \text{ Ma}$. Además, el sistema se habría desarrollado al menos a una profundidad de 4 km bajo la superficie.

MEJÍAS ET AL. (2014) proponen una metodología de trabajo para capturar información sobre características químicas, geológicas y metalúrgicas similares, para agrupar áreas denominadas “zonas de calidad mineral”.

BURGOS (2015), estudia la influencia de parámetros geológicos-metalúrgicos para la realización de un modelo geometalúrgico para la recuperación *rougher* de cobre.

GIL (2018), en su memoria de título realiza un estudio del impacto de las variables mineralógicas, respecto de muestras geometalúrgicas y mezclas favorables y desfavorables, que influyen en el proceso de flotación *rougher* del sector Esmeralda, División El Teniente, CODELCO.

ZÚÑIGA (2018) Caracteriza la distribución y ocurrencia de la molibdenita y su influencia en la recuperación de molibdeno en el yacimiento El Teniente, determinando mejores recuperaciones en las molibdenitas asociadas al evento tardimagmático.

1.7 AGRADECIMIENTOS

Me gustaría agradecer en estas líneas a las personas que fueron parte importante en este proceso de esfuerzo e investigación y que de alguna u otra forma, me ayudaron en escribir esta Memoria de Título.

El presente trabajo fue gracias a la confianza, guía y apoyo del Dr. Oscar Jerez y de mis profesionales guía Ludovina Burgos, Jefa de Unidad de Geometalurgia y Mineralogía y Karen Osorio de la División El Teniente-CODELCO, por lo que les agradezco profundamente. Asimismo, reconozco la gran oportunidad que me dio CODELCO en trabajar en sus dependencias con un gran equipo de trabajo conformado por Carolina Portilla, Alejandra Garrido, Carolina Becerra, Susana Fonseca y Carlos Guzmán que me aportaron con su vasta experiencia. Es necesario hacer una especial mención a Carolina Segovia y a Maribel Valdés, que, si no fuera por su irradiante felicidad, compañerismo y dedicación, nada hubiera sido igual. Junto con esto, agradezco sinceramente a Don René Padilla por compartir su experiencia, anécdotas e historias entorno al depósito, junto con la oportunidad de conocer la geología superficial de este. También a Don José Seguel y Andrés Maureira que me dieron la oportunidad de conocer la mina subterránea, yendo a los frentes de explotación. A ellos infinitas gracias.

La tutela y orientación de mis profesores de comisión profesor Abraham González y Liubow González, quienes dieron estructura y forma a los capítulos presentados. Se agradece su voluntad, paciencia y disposición.

En mi formación académica, en el departamento Ciencias de la Tierra de la Universidad de Concepción, hubo académicos que aportaron profundamente en mi formación científica y humana. Reconozco el aporte del Dr. Osvaldo Rabbia, quien me abrió el mundo de la geología económica y me apoyó en diferentes trabajos y congresos. También la contribución de Don Arturo Quinzio y Abraham González, por su guía y experiencias en los terrenos de campo, que sin ellos, no serían lo mismo. Al mismo tiempo agradecer al apoyo y buena compañía de Don Luis Vásquez y Gerardo Flores, personajes valiosos dentro del departamento, con una gran experiencia y voluntad en enseñar.

Los comentarios y aportes de mis compañeros memoristas Cristóbal Gaete y Sebastián Marambio, ayudaron a mejorar y a solucionar diferentes problemas que acontecieron en la investigación, no olvidando el apoyo moral y psicológico durante este proceso. Por esto y por mucho más, gracias.

En los seis años de mi formación académica como geólogo conté con la ayuda reiterada de compañeros de estudio y futuros colegas, que se transformaron en amigos de vida, como Joaquín Godoy, Sebastián Cabrera, José Sepúlveda y Nadia Jara. A ellos mis más sinceras gracias por ser parte de mi vida. También a mis amigos cercanos Valentina Espinoza, Claudio Schulz, Wladimir Acevedo, Ignacio Pavez, Javiera Jiménez, Diego Monares, Josefa Velásquez, Leslie Guajardo y Hugo García. Muchas gracias por su ayuda y excelentes momentos en la universidad. Además, agradezco a Claudia Oñate por su apoyo y guía en los primeros años de carrera.

Agradezco de corazón a mi familia por el apoyo incondicional que han tenido. Mi padre Antonio Crisóstomo Del Pedregal, mi madre María Toledo Rubilar, mi hermano Antonio Crisóstomo Toledo, mi abuela María Antonieta Del Pedregal y mi difunto abuelo Enrique Crisóstomo Gajardo. Siempre estarán en mí y los amo.

Finalmente agradezco a NAZCA *Student Chapter* de la Universidad de Concepción, por la facilitación de la licencia *Leapfrog Geo* y por el crecimiento profesional que me otorgó pertenecer y liderar el grupo.



2 ANTECEDENTES GEOLÓGICOS

2.1 MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

Potentes secuencias volcánicas intercaladas, en menor medida con rocas sedimentarias marinas y continentales yacen en el flanco occidental de la de la Cordillera de los Andes. Estas secuencias fueron depositadas desde el Triásico Superior y se encuentran afectada por cuerpos plutónicos de composición ácida a intermedia y cuerpos hipabisales cenozoicos (Figura 2.1.). Las unidades mesozoicas y cenozoicas, hasta el Mioceno-Plioceno, se distribuyen en franjas de dirección elongada norte-sur que, en términos generales, se hacen progresivamente más jóvenes hacia el oeste.

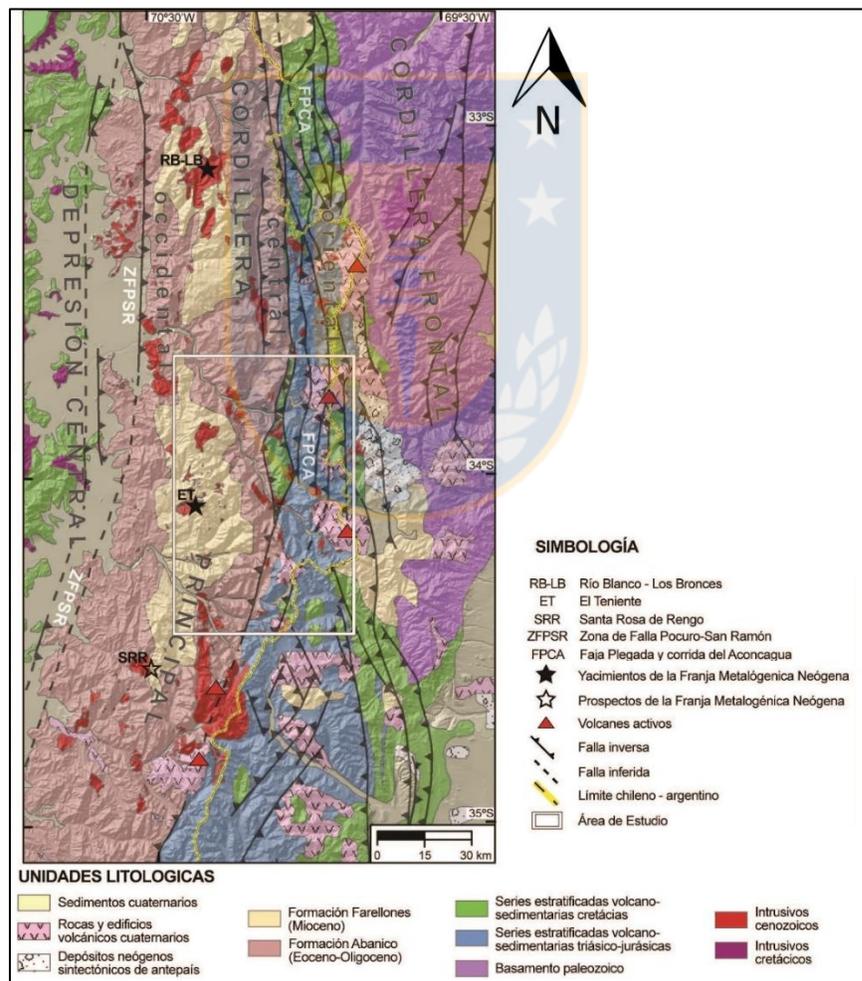


Figura 2.1: Mapa geológico regional de la zona cordillerana chileno-argentina central. Modificado de Muñoz, 2011.

2.1.1 ROCAS ESTRATIFICADAS

Formación Nacientes de Teno (Bajociano-Kimmeridgiano inferior): Klöhn (1960) define esta unidad como sedimentos marinos clásticos, organogénicos y químicos, con algunas intercalaciones de material piroclástico. Subyace de manera concordante a la Formación Río Damas y sobreyace discordantemente a los Estratos de Troncoso (Múñoz & Niemeyer, 1984; en Charrier *et al.*, 2007). Charrier (1973) define solamente dos miembros de los tres definidos en un principio por Klöhn (1960). El miembro superior Santa Elena y el miembro inferior Rinconada, el cual incluye los Estratos Inferiores propuestos por Klöhn (1960). El primero consiste principalmente por capas de yeso y anhidrita, con potencias de 500 a 600 m que disminuyen hacia el este. El segundo, detrítico y calcáreo, que presenta una potencia de 100 a 200 m (Charrier, 1973). El ambiente deposicional correspondería a una cuenca con episodios transgresivos en primera instancia y uno regresivo con un casi total aislamiento de la cuenca en relación al mar abierto, lo que se tradujo en una potente acumulación de evaporitas.

Formación Río Damas (Kimmeridgiano superior-Titoniano inferior): Corresponde a una potente serie continental, conformada por conglomerados y brechas de diversa composición, areniscas y sedimentos finos y abundantes intercalaciones de origen volcánico (lavas y piroclastos) que alcanzan una potencia de 3.000 m en su localidad tipo (valle del Río Damas) (Charrier, 1973). Sobreyace en concordancia a la Formación Nacientes de Teno e infrayace del mismo modo a la Formación Baños del Flaco. Las características de esta formación permiten interpretar que fue depositada en un ambiente continental bajo condiciones semi-desérticas con violentos aluviones esporádicos (Charrier, 1973) y representan el término del ciclo regresivo desarrollado en el trasarco a partir de Kimmeridgiano superior que concluye en el Titoniano inferior (Carvajal, 2015).

Formación Leñas-Espinoza (Kimmeridgiano superior-Titoniano inferior): Formación contemporánea a la Formación Río Damas y definida en un principio por Klöhn (1960). Corresponde a una serie detrítica inferior de carácter transgresivo y por un paquete calcáreo en la parte superior (Charrier, 1973). El espesor observado es de 1.500 m y su base es desconocida, aunque se sospecha que está concordantemente a la Formación Río Damas (Charrier, 1973). Infrayace en discordancia angular a la Formación Coya-Machalí.

Formación Baños del Flaco (Titoniano-Hauteriviano): Serie sedimentaria marina que aflora en la localidad de los Baños del Flaco, en el valle del Río Tinguiririca (Klöhn, 1960). Compuesta por calcarenitas de distinta granulometría y calcilutitas con abundantes fósiles, intercaladas con

rocas de origen detrítico y volcánico (conglomerados, brechas, areniscas, tobas y lavas). La base de la formación está constituida por el techo de la Formación Río Damas y Leñas-Espinoza y su techo lo conforman las areniscas rojas de la Formación Colimapu. En algunos sectores su techo se encuentra erosionado y es sobreyacido discordantemente por la Formación Coya-Machalí. Se estima una potencia promedio de 1.500 m. Regionalmente se aprecia una fuerte deformación de los estratos.

Formación Colimapu (Barremiano-Albiano): Klöhn (1960) define a esta formación como sedimentos rojizos continentales con intercalaciones de materiales piroclásticos y niveles discontinuos de yeso que afloran en la quebrada homónima, en la hoya superior del Río Maipo. Litológicamente predominan areniscas, brechas y conglomerados rojizos, que indican un ambiente árido, de poca profundidad y con una fuerte oxidación. Se intercalan capas de lavas andesíticas, calizas y capas de yeso. La formación presenta dos miembros, un miembro inferior de componentes sedimentarios (areniscas finas y calizas) y un miembro superior de rocas volcánicas (tobas, lapilli e ignimbritas), estos miembros tienen un espesor medio de 1.500 y 1.600 m respectivamente (Charrier, 1981). Se dispone concordantemente con la Formación Baños del Flaco y discordantemente con la Formación Coya-Machalí.

Formación Coya-Machalí (Eoceno superior-Mioceno inferior): Potente serie continental plegada y volcada que comprende lavas andesíticas, depósitos piroclásticos, sedimentos lacustres y algunas intercalaciones de basaltos y traquitas. Fue definida por Klöhn (1960) y es la unidad más antigua que aflora en el distrito El Teniente. Se distribuye según dos franjas de dirección norte-sur; una occidental y una oriental, de 1.900 m y 1.300 m de espesor respectivamente, las cuales se encuentran separadas por la Formación Farellones. La base de la formación se apoya discordantemente sobre las formaciones subyacentes y sobre su parte superior se disponen en discordancia la Formación Farellones (Charrier, 1973). La porción superior de la Formación Coya-Machalí es correlacionable con la Formación Abanico. Las rocas de esta unidad (ubicadas al sur de los 33,5° S) destacan por tener afinidad toleítica, mientras que los ubicados al norte (Formación Abanico) son predominantemente calcoalcalinas (Hollings *et al.*, 2005).

Formación Farellones (Mioceno superior): Formación definida por Klöhn (1960) como una potente serie volcánica con intercalaciones de sedimentos clásticos continentales. Litológicamente corresponden a coladas, brechas y tobas de composición riolítica, andesítica y basáltica, mientras las intercalaciones sedimentarias consisten en conglomerados, brechas, areniscas y limolitas

(Charrier, 1973). Comprende afloramientos continuos en una franja N-S de aproximadamente 24 km de ancho, que separa a las dos franjas de la Formación Coya-Machalí. Posee un espesor de más de 2.400 m y su límite superior corresponde a la superficie de erosión actual, alojando al depósito El Teniente. Sobreyace en discordancia angular estratos de la Formación Coya-Machalí e infrayace en algunos sectores en discordancia a Formación Colón-Coya (Charrier, 1973).

Formación Colón-Coya (Plioceno-Pleistoceno): Gómez (2001) propone a esta unidad como formación y la caracteriza por componerse por un conjunto de lahares de granulometría heterogénea, insertos en una matriz arcillo-cinerítica, con intercalaciones locales de piroclastos, ceniza, lavas andesíticas y gravas fluviales. Se dispone en discordancia sobre las formaciones Farellones y Coya-Machalí y el techo de la unidad corresponde a la actual superficie de erosión. La potencia varía entre algunos centímetros a 150 m.

Depósitos no consolidados (Cuaternario): Corresponden a depósitos fluviales, morrénicos y lacustres de tipo fluvioglacial que se disponen generalmente rellenando valles y/o niveles de terrazas.

2.1.2 ROCAS INTRUSIVAS

El magmatismo cenozoico de Chile Central está representado por los intrusivos asociados a las rocas volcánicas de las formaciones Abanico y Farellones, y por numerosas rocas ígneas posteriores dispersas a lo largo de la Cordillera Principal (Muñoz, 2011). Numerosos cuerpos de extensión restringida como *stocks*, diques y *sills* se disponen en orientación N-S, afectando a las formaciones del Mioceno Coya-Machalí y Farellones. Son rocas que petrográficamente corresponden a granitos, dioritas cuarcíferas, granodioritas, tonalitas y monzonitas cuarcíferas, siendo más comunes granodioritas de hornblenda y biotita, pórfidos dioríticos-andesíticos, monzonitas, monzodioritas y pórfidos dacíticos. Kurtz *et al.* (1997) distingue tres grupos de intrusivos en la región, dado sus características geoquímicas, edades y ubicación geográfica.

Plutones La Obra y Santa Rosa de Rengo (19,6-16,2 Ma): Grupo más occidental. Litológicamente corresponden a leucogranitos y granodioritas cuyas características geoquímicas son afines a las rocas de la Formación Coya-Machalí que intruye.

Complejo Plutónico Teniente (12,3-7,7 Ma): Este complejo incluye la mayor cantidad de plutones en el área, los cuales predominan composiciones granodioríticas. Basados en edades *plateau* en biotita se puede subdividir en dos sub grupos: El primero entre 13-11 Ma y el segundo

entre 9-7 Ma. La geoquímica muestra una relación con el Complejo Volcánico El Teniente o Formación Farellones, indicando una fuente en común (Kay *et al.*, 1995 en Kurtz *et al.*, 1997).

Complejo Plutónico Joven (6,6-5,5 Ma): Incluye a los plutones Jeria y Cruz de Piedra. Corresponden a granodioritas y químicamente distinguibles de los anteriores, indicando mayores aproximaciones a las rocas volcánicas jóvenes de la parte norte de la Zona Volcánica Sur.

La actividad magmática de la zona se extendería desde el Oligoceno superior al Mioceno superior, coincidiendo con los rangos de edad de las formaciones Abanico y Farellones (Kurtz *et al.*, 1997).

2.1.3 ESTRUCTURAS

Los rasgos geológicos de Chile central (33°S-39°S) estarían controlados en parte por estructuras regionales NW-SE y NNW-SSE heredadas de los eventos tectono-magmáticos Paleozoico-Mesozoico, las cuales habrían sufrido sucesivas reactivaciones durante el Meso-Cenozoico (Rivera & Cembrano, 2000). Tales estructuras marcarían los límites de los segmentos tectónicos dispuestos de manera oblicua a la cadena andina actual y movimientos laterales a lo largo de los mismos explicarían la distribución de las franjas de centros volcánicos e intrusivos Oligo-Mioceno que se reconocen en la zona (Rivera & Cembrano, 2000; Muñoz, 2011) (Figura. 2.2-a).

Un segundo juego N-S, el de mayor extensión, está formado por fallas que limitaron a los márgenes de la Cuenca de Abanico (cuenca de intraarco extensional y subsidente). Esto permitió el ascenso del material volcánico que la rellenó, originando estructuras paralelas de orientación aproximada N-S (Carvajal, 2015). Este sistema estructural, en el borde occidental, limita con la Depresión Central mediante un sistema de fallas inversas de vergencia oeste correspondiente a la Falla Pocuro-San Ramón (Rauld, 2002) y cercano al límite chileno-argentino, las unidades mesozoicas se encuentran afectadas por un sistema de fallas inversas de vergencia al este constituyendo la Faja Plegada y Corrida del Aconcagua (Giambiagi & Ramos, 2002). Localmente, en la zona de El Teniente, las estructuras mayores habrían sido el resultado de movimientos laterales a lo largo de una zona de transcurrencia sinistral N50°W, generando fracturas sintéticas sinestrales (tipo R) de orientación N60°W y antitéticas dextrales (tipo R') de orientación N50°E (Falcón y Rivera, 1998) (Figura. 2.2-b)

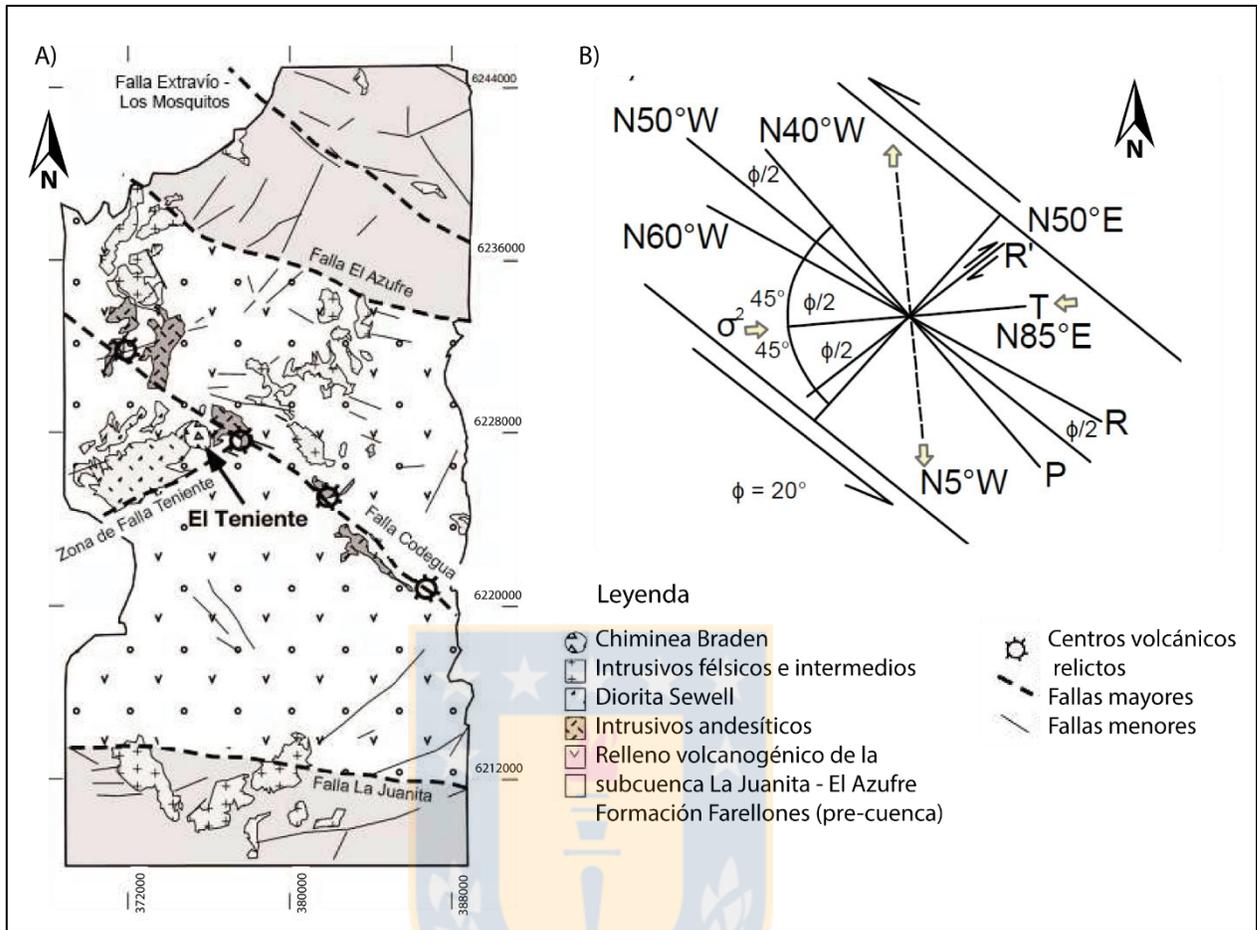


Figura 2.2: Mapa y esquema estructural. A) Estructuras mayores dominantes en la región de El Teniente, Cannell *et al.* (2005). B) Modelo de estructuras tipo Riedel para una zona de transcurrancia sinistral de rumbo N50°W que coincide con la Falla Codegua, Falcon & Rivera (1998). Imagen extraída de Carvajal (2015).

2.2 MARCO GEOLÓGICO DISTRITAL

El yacimiento de cobre y molibdeno de El Teniente es un pórfido cuprífero, en el cual la mineralización está alojada principalmente en un enrejado de vetillas y en forma diseminada en rocas sub-volcánicas de composición máfica, denominada Complejo Máfico El Teniente (CMET) (Figura 2.3), perteneciente a la Formación Farellones. Está asociado al emplazamiento de dos cuerpos intrusivos principales, denominados Pórfido Teniente y Stock Sewell, y de una compleja mega-estructura brechosa conocida como Chimenea Braden o Pipa Braden, que intruye a las unidades ya mencionadas (Cuadra, 1986). Además, existen cuerpos intrusivos menores y diques de lamprófidos que marcarían el fin de los eventos de mineralización sulfurada de cobre y molibdeno (Cuadra, 1986; Skewes *et al.*, 2002). Los cuerpos mineralizados presentarían una forma

aproximadamente triangular en planta, alargada hacia al norte, donde está centrado el Pórfido Teniente, y se extiende hacia el sureste dentro del Stock Sewell. Su parte central corresponde a la zona de baja ley, relacionada con la Chimenea Braden (Cuadra, 1986). Cuenta con un desarrollo de una zona de enriquecimiento secundario de aproximadamente 500 m de espesor, cuyos minerales de mena son calcosina, covelina, cobre nativo y cuprita, y una zona hipógena o primaria reconocida hasta unos 1.000 m bajo la superficie, con minerales de mena de calcopirita-bornita.

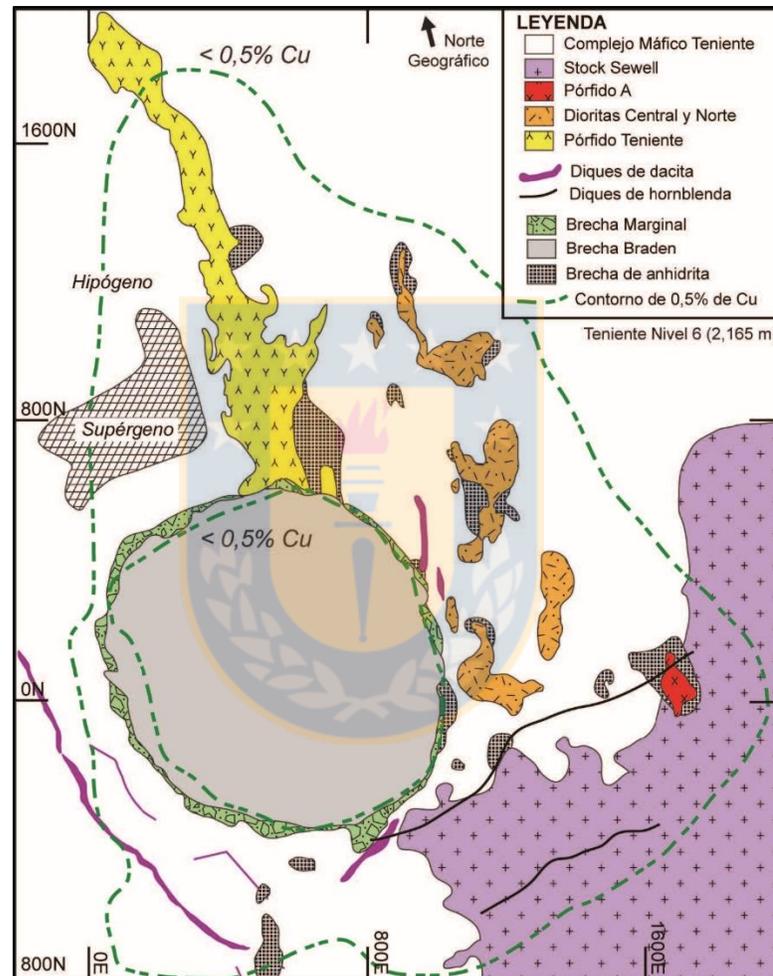


Figura 2.3: Mapa geológico del yacimiento El Teniente. Extraído de Cannel, 2004 en Muñoz, 2011.

2.2.1 LITOLOGÍAS

Complejo Volcánico Teniente (CVT): Corresponden a rocas extrusivas asignadas a la porción superior de la Formación Farellones, de edades entre 15,2 y 7,5 Ma (Skewes *et al.*, 2002). Son consideradas las rocas más antiguas que rodean el depósito de afinidades toleíticas a calcoalcalinas, de medio a alto K (Key *et al.*, 2005). Litológicamente son flujos lávicos de

composiciones andesíticas a basálticas intercalados con capas de piroclastos y aglomerados (Camus, 1975). Las andesitas, particularmente, son de textura porfídica con masa fundamental intergranular a pilotaxítica, localmente glomeroporfídica (Camus, 1975).

Complejo Máfico El Teniente (CMET): Estas rocas alojan el 80% de la mineralización de cobre en el yacimiento (Camus, 1975; Skewes *et al.*, 2002). Están fuertemente alteradas, brechizadas y mineralizadas, por lo que su petrología se encuentra bastante obliterada. A gran escala forman parte de un lacolito, el cual intruye a la Formación Farellones (Lindrgren & Bastin, 1922; Skewes *et al.*, 2002). Corresponden a rocas intrusivas de composiciones máficas como gabros, diabasas y andesitas basálticas porfídicas (Skewes *et al.*, 2002). Presentan importantes variaciones texturales, sin embargo, no se han distinguido claramente contactos o gradaciones entre los tipos texturales por el grado de obliteración. Burgos (2002) indica que las rocas con fenocristales de grano fino se encontrarían en los márgenes del intrusivo, mientras que las de grano grueso se ubicarían al centro de este. Mineralógicamente los cristales de plagioclasa son cálcicos (An_{92-41}) y de 1-6 mm de largo. Ocasionalmente clinopiroxenos se encuentran rodeados de una fina masa cristalina dominada por biotita y/o actinolita, con variaciones en el contenido de plagioclasa, calcopirita, magnetita, anhidrita, turmalina, clorita, rutilo, pirita y cuarzo (Skewes *et al.*, 2002). Edades de 8,9 Ma, por trazas de fisión en apatito, se han obtenido en el lacolito máfico, al oeste de la mina (Skewes *et al.*, 2002).

Complejo Félsico: Comprende principalmente dos cuerpos de importancia: el *stock* Sewell ubicado al SE de la Brecha Braden y el Pórfido Dacítico El Teniente al norte de la brecha. Además, considera otros cuerpos porfídicos menores y una serie de diques y filones.

-Stock Sewell: Serie de cuerpos irregulares, cilíndricos y tabulares que agrupa composiciones dioríticas a tonalíticas emplazados en el CMET (Cuadra, 1986; Kurtz *et al.*, 1997). En general presentan texturas equigranulares y holocristalinas (Stern *et al.*, 2010), no obstante, se ha reportado que en la zona marginal tiene una textura porfídica con fenocristales de plagioclasa primaria, biotita y relictos de anfíboles, mientras que hacia el centro del cuerpo la textura es fanerítica. El límite entre ambas texturas es transicional y se puede evidenciar por variaciones en los tamaños de los cristales y porcentaje de masa fundamental (Faunes, 1981). Composicionalmente tiene entre un 61-66 % de SiO₂ y cae en el campo calcoalcalino (Stern *et al.*, 2010). Cuadra (1986) obtiene dos edades K-Ar para la tonalita de $7,4 \pm 1,5$ Ma y $7,1 \pm 1,0$ Ma, mientras Makshev *et al.* (2004) obtiene otra edad similar en $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ de $7,05 \pm 0,14$ Ma.

-Pórfidos Dacíticos: Corresponde al antiguo Pórfido Teniente y cuatro cuerpos porfídicos tabulares de tamaños reducidos ubicados al este de la Chimenea Braden y noreste del Stock Sewell. El Pórfido Teniente ha sido reconocido en la parte norte del yacimiento y es el principal responsable de la mineralización (Cuadra, 1986). Consiste en un cuerpo tabular, sub-vertical, de orientación norte-sur, con dimensiones máximas conocidas de 1.500 m de longitud y 200 m de potencia. El pórfido es una dacita rica en feldespato alcalino y pobre en sílice (Ossandón, 1974 en Cuadra, 1986). Ossandón (1974) discrimina dos variedades texturales: un pórfido dacítico panidiomórfico, caracterizado por una textura porfídica idiomorfa que ocurre cerca de la zona de contacto, y un pórfido dacítico hipidiomorfo de color gris-blanco que se da en la parte central del intrusivo. Estudios recientes de Rojas (2003) confirmó la presencia de dos fases originadas por el emplazamiento de dos pulsos sucesivos a través de sistemas estructurales secundarios que afectaron el CMET. Edades U-Pb en circón realizadas por Maksaev *et al.* (2004) arrojaron edades de $5,28 \pm 0,1$ Ma para la cristalización del intrusivo.

Los cuatro cuerpos restantes poseen texturas porfídicas y están constituidos de 30-50% de fenocristales de hornblenda y biotita, y aisladamente ojos de cuarzo, contenidos en una masa fundamental aplítica, formada por cuarzo, plagioclasa y feldespato potásico (Vry *et al.*, 2010). Maksaev *et al.* (2004) reportaron dataciones radiométricas (U-Pb) de $6,28 \pm 0,16$ Ma, para el cuerpo central y $6,11 \pm 0,13$ Ma para los cuerpos norte.

-Pórfido Microdiorítico: También conocido como Pórfido A, ubicado en la porción central-este del yacimiento. Se encuentra en contacto por intrusión a una brecha magmática-hidrotermal de anhidrita que se emplaza a lo largo del contacto entre el Stock Sewell y el CMET. La parte superior del pórfido ocurre aproximadamente a 1 km de la superficie y sus raíces no están bien definidas, no obstante, se ha distinguido hasta el nivel 5 de la mina El Teniente (Stern *et al.*, 2007). Tanto como la parte central del pórfido como las matrices de las brechas están compuestos de biotita café, cuarzo, plagioclasa sódica, feldespato-K (ortoclasa perfitica), anhidrita, apatito, circón, óxidos de hierro (titano-magnetita y hematita), sulfuros (bornita y calcopirita), pero no anfíboles.

Cuadra (1992) determina una edad para el Pórfido A de 5,1-6,0 Ma por K-Ar en biotita. Posteriormente Maksaev *et al.* (2004) reporta edades de 5,67 Ma (U-Pb en circón) y 5,6 Ma (Re-Os en biotita) que fueron asignadas a las brechas ígneas e hidrotermales respectivamente en contacto con el pórfido A, sugiriendo que la formación de estas brechas es temporal y genéticamente relacionada a la intrusión del Pórfido A (Stern *et al.*, 2007).

Complejo Brecha Braden: Pipa volcánica con forma de cono invertido, casi circular en planta, con su flanco este sub-vertical, en tanto que el resto de su contorno converge hacia el centro con inclinaciones de 60-70° (Cuadra, 1986). Se distingue principalmente dos facies: la parte central o Brecha Braden propiamente tal, la cual es sub-económica y la porción marginal mineralizada denominada Brecha Marginal de Turmalina (Cuadra, 1986; Camus, 1975; Vry *et al.*, 2010). La Brecha Braden está constituida por fragmentos redondeados a sub-angulosos de variada composición y tamaño, proveniente de las rocas preexistentes, con mineralización y alteración hipógena. La porción marginal consta de fragmentos angulosos a sub-angulosos, con grados variables de alteración cuarzo-sericita-clorita y cementados por turmalina y cuarzo, con cantidades menores de anhidrita, yeso, carbonatos, sulfuros y sulfosales de la serie tennantita-tetraedrita (Cuadra, 1986). Este complejo se desarrolló en las fases finales del yacimiento El Teniente por edades de 4,7-4,5 Ma (Cuadra, 1986) y se sospecha que acabó con la mineralización del depósito (Vry *et al.*, 2010). Por su disposición en el yacimiento y su calidad geotécnica la mayoría de la infraestructura de la mina se encuentra situada en esta unidad (Toledo, 2018).

Cuerpos de Brechas menores: Existen múltiples cuerpos de brechas magmáticas-hidrotermales mineralizadas en El Teniente. La mayoría se encuentran asociadas a intrusiones félsicas. Skewes *et al.* (2002) clasifica las brechas en seis tipos de acuerdo al mineral dominante de la matriz: (1) brechas de magnetita, (2) brechas de biotita, (3) brechas ígneas, (4) brechas de anhidrita, (5) brechas de turmalina y (6) brechas de harina de roca. Los contactos entre los márgenes de las brechas y las rocas hospedantes son netos y en algunos casos gradacionales con enrejados de vetillas. Las venas típicamente presentan una sutura central compuesta de los mismos minerales que la matriz de la brecha y halos de minerales de alteración que ocurren también en los clastos de esta. Esta variabilidad de brechas refleja una compleja secuencia de múltiples eventos que resultaron con la gran cantidad de mineralización de cobre hipógeno en del depósito (Skewes *et al.*, 2002).

-Brechas de magnetita: No se encuentra propiamente tal en la mina El Teniente, si no a unos kilómetros al norte y al sur del depósito. No obstante, se le atribuye la alteración de magnetita-actinolita y enrejados de vetillas hallados en rocas ígneas del depósito. La matriz incluye minerales como magnetita, actinolita, turmalina, cuarzo, apatito y feldespato-K.

-Brechas de biotita: Biotita es el mineral dominante de la matriz, pero también hay cantidades variables de cuarzo, feldespato, clorita, anhidrita, yeso, apatito, calcopirita, bornita,

pirita, rutilo y magnetita. Generalmente las brechas son monolíticas, con clastos de rocas máficas o félsicas y en algunos casos puntuales de ambos. Este tipo de brecha son usualmente ricas en cobre. El emplazamiento de esta unidad también generó un enrejado de vetillas ricas en biotita en las rocas hospedantes.

-Brechas ígneas: Son las brechas en que la matriz contiene biotita, cuarzo, feldespatos, anhidrita, calcopirita y óxidos de hierro, y tienen típicamente una textura de grano fino, con apariencia holocristalina. Generalmente los clastos son ígneos máfico y están alterados a biotita. Se encuentran en los contactos entre el CMET y los distintos pórfidos que intruyen a la unidad mencionada.

-Brechas de anhidrita: Brechas heterolíticas con clastos de rocas máficas alteradas a biotita y clastos de intrusivos félsicos, con una matriz que comprende el 20-30% del volumen de la brecha. El mineral dominante es la anhidrita y está acompañada generalmente de biotita, turmalina, cuarzo, yeso, apatito, calcopirita, pirita, bornita y rutilo. La mayoría de estas unidades fueron formadas después de las brechas ígneas y de biotita, con ocurrencias en zonas donde ya fueron brechizadas. Se le asocia la etapa de alteración mineralización tardimagmática.

-Brechas de turmalina: La turmalina es el componente principal junto con anhidrita, cuarzo, calcopirita, bornita y pirita en las matrices. Son tanto heterolíticas como monolíticas, cuyos clastos están silicificados y sericitizados. Asociado a estas brechas ocurre un enrejado de vetillas con núcleos de turmalina, cuarzo, calcopirita, bornita y pirita. Pueden estar mineralizadas como la Brecha Marginal de la Brecha Braden o pueden estar estériles.

-Brechas de harina de roca: Son algunas brechas, como la porción central de la Brecha Braden, que tiene una matriz fina de fragmentos redondeados (<1 mm) de minerales y rocas preexistentes, en adición al cemento que consiste en anhidrita, biotita, cuarzo, turmalina y/o sulfuros de cobre. Son del tipo heterolíticas con clastos provenientes de todas las rocas caracterizadas en el depósito.

Intrusivos menores: Cuerpos restringidos, de carácter estéril y volumétricamente menores a los ya mencionados. Corresponderían a los últimos eventos de actividad magmática reconocidos en el yacimiento.

-Pórfido latítico: Ocurren de forma concéntrica bordeando a la Brecha Braden como diques de anillas. Presenta una alta proporción de fenocristales de plagioclasa en relación al Pórfido Teniente. Contiene, además, fenocristales de biotita, anfíbola alterada, “ojos de cuarzo” en una

masa de cuarzo-feldespatos. Análisis químicos indican que el pórfido latítico es químicamente similar al Pórfido Teniente y al Stock Sewell. Dataciones de U-Pb en circón arrojaron edades de $4,82 \pm 0,09$ Ma (Stern *et al.*, 2010).

-*Dique de andesita*: Se disponen alrededor de la Brecha Braden, con espesores que varían entre 0,5 y 2 m, generalmente inclinados hacia la chimenea, envolviéndola como planos cónicos (Reyes, 1979 en Cuadra, 1986). Intruye al Stock Sewell en el sector sur de esta.

-*Lamprófido*: Corresponde a las intrusiones más jóvenes del depósito post-mineralización, datadas en 3,85 Ma en $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ (hornblenda) (Maksaev, 2004). Son cuerpos tabulares de olivino-hornblenda con espesores entre 1-2 m. Su rumbo promedio es hacia el noreste con inclinaciones variadas. Las intrusiones se emplazaron a través de fracturas localizadas en zonas de debilidad asociadas a contactos litológicos (Camus, 1975). Presentan textura porfídica con fenocristales de hornblenda en una masa microcristalina de augita y labradorita.

2.2.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL DEL DEPÓSITO

A escala distrital, el yacimiento se encuentra en una zona compleja de cizalle denominado “Zona de Falla El Teniente (ZFT)” con orientación aproximada de $N65^\circ E$ (Garrido, 1992) (Figura 2.4.). Esta zona presenta tres dominios estructurales preferenciales: Dominio $N46^\circ E$, Dominio $N64^\circ W$ y Dominio $N20^\circ E$. Los dos primeros con un manteo sub-vertical y el último dispuesto en echelón con los dos anteriores. Los dominios estructurales están asociados a mayores densidades de fallas de rumbo sub-verticales, además de diques, diaclasas, y vetillas, producto del tectonismo regional del tipo compresivo-distensivo, por un eje E-W de esfuerzo máximo, que originó sistemas de fallas y diaclasas NE y NW.

Dentro de la zona de falla, el arreglo estructural es totalmente distinto al reconocido en el entorno, independiente del tipo litológico, definiendo un eje de acortamiento de dirección $N48^\circ \pm 11^\circ W$ (Garrido, 1995). El emplazamiento de la Brecha Braden habría controlado los sistemas estructurales, además de que estos estaban activos durante y después de la formación del yacimiento (Garrido, 1992). Las fallas de la mina corresponden a vetas tempranas de cuarzo reactivadas por eventos hidrotermales tardíos y a vetillas hidrotermales tardías falladas. La mayoría están rellenas por minerales hidrotermales tardíos en distintas proporciones (núcleo polimineral) más bordes de espesor variable de salbanda con un porcentaje medio aproximadamente de 15% del material relleno total (Seguel *et al.*, 2007). Las geometrías incluyen segmentaciones de fallas,

sistemas anastomosados de alto ángulo, estructuras tipo dúplex, terminaciones en cola de caballo y *jogs* dilatacionales, que en conjunto son similares a las descritas en sistemas dominados por movimientos en el rumbo (Seguel *et al.*, 2007). Específicamente, se han reconocido siete fallas maestras en el yacimiento El Teniente, las que se caracterizan por ser fallas de rumbo con manteos sub-verticales (Tabla 2.1.) y desplazamientos inferiores a un metro (Celhay *et al.*, 2006). Las estructuras mayores e intermedias corresponden a fallas post-mineralización con rumbos preferenciales $N60^{\circ}E \pm 20^{\circ}$ y $N50^{\circ}W \pm 20^{\circ}$ con sistemas secundarios $N00^{\circ}E \pm 30^{\circ}$ y $N90^{\circ}E \pm 10^{\circ}$, y manteos sub-verticales entre 60° a 90° , con valores típicos entre 80° a 90° (Celhay *et al.*, 2006).

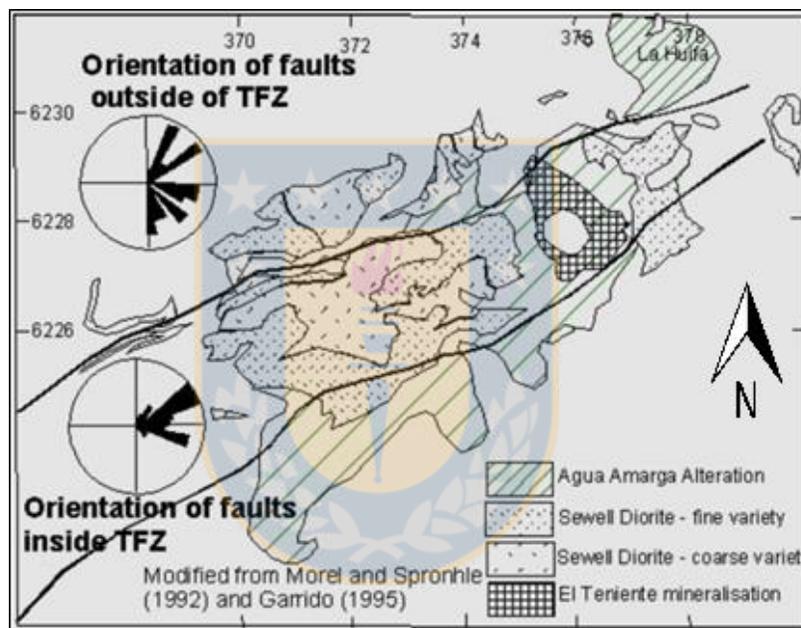


Figura 2.4: Zona de Falla El Teniente (ZFT). Está limitada al NW por la Quebrada Teniente y al SE por la Falla Agua Amarga. Fuera de la zona de falla las estructuras presentan una amplia gama de orientaciones. Extraído de Garrido (1995).

Tabla 2.1: Clasificación estructuras maestras mina El Teniente. Extraído de Celhay *et al.* (2006).

Estructura	Rumbo (°)	Manteo (°)	Traza (m)	Sector Productivo donde está reconocida
Falla P	N 50 – 60 E	70 – 90	900	Ten 4 Sur y Ten 8
Falla N1	N 70 – 80 E	70 – 90	750	Sub-6 y Ten 8
Falla Teniente Sur 1	N 45 – 55 E	70 – 90	590	Ten 4 Sur
Falla B	N 50 – 65 W	80 – 90	570	Esmeralda y Ten 4
Falla C	N 75 – 85 E	60 – 70N	540	Sub-6
Falla S	N 65 – 75 E	70 – 90	510	Ten 4 Sur
Falla G	N 75 – 85 E	60 – 90N	510	Sub-6

2.2.3 ALTERACIÓN Y MINERALIZACIÓN

La evolución de los procesos de alteración y mineralización del yacimiento El Teniente ha sido clásicamente dividida en tres etapas: (1) Hidrotermal Temprana o Tardimagmática, asociada a la alteración potásica; (2) Hidrotermal Principal, relacionada con vetillas con halos de cuarzo-sericita; e (3) Hidrotermal Tardía, asociada a la alteración cuarzo-sericita. No obstante, previo a estas etapas se ha registrado una fase pre-mineralización (Pre-Tardimagmática) de alteración calco-sódica y posterior a ellas una etapa de alteración y mineralización supérgena. El yacimiento se formó en un proceso continuo de alteración y mineralización, que han redundado en una evolución compleja que está caracterizada por la sobreimposición de numerosos eventos magmático e hidrotermales (Cuadra, 1986; Cannell *et al.*, 2005). El cuerpo mineralizado presenta una forma aproximadamente triangular en planta, alargada hacia el norte, donde está centrado en el Pórfido Teniente, y se extiende hacia el sureste dentro del Stock Sewell (Cuadra, 1986). Los eventos que comprendieron la mineralización poseen una edad entre los 5,3 a 4,7 Ma (Cuadra, 1986; Maksaeve *et al.*, 2004; Cannell *et al.*, 2005).

Etapas Pre-Tardimagmática (Pre-TM): Se caracteriza por alteración de magnetita-cuarzo-anhidrita-actinolita-plagioclasa cálcica \pm epidota, la cual varía de forma pervasiva a controlada por vetillas en asociación con vetillas de magnetita (Cannell *et al.*, 2005). Evidencias de esta alteración están preservadas en unidades andesíticas de la mina y en los márgenes del depósito. Se registra también una alteración fílica (turmalina-sericita-clorita-magnetita) formada adyacente al Stock Sewell. No hay asociación con mineralización de cobre o molibdeno con esta alteración (Cannell *et al.*, 2005).

Etapas Tardimagmática (TM): Se relaciona con las últimas fases de consolidación del Stock Sewell y del Pórfido Teniente, expresándose como una alteración potásica, que afecta a los intrusivos y sus rocas encajantes (Cuadra, 1986). Se desarrolla a partir de vetillas de cuarzo, feldespato-K, anhidrita y sulfuros. Aloja, además gran parte de la mineralogía metálica de cobre-molibdeno, que consiste en bornita, calcopirita y molibdenita. El grado de alteración es pervasiva, afectando preferentemente a las intrusiones máficas, obscureciendo las características petrológicas de estas (Skewes *et al.*, 2002). La mineralización ocurre en vetillas y en forma diseminada, con una marcada zonación en torno al Pórfido Dacítico, con un núcleo rico en bornita, una zona intermedia con predominio de calcopirita y una zona periférica con pirita. En el sector sur del yacimiento, predomina la calcopirita que grada a pirita hacia los márgenes (Cuadra, 1986).

Etapa Hidrotermal Principal (HP): Se caracteriza por la destrucción y reemplazo de minerales preexistentes a cuarzo y sericita, con menos proporciones de clorita y anhidrita (Skewes *et al.*, 2002). Se desarrolla a partir de vetillas de orientación principal noreste y, en menor medida, noreste, constituyendo el relleno y sus halos de alteración los que comúnmente no afectan a toda la roca (Cuadra, 1986). Pirita y calcopirita son los sulfuros dominantes y la bornita se encuentra ausente de la alteración Hidrotermal Principal. La intensidad de la alteración sericítica está controlada por la densidad de las vetillas y los anchos de sus halos (Arévalo *et al.*, 1998 en Skewes *et al.*, 2002). Las zonas de mayor intensidad conforman franjas dispuestas en forma simétrica al Pórfido Teniente. También se desarrolla en el Stock Sewell como vetillas y en forma maciza.

Etapa Hidrotermal Tardía (HT): Se relaciona con la formación de la Brecha Marginal y se expresa como la alteración cuarzo-sericita de sus clastos, y como vetas y vetillas con relleno de anhidrita, yeso, turmalina, siderita, cuarzo y un halo de alteración cuarzo-sericita-clorita-calcita (Cuadra, 1986). Las vetillas tienden a ser más gruesas que en la etapa Hidrotermal Principal y a tener halos de alteración más anchos, llegando a la destrucción de la textura original de la roca (Skewes *et al.*, 2002). Esta alteración también afecta el dique de anillo de latita que rodea la pipa y que forma un anillo concéntrico de 150 m alrededor de esta, del cual bornita y tennantita se concentran con mayor abundancia alrededor de la pipa y que gradúa hacia afuera a calcopirita en mayor proporción. La alteración cuarzo-sericita también ocurre en zonas del depósito donde brechas de turmalina se han emplazado.

Etapa Póstuma: Se asocia a la consolidación de la Brecha Braden. Está constituida fundamentalmente por una asociación de sericita, calcita y pirita, en el cemento, y como alteración sericítica de la fracción clástica (Cuadra, 1986). La mineralización hipógena se presenta en vetas y vetillas de pirita, calcopirita, molibdenita, tennantita-tetraedrita y galena-esfalerita. Además, se evidencian rellenos de estructuras planares y de cavidades con minerales de baja temperatura, tales como yeso, ankerita, siderita, baritina, blenda, galena, cuarzo, junto con calcopirita, pirita, tetraedrita, anhidrita y turmalina.

Etapa Supérgena: La zona de alteración supérgena coincide con las áreas de total lixiviación de la anhidrita. En general alcanzan profundidades entre 100-600 m, con un nivel de enriquecimiento secundario de 100-500 m de espesor, cuyo mineral característico es la calcosina (Cuadra, 1986). La porción superior de la zona de enriquecimiento, son típicamente 80 m de profundidad de una zona de oxidación con crisocola, malaquita, azurita, cuprita, cobre nativo y

copper pitch. Bajo esta zona de oxidación, la calcosina se vuelve dominante (en parte reemplazando a sulfuros primarios como bornita y calcopirita), junto con covelina, cobre nativo y cuprita. El reemplazo fue gradual y selectivo para los sulfuros de cobre, iniciando con bornita y luego calcopirita.



3 GEOLOGÍA Y METALURGIA

3.1 INTRODUCCIÓN

Para mantener una constante, óptima y eficiente explotación de un yacimiento debe haber un análisis continuo de los procesos involucrados. Para esto, se realizan distintas pruebas, dentro de las que se encuentran los ensayos metalúrgicos, dirigidos a generar mayor información de la respuesta geometalúrgica de los minerales en la concentración por flotación.

Las características de los minerales condicionan y determinan todas las etapas de la minería, específicamente en los procesos de concentración. Generalmente, una asociación (intercrecida) mineral contiene una o varias especies minerales aprovechadas (menas) y un número igual o mayor de especies minerales estériles (gangas), de tal manera que cualquier intento de agrupar selectivamente (concentrar) a las primeras, requiere como condición previa, tratar de separarlas (liberarlas) lo mejor posible de otras menas y/o de las gangas. Resulta por demás evidente que cualquier intento en esa dirección presupone conocer la identidad de las especies minerales involucradas, así como los tipos y grado de complejidad de los intercambios entre ellas.

3.2 CONCEPTOS BÁSICOS

Entre la geología y la metalurgia existen conceptos comunes que son de gran importancia en el proceso de concentración, algunos de ellos se encuentran a continuación y están basados en la terminología utilizada en CODELCO-División El Teniente.:

- **Mena:** Mineral o minerales que pueden ser extraídos de una roca con ganancia económica (rentabilidad).
- **Ganga:** Minerales que acompañan a los minerales de mena, pero que no tienen valor económico.
- **Ley (término genérico):** Concentración de cada metal de mena en una muestra de roca, usualmente expresada en porcentaje en peso. Si las concentraciones son muy bajas, como las de Au, Ag, Pt u otros, la concentración puede expresarse como gramos por tonelada (g/t).
- **Ley mineral:** Contenido absoluto (%) del mineral de interés en la roca. Este contenido es calculado a partir de la ley de cada elemento en el modelo de bloques

de recursos. La ley es distribuida de acuerdo a la fórmula química, la proporción relativa y el contenido del elemento químico en el mineral.

- **Recuperación:** Porcentaje de contenido fino en peso del elemento “target” en la muestra, recuperado a partir de un proceso de concentración.
- **Mineral de cabeza:** Todo mineral que ingresa al proceso de concentración, después de la molienda.
- **Muestra de cabeza:** Muestra de alimentación a flotación y de granulometría 20% + 100# Tyler o ~150 μm .
- **Concentrado mineral:** Es el mineral valioso que se obtiene por el procesamiento de mineral de cabeza o de alimentación y que contiene las especies mineralógicas de interés económico más un porcentaje de ganga.
- **Muestra concentrado:** Muestra con un elevado número de partículas de sulfuros, representativa del concentrado de mena de cobre, cuya granulometría no supera a la de cabeza.
- **Relave o cola mineral:** Mezcla de minerales que no fueron recuperados en el proceso de concentración por no poseer interés económico y que es dirigida a depósitos de relave. Mayoritariamente conformada por ganga.
- **Muestra de relave o cola:** Muestra con un número considerablemente menor de partículas de sulfuros de cobre, donde se concentran las fases de minerales no metálicos.
- **Grado de liberación:** Corresponde al porcentaje de superficie expuesta o libre de una partícula de interés.
- **Tamaño:** Corresponde al tamaño en micrones de una partícula de interés.

Desde el año 2018, los conceptos de grado de liberación, tamaño y asociación de los sulfuros de Cu, se presentan en función de los parámetros mineralúrgicos de “mena recuperable por grado de liberación” y “mena recuperable por tamaño”, cuyos rangos de clasificación se encuentran en debate en el presente estudio.

- **Mena recuperable por grado de liberación:** Corresponde a sulfuros de cobre o molibdeno con grado de liberación mayor a 50%.
- **Mena recuperable por tamaño:** Corresponde a sulfuros de cobre o molibdeno con tamaño de grano mayor a 12 micrones.

3.3 PROCESO DE CONCENTRACIÓN

La concentración de minerales es la operación en la cual se eleva el porcentaje de una mena, mediante el uso de equipos de separación sólido-sólido produciéndose así la segregación de dos o más especies mineralógicas y generar una corriente enriquecida de un mineral de interés (Bustamante *et al.*, 2008). Esta etapa se considera como una etapa intermedia en el contexto de la metalurgia extractiva, tomando en cuenta a la extracción de minerales como etapa primaria y a la fundición como última. En ella se recibe material proveniente de zonas productivas que se reducen de tamaño mediante el uso de chancadores y molinos, donde es convertido en un fino polvo que se mezcla con agua y reactivos químicos para formar una pulpa que entra en la etapa de flotación. Este último proceso se efectúa a partir de la adhesión de burbujas de aire a minerales específicos (cobre y molibdeno), burbujas que son generadas en el fondo de la celda de flotación. Estas burbujas ascienden adhiriéndose a su paso a las partículas expuestas de los minerales “target”, transportándolas hasta la superficie donde se forma una espuma que constituye el concentrado mineral, mientras que las partículas que no ascienden, forman lo que llamamos mineral de cola, que posteriormente formará parte de los relaves (Figura 3.1).

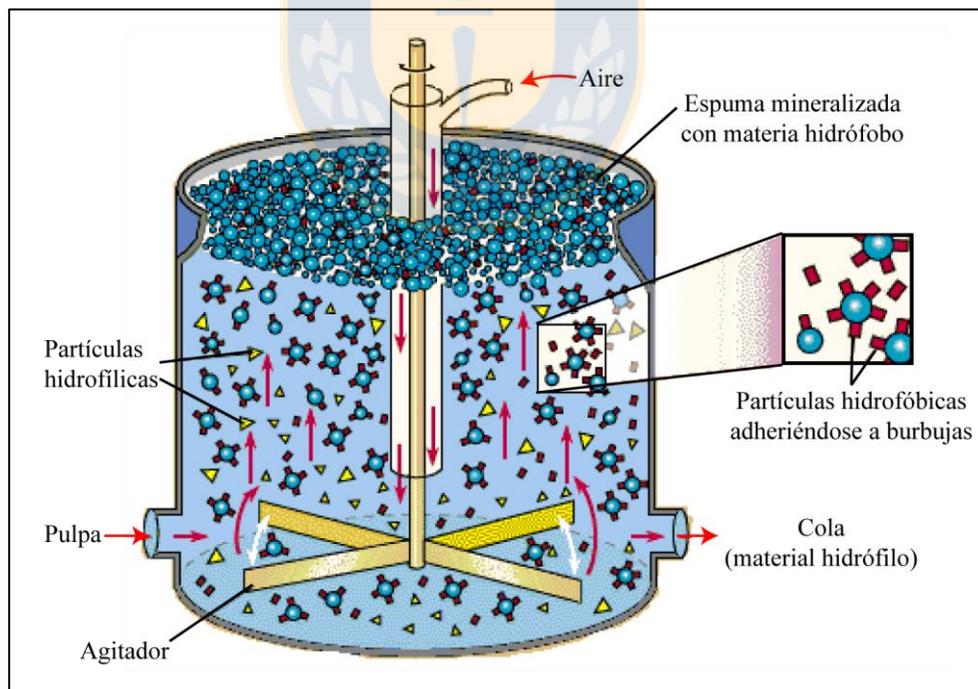


Figura 3.1: Esquema de celda de flotación espumante.

Algunos minerales pueden ser hidrófobos por naturaleza, como la molibdenita, pero a la gran mayoría de éstos se les debe inducir su hidrofobicidad mediante la adición de tensoactivos

(colectores), que genera la reducción de la tensión superficial de la interfase sólido-agua y permita la adsorción espontánea de burbujas de aire para que el sistema de partículas-burbujas ascienda hasta la superficie en donde previamente se ha formado una espuma. Paralelamente, los minerales que no tienen interés económico, no deben adherirse a las burbujas y por lo tanto es necesario que sean altamente hidrófilos y ser evacuados a los relaves. Para cumplir dicho objetivo se utilizan ciertos depresores, los que realizan la acción contraria a los colectores.

3.4 LIBERACIÓN Y FLOTABILIDAD DE PARTÍCULAS

La liberación de partículas, se entiende como la acción de dejar expuesta la partícula de interés (mena), por medio de conminución, con el objeto de separar la especie mineral valiosa. Las partículas al estar liberadas responden mejor a los diferentes métodos de concentración, obteniendo mejores porcentajes de recuperación.

El grado de liberación (Figura 3.2.), es una expresión cuantitativa, de la magnitud en que la molienda es capaz de obtener partículas “libres” para que una vez ingresada al proceso de concentración final, puedan colisionar y adherirse fácilmente a las burbujas. Existen partículas mixtas que tienen un comportamiento diferente por poseer una porción de mineral de interés y otra porción inerte. La presencia de este tipo de partículas genera la necesidad de utilizar varias etapas de concentración, para evitar combinadamente, pérdidas en la operación y aumentar la recuperación.

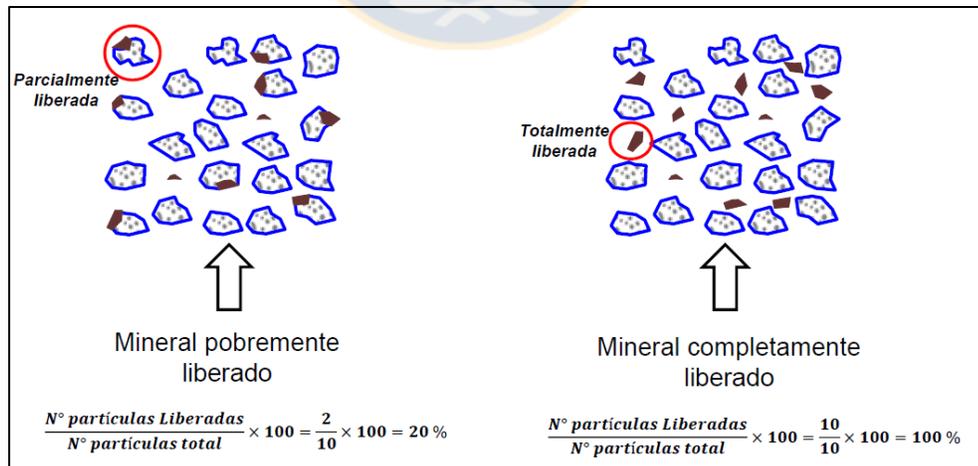


Figura 3.2: Esquema del grado de liberación de partículas y su expresión cuantitativa.

Extraído de Gutiérrez (2018a).

El porcentaje de liberación de una partícula, se puede agrupar en cinco grandes clasificaciones, dependiendo cuanta superficie expuesta tiene. De menor a mayor superficie

encontramos: ocluido (0-20%), parcialmente ocluido (20-50%), parcialmente liberado o asociado (50-80%), liberado (80-90%) y libre (sobre 90%) (Figura 3.3.). Para una flotación óptima es necesario utilizar un tamaño de partículas donde el 80% del material tiene un tamaño menor a malla #100 o $\sim 150 \mu\text{m}$ Taylor (Gil, 2018). Lo anterior permite asegurar el máximo rendimiento en la flotación, ya que tamaños muy grandes o muy pequeños tienen menores recuperaciones por no adherirse y por sobre-espumación respectivamente.

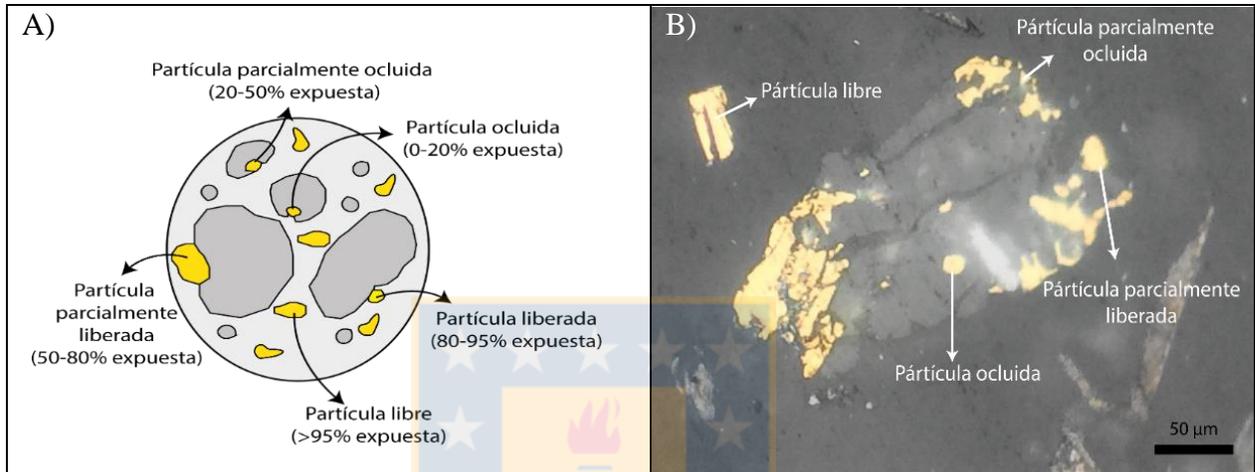


Figura 3.3: Grados de liberación de partículas. A) Esquema conceptual del grado de liberación de partícula de interés. B) Microfotografía de muestra de concentrado de partículas de calcopirita asociado a una fase mineral (ganga).

La flotabilidad de las partículas dependerá de la adhesión selectiva de la partícula valiosa-burbuja (Figura 3.4.) y se produce como resultado de la hidrofobicidad de las partículas que se quieren flotar. Por otra parte, las partículas hidrofílicas no se adhieren a las burbujas y tienden a decantar para irse en el relave.

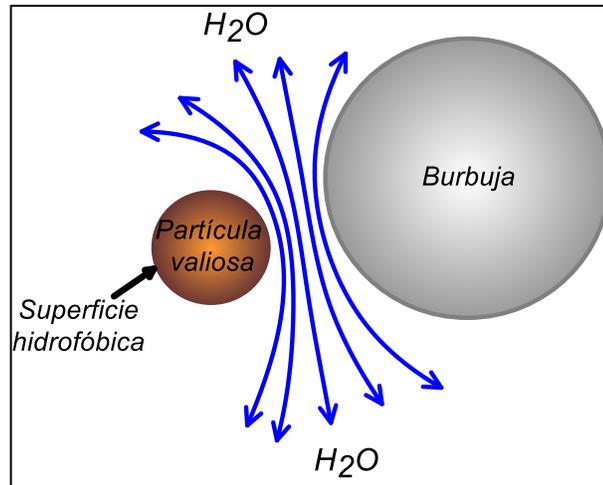


Figura 3.4: Hidrofobicidad de partículas valiosas.

Extraído de Gutiérrez (2018b).

3.5 TAMAÑO DE PARTICULAS

Se refiere al tamaño de disseminación de partículas de minerales valiosos en la roca. Si las partículas están disseminadas en la roca en tamaños muy pequeños, entonces se requiere un alto grado de molienda (Figura 3.5.). Esta situación hace que se genere un producto de molienda de tamaño de partícula fino, lo que tiene implicancias enormes en el proceso de concentración.

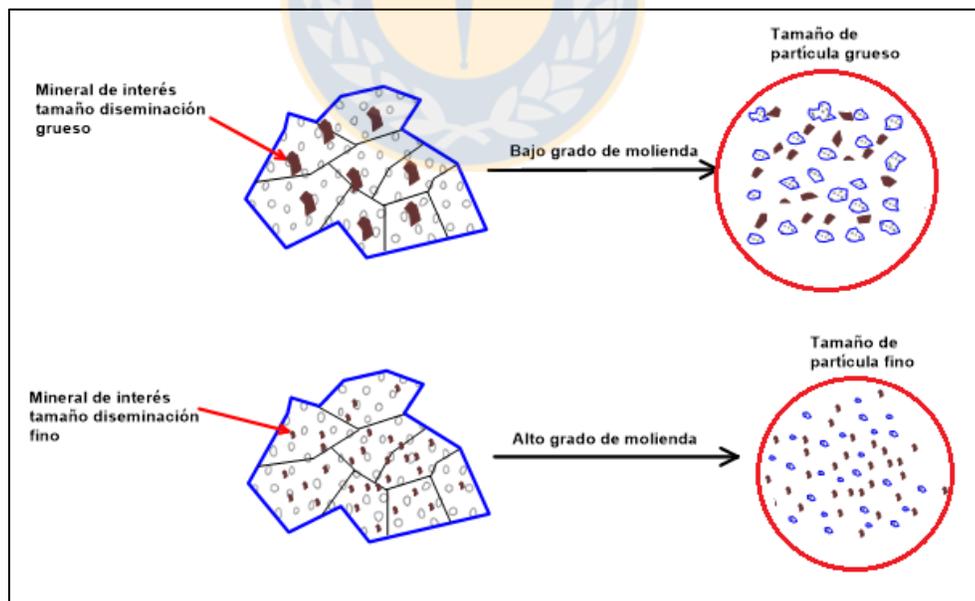


Figura 3.5: Esquema del tamaño de partículas. Extraído de Gutiérrez (2018a).

En general, las partículas gruesas (>212 μm) presentan bajo porcentaje de liberación. Estas partículas pueden estar compuestas de minerales portadores de cobre y minerales de ganga. Su

obtención incrementaría la recuperación, pero disminuiría significativamente la ley, por estar incluyendo minerales de ganga al proceso. Estas partículas son más difíciles de mantener en suspensión y la probabilidad de no adherirse a las burbujas es mayor. En general la recuperación de estas partículas se puede mejorar disminuyendo la turbulencia y manteniendo las partículas en suspensión

Partículas medias (212-75 μm) se encuentran típicamente liberadas o parcialmente liberadas y por consiguiente fáciles de separar en el circuito de flotación. Esto es debido a que superficies cubiertas en los minerales de mena reducen la susceptibilidad de adherencia de la superficie de los minerales de interés a la burbuja, reduciendo la recuperación. Por otra parte, la ley de concentrado puede también disminuir cuando la superficie de los minerales ganga se activa y flotan.

Partículas finas (<75 μm) se componen normalmente de granos liberados, sin embargo, partículas de interés en este grupo, tienen una baja oportunidad de colisionar con burbujas o presentan comportamientos diferentes en la pulpa, debido a su baja inercia, y por consiguiente tienen una reducida opción de ser recuperadas. Además, las interacciones de doble capa eléctrica entre burbujas y partículas son más relevantes a estos tamaños, impidiendo la adhesión. Partículas muy finas de ganga pueden ser recogidas por arrastre y ser recuperadas en el concentrado afectando las leyes de este. Las mayores pérdidas de cobre en la flotación se producen en la fracción fina. En general la flotación de finos se mejora generando burbujas pequeñas (200-500 μm).

En la literatura diversos trabajos reportan el efecto del tamaño de partícula en la recuperación del mineral valioso. Wyslouzil *et al.* (2009) indican que la eficiencia del proceso de flotación se ve impactada negativamente cuando se opera en los extremos, es decir, con partículas finas (<10 μm) o partículas gruesas (> 250 μm). Específicamente para los minerales de cobre se observa que en las fracciones de partículas finas (<20 μm) la recuperación cae a valores inferiores al 50%, mientras que en el extremo opuesto para partículas gruesas (> 150 μm) la recuperación de cobre también es menor al 50%. Lo mismo es mencionado por Jameson (2013), quien indica que la recuperación de partículas mayores a 150 μm es deficiente cuando se utiliza celdas convencionales, a pesar que dichas partículas pudiesen estar adecuadamente liberadas para ser flotadas.

3.6 ASOCIACIÓN MINERAL

Se refiere a la existencia de minerales en contacto físico con el mineral de interés (ej. calcopirita: silicatos duros) (Figura 3.6.). La determinación de las asociaciones preferenciales de los minerales de interés es importante para predecir la eficiencia del proceso de liberación (molienda) y los posibles contaminantes de las corrientes concentradas en el mineral valioso. Además, ciertas asociaciones pueden afectar en el proceso de adherencia de la partícula a la burbuja debido a los colectores que se utilizan, los cuales están diseñados para flotar ciertas fases minerales con propiedades intrínsecas particulares.

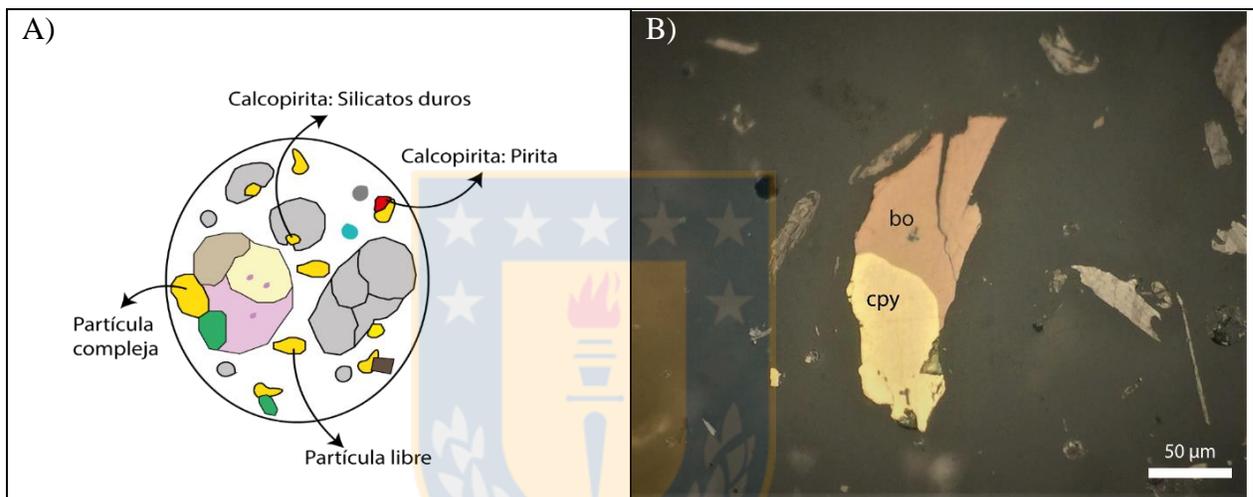


Figura 3.6: Asociación mineral de partículas. A) Esquema conceptual de la asociación mineral para una partícula de interés (ej. calcopirita). B) Asociación mineral entre calcopirita (cpy) y bornita (bo) en una muestra de concentrado.

4 SECTORES PRODUCTIVOS Y PROYECTOS EN ESTUDIO

4.1 GENERALIDADES

Los sectores productivos de la mina se emplazan alrededor de la Pipa Braden, incluyendo el Nuevo Nivel Mina (NNM) que se encuentra en etapa de implementación (Figura 4.1.). En la Figura 4.2., se observa la localización de los sectores en planta, los cuales abarcan diferentes unidades geológicas, rasgos estructurales, zonificación mineral y de alteración entre otras características, presentando por consiguiente, diferencias importantes en su tratamiento.

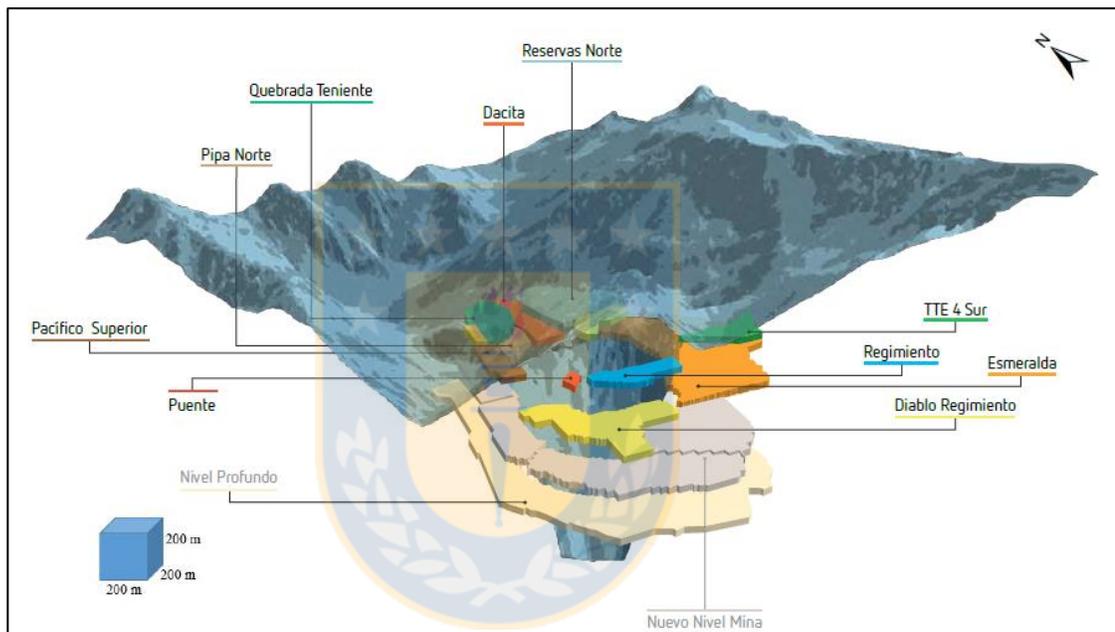


Figura 4.1: Esquema de sectores productivos de la mina subterránea. Modificado de CODELCO (2011).

Para comprender los rangos de recuperación de la mineralogía de Cu *in situ*, se seleccionaron ciertos sectores productivos y proyectos de interés de acuerdo a la planificación de GRMD-SGL, que se detallan a continuación.

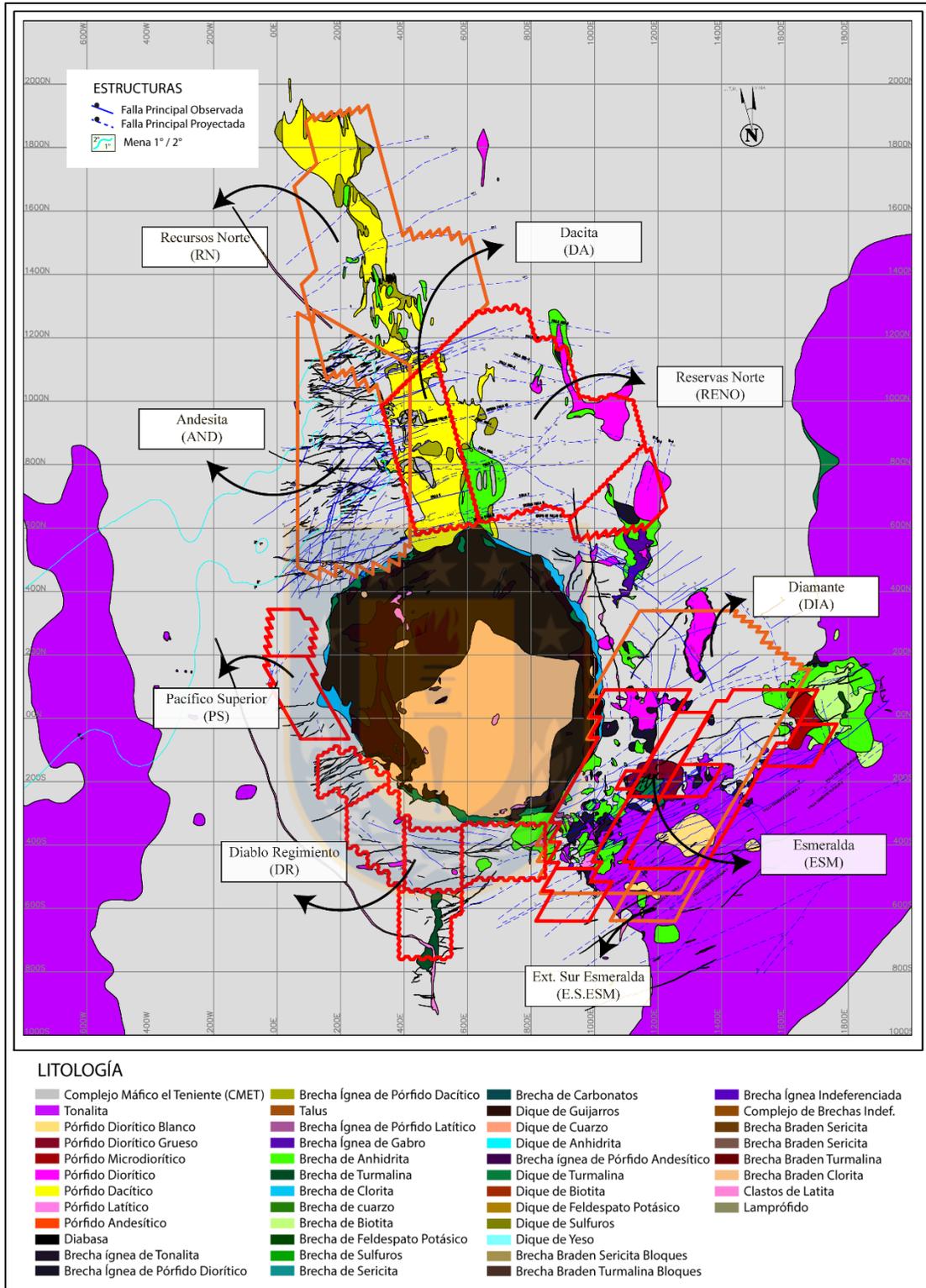


Figura 4.2: Mapa de los sectores productivos y proyectos DET. Ploteado sobre el modelo geológico nivel 2.190, escala 1:4.000. En naranja se representan los proyectos. Modificado de SGL-GRMD (2018).

4.2 SECTORES PRODUCTIVOS Y PROYECTOS

Sector Productivo Dacita: Se ubica en el Nivel Sub-6 (2.102 m s.n.m.), entre las coordenadas mina 500N-1150N y 300E-600E. Litológicamente predomina el Pórfido Dacítico y en menor proporción el CMET, Brecha de Anhidrita y una Brecha Ígnea de Pórfido Dacítico.

Sector Productivo Reservas Norte (RENO): Se ubica entre las coordenadas mina 500N-1450N y 300E-1400E. Su cota del nivel de producción es de 2.138 m s.n.m. El CMET es la litología predominante y en las porciones occidentales domina el Pórfido Dacítico junto con la Brecha de Anhidrita. Además, de forma local, hay rocas pertenecientes a un Pórfido Diorítico y Brechas Ígneas de Pórfido Dacítico

Sector Productivo Esmeralda: Las litologías típicamente encontradas en la mina Esmeralda corresponden a CMET, Tonalita, Brecha Ígnea de Tonalita, Brecha de Anhidrita, Brecha de Turmalina, Pórfido Diorítico, Pórfido Diorítico Grueso y complejo de Brechas Braden.

Sector Productivo Diablo Regimiento: Forma parte del Nivel Sub-5 (2.190 m s.n.m.), entre las coordenadas mina 900S-280S y 100E-550E. Está conformado en su mayoría por CMET, además de la unidad de Dacita, Brecha Ígnea de Dacita, Brecha de Anhidrita, Pórfido Diorítico, Brecha Ígnea de Pórfido Diorítico, Brecha Ígnea de CMET y Pórfido Andesítico.

Sector Productivo Pacífico Sur: Forma parte del Nivel Sub-5 (2.247 m s.n.m.), entre las coordenadas mina 100S-250N y 50E-300E. Gran parte está conformado por CMET y de manera subordinada por Brecha de Clorita.

Proyecto Andesita: Las litologías presentes corresponden a CMET y en menor proporción al Pórfido Dacítico que intruye al primero. Además, localmente hay cuerpos de Brecha Ígnea de Pórfido Dacítico, Pórfido Latítico, Brechas Hidrotermales y diques de cuarzo. En el área del proyecto la alteración dominante es Tardimagmática la cual alcanza un promedio aproximado de 90%, la alteración HP alcanza un 8% y la alteración HT alcanza un 2%. La mineralización de cobre se encuentra asociada principalmente a la alteración TM (aporte de calcopirita-bornita-molibdenita) y en menor medida asociada a una alteración HP (aporte de calcopirita).

Proyecto Diamante: El proyecto Diamante se ubica en la parte Este del yacimiento, bajo el nivel productivo de Mina Esmeralda, entre las coordenadas 350N-600S y 850E-1750E, entre las cotas 2.060 y 2.210 m s.n.m. Se caracteriza por presentar 4 grupos principales de unidades litológicas, Complejo Máfico El Teniente (CMET), cuerpos intrusivos félsicos, Brechas Ígneas y brechas hidrotermales asociadas a los contactos entre CMET e intrusivos félsicos.

La alteración observada en las muestras geometalúrgicas corresponden principalmente a alteración tardimagnética (TM), con presencia de alteración hidrotermal principal (HP) y tardía (HT) asociadas a los intrusivos. En menor medida se reconoce, además, una alteración temprana de tipo sódico cálcica o “silver”, que le otorga un color gris plata a la roca y un aspecto “nuboso”; esta alteración está constituida por sílice policristalino y magnetita. En el sector del Proyecto Diamante el CMET por lo general se encuentra alterado por biotita con variadas intensidades. La biotita puede constituir parte del halo o en forma penetrativa remplazando a ferromagnesianos originales dándole el clásico color negro.

La presencia de alteración potásica o biotítica va gradando a asociaciones de tipo propilítico hacia los márgenes o partes más distales del área del proyecto. La mineralización metálica está constituida por calcopirita y bornita, con piritita y molibdenita subordinadas.

Proyecto Extensión Sur Esmeralda: Constituido principalmente de CMET y Tonalita, con algunas Brechas de Anhidrita y Pórfido Diorítico Blanco (PDB). A grandes rasgos la alteración dominante es la tardimagnética (TM) (80%), seguido de la hidrotermal principal (TM) (15%) y en menor proporción la hidrotermal tardía (5%).

Proyecto Recursos Norte: Se compone en gran medida de CMET, Pórfido Dacítico y de brechas como Brecha Ígnea de Pórfido Dacítico (BIPD) y Brecha de Anhidrita. La calcopirita es el principal mineral aportador de cobre (90,9%), seguido de bornita (7,4%) y calcosina-digenita (1,7%). En general, la bornita y calcopirita, forma parte de la mineralogía asociada al evento HT (Hidrotermal Tardío) junto a otras fases sulfuradas de Cu y a ganga, y sus contenidos promedio son de 0,18% y 2,17%, respectivamente. Las fases de enriquecimiento secundario de cobre, calcosina/digenita y covelina, presentan un bajo contenido en el sector, con medias que alcanzan los 0,04% y 0,01% respectivamente. La molibdenita, única mena de molibdeno en volumen del proyecto, está presente en vetillas de cuarzo propias del evento hidrotermal temprano TM (Tardimagnético), con un contenido promedio de 0,05%, común en los materiales de alimentación del yacimiento. La solución sólida conformada por las especies tennantita-tetraedrita, característica de la etapa HT (Hidrotermal Tardía), es la única fase mineral presente que puede incorporar impurezas de As al concentrado, no obstante, su contenido es muy bajo (0,004%).

5 CARACTERIZACIÓN GEOMETALURGICA Y MINERALÓGICA

5.1 INTRODUCCIÓN

Las pruebas metalúrgicas y mineralógicas son utilizadas para la predicción de la respuesta metalúrgica de los minerales y elementos de interés económico en un yacimiento, determinando la relación entre atributos geológicos con respuestas metalúrgicas en condiciones estándares de laboratorio. Las diferencias de las pruebas de laboratorio con los parámetros reales de producción debiesen estar dadas solamente por las características intrínsecas de la muestra, es decir su constitución mineralógica y estructural/textural. La determinación causa-efecto entre las características geológicas del yacimiento y los valores de las variables, determinados mediante estas pruebas estándar, permiten definir dominios de comportamiento o unidades geometalúrgicas (UGM), cuya configuración en el espacio constituye los modelos geometalúrgicos *in situ*.

5.2 ANTECEDENTES Y CONSIDERACIONES

5.2.1 BASE DE DATOS

Se trabajó con dos bases de datos proporcionada por GRMD-SGL las cuales, una de ellas, contenía información de los análisis químicos y mineralógicos (Estructura MX), con una data total de 6.544 muestras. La segunda (Maestra), incluía información sobre el tipo de muestra, es decir, si corresponde a sondajes, compósito, colpa, barros, etc., además de la posición espacial, sector productivo/proyecto y litología entre otros factores, con un total de 2.334 muestras.

Dentro de la base mineralógica y química se utilizó solo los ensayos de cabeza, concentrado *rougher* y cola (relave *rougher*), a un $p80=150 \mu\text{m}$ y cuyo *datum* haya sido proporcionado por QEMSCAN®. Cruzando ambas bases, se obtuvo un total de 243 muestras con sus respectivos resultados de cabeza, concentrado y cola.

En la Figura 5.1., se aprecia la cantidad de muestras por sector productivo/proyecto en un mapa en planta de la División El Teniente. En la porción sur, en el sector del proyecto Extensión Sur Esmeralda, existen muestras fuera de un polígono previamente construido, debido a que son sondajes de avance, que no se encuentran en un sector definido hasta la fecha, por la planificación de la DET, no obstante, se consideraron para comprender los controles mineralógicos de las diferentes zonas del yacimiento.

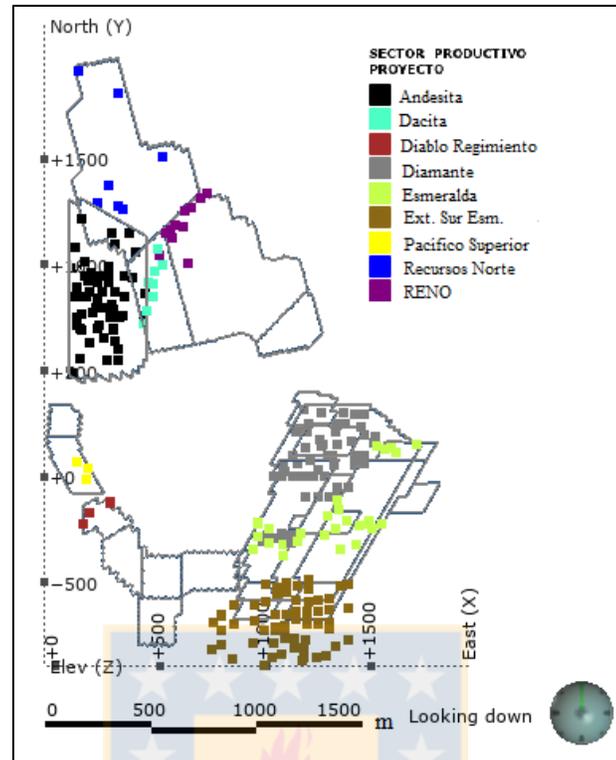


Figura 5.1: Mapa de distribución de muestras de sondajes estudiadas en la DET.

5.2.2 RECUPERACIÓN POR ESPECIE MINERAL

El porcentaje de recuperación por especie se obtiene realizando el balance del porcentaje en peso del mineral entre la cabeza, concentrado y cola para una misma muestra (Figura 5.2.). Fueron desestimadas para la construcción de esta base de datos, aquellas en donde la recuperación es negativa por contener valores de relave mayores a los de la cabeza. Esta situación específica y poco habitual, se da cuando el contenido del mineral tanto en cabeza como en relave, está por debajo del límite de determinación de la técnica automatizada QEMSCAN® (<0,1% peso).

Ciertos rangos específicos de los parámetros estudiados (grado de liberación, tamaño y asociación mineral) para cada especie, presentaban incongruencias (Tabla 5.1.) con respecto al balance entre la cabeza y cola, a pesar de que el balance global sea positivo (valor en verde). Dichos valores fueron desestimados de forma puntual y estadísticamente considerados como *null values* (valores vacíos).

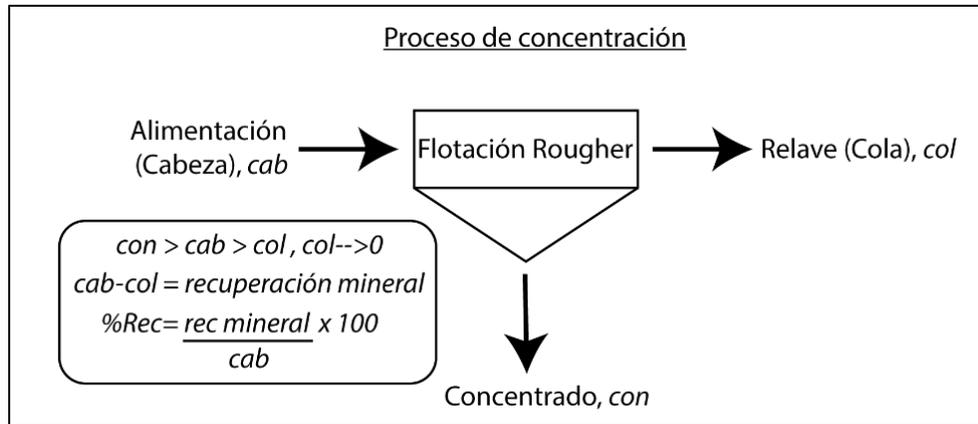


Figura 5.2: Esquema general de un concentrador por flotación *Rougher*.

Tabla 5.1: Ejemplo de valores negativos para rangos específicos de los parámetros de estudio. Extracto de tabla de % de grados de liberación para calcopirita. Cab=cabeza, col=cola, delta= cabeza-cola.

ID	Tipo	[90-100]	[90-80]	[80-70]	[70-60]	[60-50]	[50-40]	[40-30]	[30-20]	[20-10]	[10-0]	Total
S1147	cab	1.263	0.126	0.073	0.066	0.009	0.039	0.000	0.119	0.024	0.055	1.774
S1147	col	0.001	0.000	0.002	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.082	0.005	0.093
S1147	delta	1.261	0.126	0.071	0.064	0.009	0.039	0.000	0.119	-0.057	0.049	1.682

La columna “Total”, de la Tabla 5.1., equivale al contenido de la fase mineral que es reportada por el equipo QEMSCAN® y, además, es la sumatoria de todos los rangos identificados. El valor con más credibilidad y precisión corresponde al “Total”, debido a que, cada valor de un rango específico, por su baja proporción, podría generar en ciertas muestras, incerteza en las mediciones por problemas del límite de detección de la técnica que no supera el 0,1% en peso. Al excluir estos valores negativos y considerarlos como *null values*, la sumatoria excede a la reportada por el equipo en las muestras puntuales donde se genera el error. Al analizar esta diferencia en los parámetros de las fases minerales más relevantes (calcopirita y bornita), mostró que el promedio de los errores para la calcopirita no supera un 1% y que la mayoría de los datos (>75%) no tienen error asociado (Figura 5.3.). Para la bornita, los errores máximos son bastante altos, no obstante, en dos de los tres parámetros el 75% de la data no registra error y el promedio más alto es de un 13,7% para la asociación mineral.

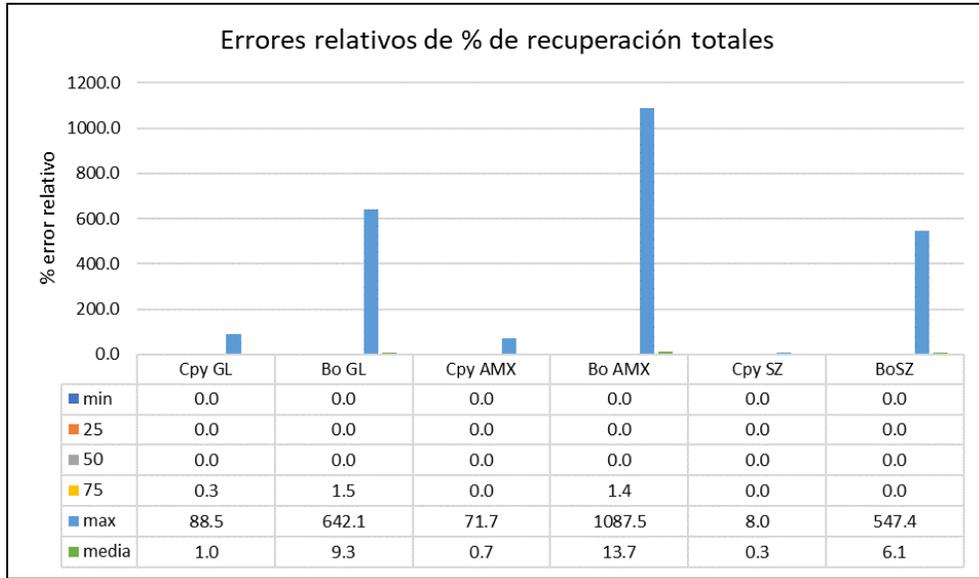


Figura 5.3: Errores relativos de las recuperaciones totales del equipo y totales con null values. GL: Grado de Liberación, AMX: Asociación Mineral, SZ: Tamaño.

En general, por cada fase mineral, los valores negativos no exceden el 15 % del total de la data del parámetro (Figura 5.4.). Las asociaciones minerales tienen mayor cantidad de datos por poseer cada mineral 22 fases posibles de asociación, en comparación con el grado de liberación y tamaño que tienen 10 y 9 rangos respectivamente.

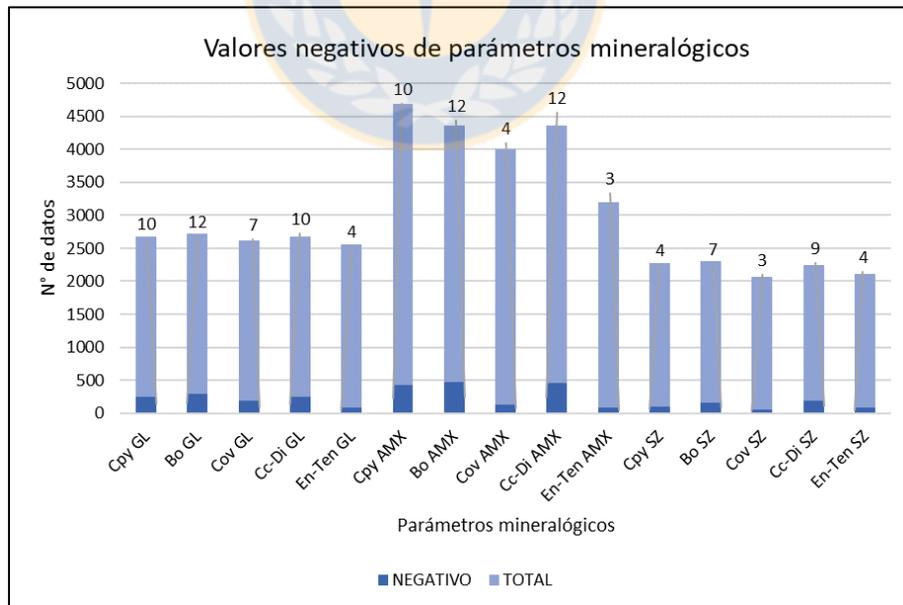


Figura 5.4: Cantidad de valores negativos por parámetro mineralógico. Valores sobre las barras corresponden al porcentaje con respecto al total de números negativos.

Si se considera el total de valores para la base datos, los porcentajes de recuperación negativos no superan el 7 % de esta (Figura 5.5.). Lo anterior, sumado a que los errores relativos asociado a las diferencias de sumatoria de los rangos no representan un valor significativo. La consideración de valores negativos a *null values*, no interfiere en la interpretación de la información.

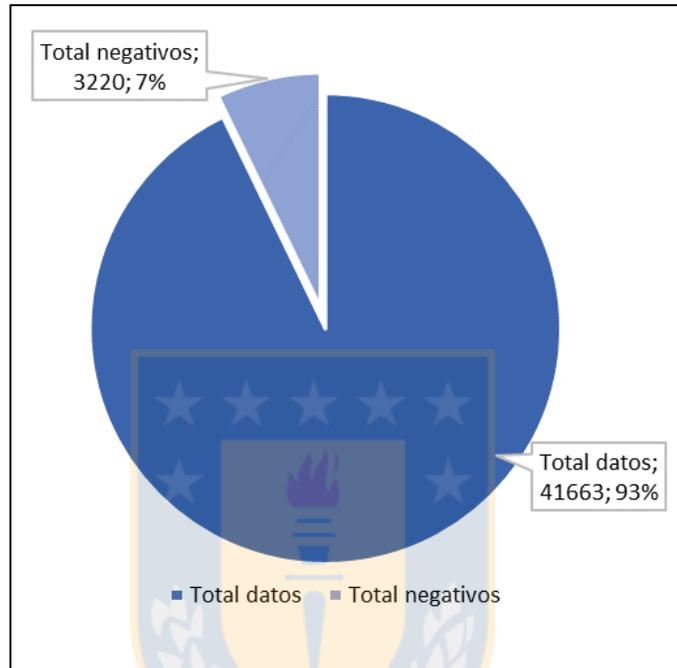


Figura 5.5: Gráfica circular del total de valores negativos con respecto al total de la data.

5.2.3 BALANCE DE MASAS

Para la realización de las pruebas de flotación *rougher* se toma una muestra representativa de 1.000 g de los 12 m de testigo y se ingresa al ensayo de flotación. La prueba considera la remoción de concentrado a un solo tiempo (tiempo fijo) de $t = 12$ min. Posteriormente se cuantifica la masa del concentrado y relave para verificar el balance en masas del ensayo (Figura 5.6.).

Las briquetas analizadas por QEMSCAN[®] poseen masas casi idénticas, sin embargo, las muestras de alimentación y relave tienen masas diferentes, por haber extraído un concentrado. El porcentaje en peso de las especies en cada etapa, quedará controlado por el volumen de la muestra original, siendo necesario una reconstitución de las muestras, en términos de masa, para obtener la verdadera ponderación del porcentaje en peso de las especies.

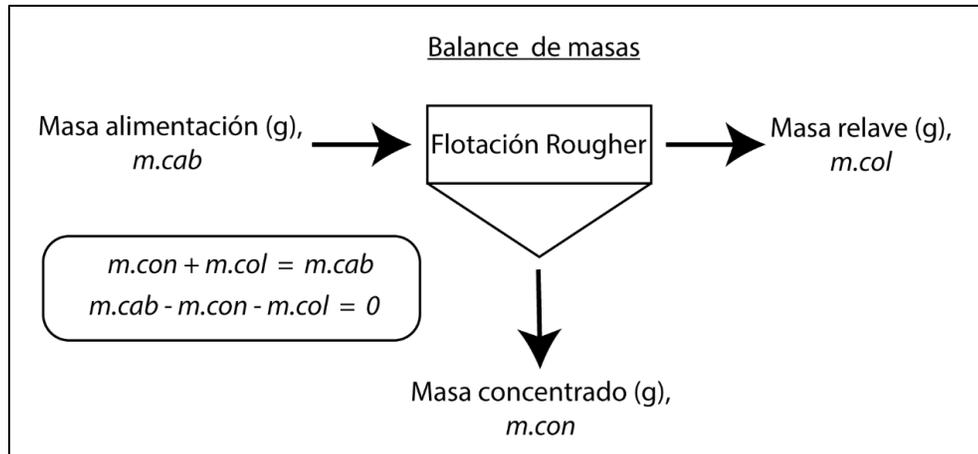


Figura 5.6: Esquema del balance en masas para un ensayo de flotación *rougher*.

Para conocer la diferencia asociada a la utilización de las masas *versus* la desestimación de este parámetro, se consideró una data representativa de 240 muestras para obtener una tendencia de las masas de alimentación, concentrado y relave (Tabla 5.2.), de esta forma, poder reconstituir los contenidos originales con la respectiva ponderación. El promedio de los concentrados y relaves son de 0,13 kg y 0,87 kg respectivamente y la masa de alimentación es constante de 1 kg. El factor de ponderación corresponderá al promedio de la masa de relave (0,87 kg) y se multiplicará para cada valor de este parámetro.

Tabla 5.2: Variables estadísticas de las masas de concentrado y relave para una data representativa de 240 muestras.

Variable	Concentrado	Relave
Min.	0,07	0,80
25%	0,11	0,85
50%	0,13	0,87
75%	0,14	0,88
Max.	0,19	0,91
Media	0,13	0,87

La correlación de la recuperación, según fase mineral, sin factor, *versus* la recuperación con factor, se ilustra en los gráficos de la Figura 5.7. y 5.8. Los valores para la calcopirita (Figura 5.7.) revelan una correlación de 1 y para la bornita (Figura 5.8.) de 0,99, es decir, para ambos casos la utilización o desestimación de las masas no hace diferencia en los datos. No obstante, para generar una data más representativa se utilizará el factor de ponderación de 0,87, para las muestras de relave. Las muestras de alimentación quedarán iguales debido a que su factor es de 1.

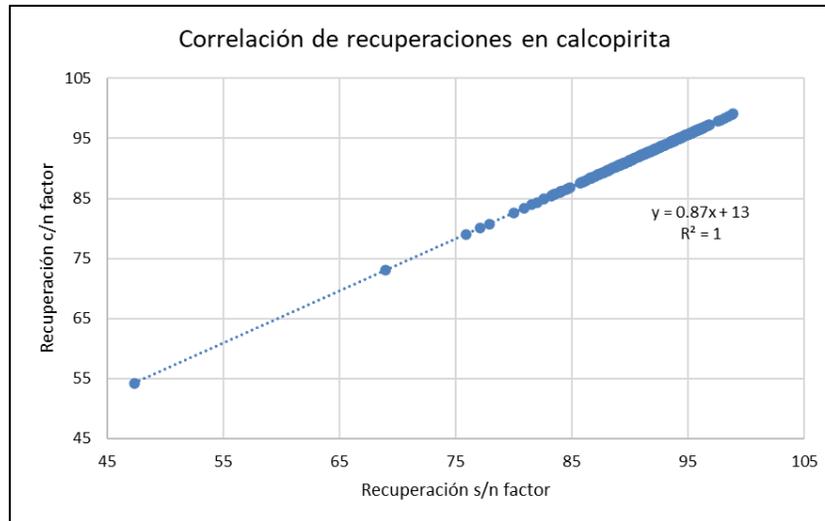


Figura 5.7: Correlación entre recuperaciones con factor de masas y sin factor de masas para calcopirita.

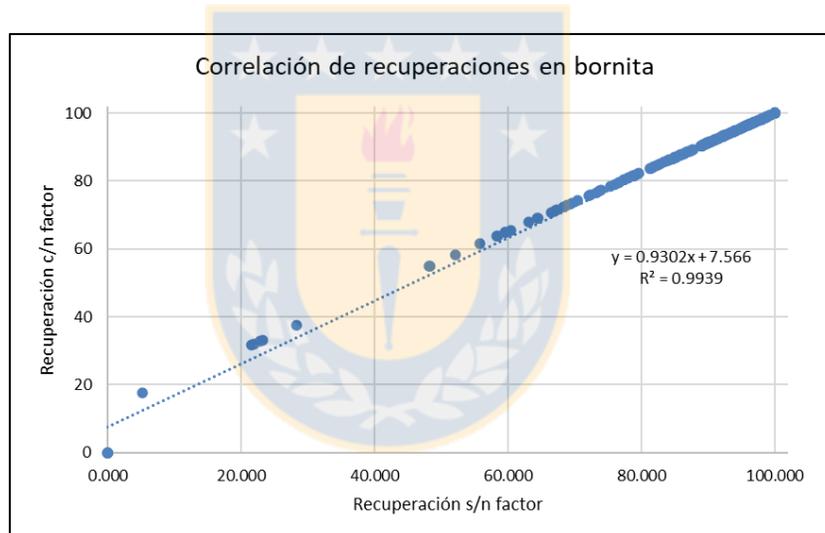


Figura 5.8: Correlación entre recuperaciones con factor de masas y sin factor de masas para bornita.

5.2.4 RANGOS DE RECUPERACIÓN MINERAL PARA LA DIVISIÓN EL TENIENTE

Para la División El Teniente una buena recuperación global de cobre es sobre un 89%, con leyes de concentrado promedios de 31,3 % en peso, sin embargo, en la actualidad no se conocen rangos que permitan discernir una buena recuperación por especie mineral, de un proceso con deficiencia. Si bien, las muestras utilizadas para el presente estudio son de sondajes analizados en laboratorios, se definieron ciertos parámetros comparativos de recuperación con respecto a lo que ocurre en planta.

Se utilizó una base de datos de compuestos mensuales de 3 años (2017, 2018 y 2019) para muestras de planta de cabeza y cola. Las líneas de procesamiento fueron de tipo alcalina asociada a la planta SAG de División El Teniente. Las especies minerales utilizadas fueron calcopirita, bornita, covelina, calcosina-digenita y tennantita. A diferencia de los datos QEMSCAN[®] considerados previamente, la tennantita (en la base de datos de compuestos mensuales) se encuentra como fase mineral sola, separada de la enargita, debido a que es determinada por técnicas ópticas tradicionales. Cabe recordar que el QEMSCAN[®] no distingue entre las fases de enargita y tennantita, considerándola como única fase (sulfosales de Cu-As).

El análisis estadístico se muestra en la Figura 5.9., en donde la calcopirita y bornita tienen recuperaciones promedio cercanas a un 90%. La covelina tiene un 82%, seguido de la tennantita y calcosina-covelina con 86% y 80% respectivamente. Las desviaciones estándares mayores son precisamente para los minerales (covelina, calcosina-digenita y tennantita) que están en menos concentraciones. Sobre el 50% de la data está por encima de recuperaciones de 90% exceptuando la covelina que está sobre un 81%. La estadística de calcopirita y bornita se comportan de forma similar, exceptuando que esta última tiene una desviación estándar más elevada. Los datos aproximados de media (90%) y percentil 75 (93%) para la calcopirita y bornita serán utilizados para entregar de forma preliminar, comparaciones con lo que ocurre en las plantas alcalinas de la División El Teniente, con respecto a la recuperación mineral de muestras de laboratorio.

Las condiciones de laboratorio son muy diferentes a las de planta, y suelen tener diferencias positivas de un 5% en las recuperaciones de cobre tradicionales, sin embargo, no hay registro si existen diferencias de las recuperaciones por especie mineral entre el laboratorio y planta, por lo que es necesario tomar estos valores con precaución y considerarlos de forma tentativa y comparativa, especialmente para los minerales que poseen una gran desviación estándar.

Las representatividades de los sulfuros de cobre que ingresan en la planta, reflejan la importancia mineral en cuanto a la influencia que puedan tener en diferentes procesos y en predominancia en el yacimiento. Un 73% del material en la alimentación corresponde a calcopirita y un 16% a bornita (Figura 5.10.), mientras que el 11% restante, son los sulfuros secundarios de calcosina, covelina y tennantita, indicando su baja representatividad de este grupo.

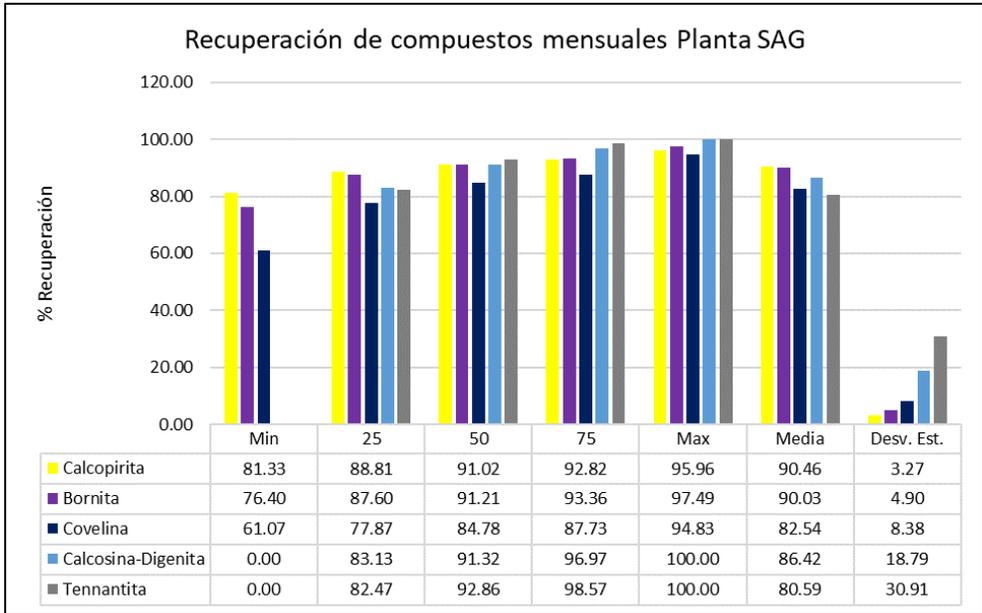


Figura 5.9: Estadística descriptiva de las recuperaciones minerales de compuestos mensuales. Periodos 2017-2018-2019 para la planta SAG de División El Teniente.

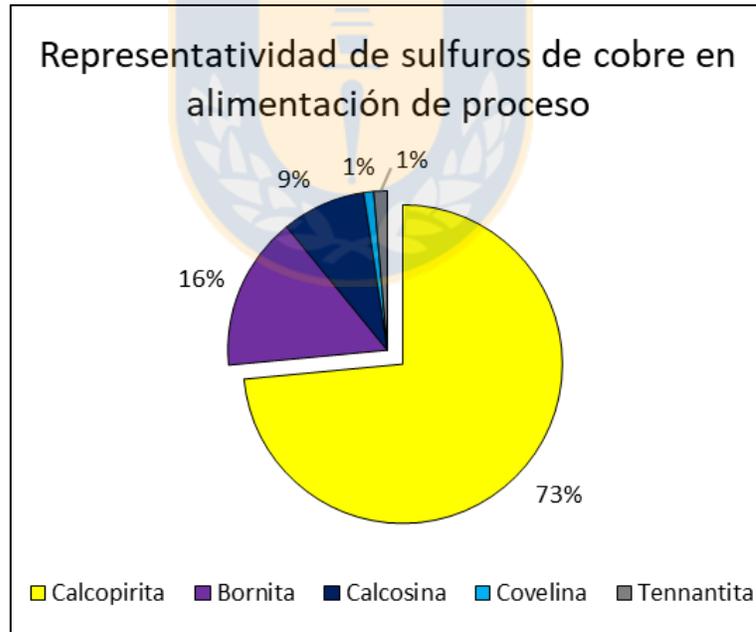


Figura 5.10: Representatividad de sulfuros de cobre en la alimentación a proceso. Periodo 2019 de plantas SAG y Colón, DET.

5.2.5 ESTADÍSTICA EXPLORATORIA DE DATOS

En la Figura 5.11., se ilustran las distribuciones de los contenidos totales por especie mineral registrados por QEMSCAN®. En el gráfico de densidad de calcopirita, se muestra que los datos forman una campana de gauss relativamente simétrica y los valores tienden a ajustarse a la recta en el gráfico de probabilidad normal, demostrando que los datos de esta fase mineral tienden a comportarse con una distribución normal. La bornita, exhibe una distribución asimétrica, sesgada a la izquierda, por lo que la mediana es mayor que la media de los datos, es decir, los valores se concentran en recuperaciones elevadas, sin embargo, en el gráfico de probabilidad normal, gran parte de sus valores se ajustan a la curva, a excepciones de los extremos, por lo que, en este caso en particular, si bien, no representa una distribución normal, será considerada como tal. El resto de las fases minerales, tanto en los gráficos de densidad, como de probabilidad normal tienen un arreglo muy diferente a una tendencia normal. Lo anterior implica que existen varias poblaciones y asimetrías en los valores. En el caso particular de la covelina, a pesar de que se ajusta a la recta de probabilidad normal en gran cantidad de sus datos, el gráfico de densidad aclara una distribución muy variada de recuperación.

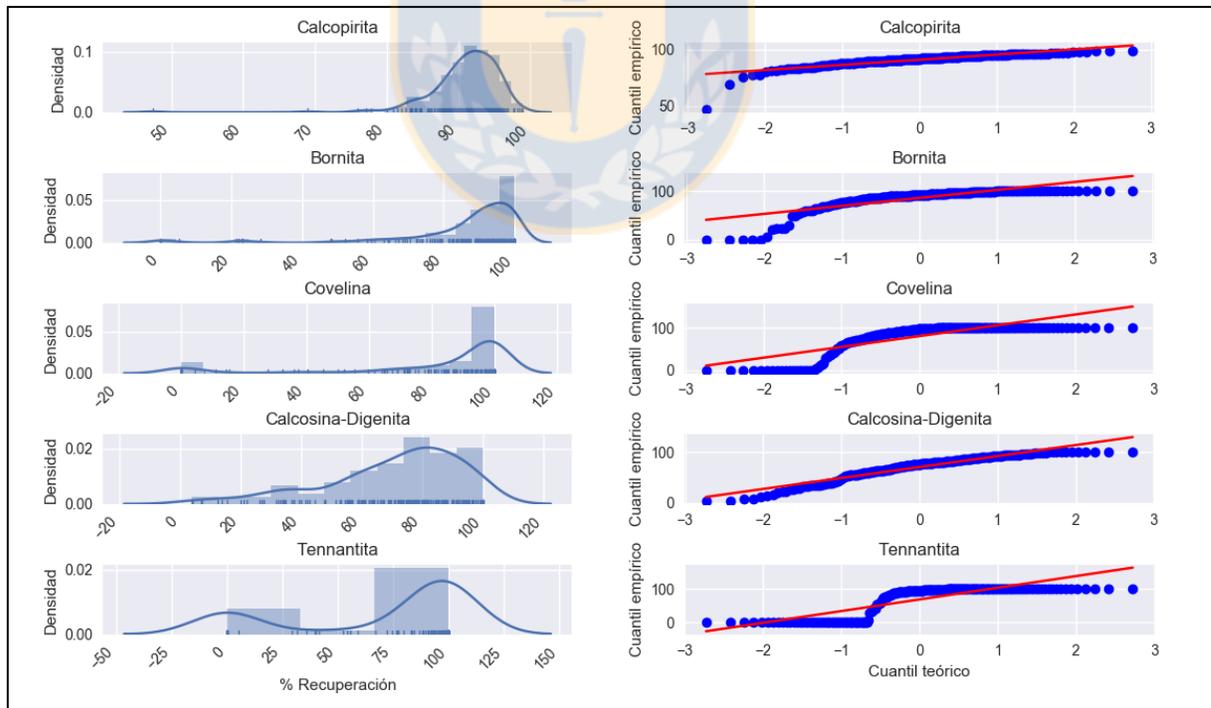


Figura 5.11: Gráficos de densidad (izquierda) y de probabilidad normal (derecha) por especie mineral según sus recuperaciones.

Las concentraciones de sulfuros secundarios que se recuperan están muy por debajo de la calcopirita y bornita, incluso pudiéndose considerárseles ceros (Figura 5.12-a), por esta razón, a medida que las cantidades de mineral disminuye, aumentan los problemas de detección del equipo, lo que añade cada vez más inexactitud y sesgo en los datos. La enargita-tennantita tiene una distribución de valores más alto en recuperación, subsiguiente de calcosina-digenita y covelina, pese a esto, las medianas de las tres fases son similares, indicando que las concentraciones de estos minerales se comportan de forma similar (Figura 5.12-b). Más del 95% de las concentraciones de las menas secundarias se hallan por debajo del límite de detección y tomando en cuenta que en planta no representan un porcentaje importante, los minerales de covelina, calcosina-digenita y enargita-tennantita no serán estudiados en el presente trabajo. Es importante destacar, que a pesar de que el 50% de los datos de la bornita se sitúan por debajo del límite de detección, será considerada en los análisis de igual manera, dado su importancia en la recuperación del cobre en el yacimiento El Teniente, mientras que para esta fase, se debe tener precaución en las posibles implicancias que pueda tener, por lo visto en la sección 5.2.2., asociado a los errores en los parámetros estudiados.

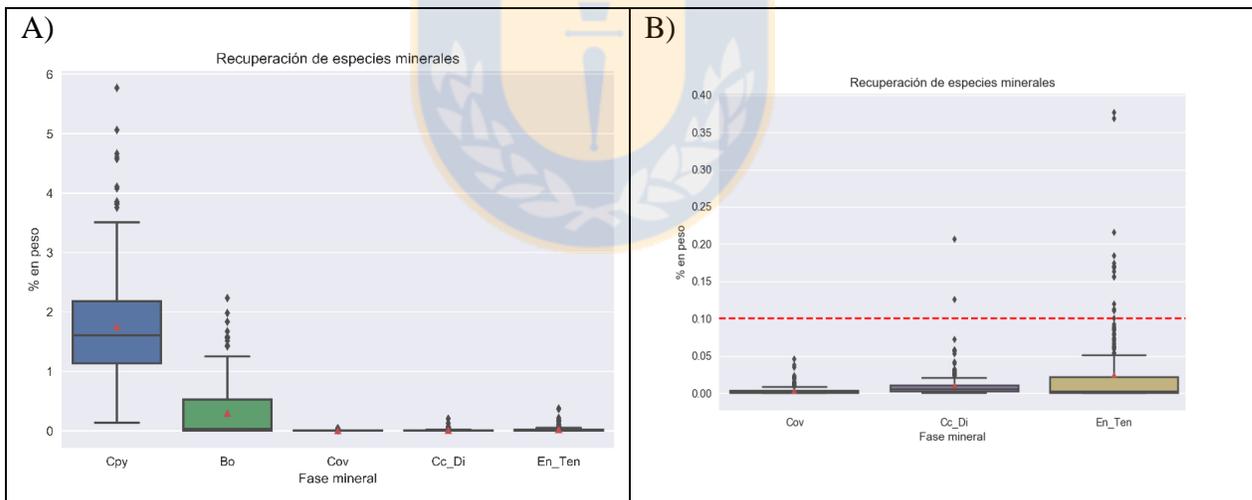


Figura 5.12: Gráfica de recuperación en porcentaje en peso de sulfuros de cobre. A) Menas de cobre primarias y secundarias. B) Mena de cobre de secundaria, línea roja indica límite de detección del equipo QEMSCAN®.

5.3 METODOLOGÍA

5.3.1 SELECCIÓN DE MUESTRAS GEOMETALURGICAS

Para el caso de estudio, se utilizaron muestras regulares (*in situ*) de sondajes diamantinos provenientes de diferentes sectores productivos (Dacita, RENO, Esmeralda, Diablo Regimiento,

Pacífico Superior) y proyectos (Andesita, Diamante, Recursos Norte, Extensión Sur Esmeralda) de la División El Teniente. Dichas muestras fueron recolectadas en distintas campañas de terreno basadas en un modelo geológico tridimensional del yacimiento, con el objetivo de representar de manera óptima el yacimiento.

Los especímenes seleccionados para los ensayos geometalúrgicos deben cumplir con ciertas características establecidas en el Estándar de Geometalurgia y Mineralogía (GRMD-SGL, 2019) de las cuales algunas son:

- Homogeneidad desde el punto de vista geometalúrgico, es decir mono-litológica con similar tipo, grado de alteración y mineralización. Si existe un modelo geometalúrgico, las muestras deben estar insertas en una sola UGM.
- La muestra debe estar contenida en una sola zona de mena (secundaria o primaria).
- La ley media de la muestra debe ser mayor o igual a la ley de corte vigente al momento de muestrear.
- Se define un soporte único de muestra de 12 metros continuos para el caso de testigos de sondajes (Figura 5.13.), ya sea testigo completo, medio testigo o rechazo de preparación mecánica, con el fin de entregar la masa requerida para los distintos ensayos.

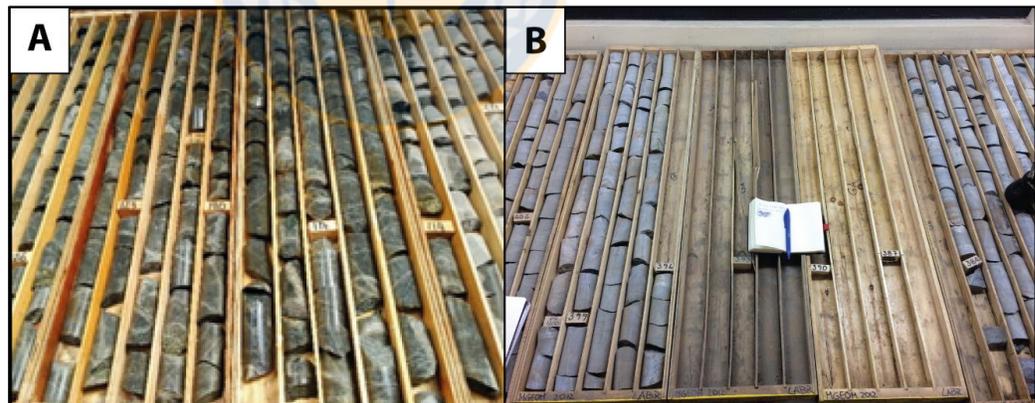


Figura 5.13: Registro fotográfico de muestra geometalúrgica de 12 m. A) Registro previo a la toma de muestra. B) Registro posterior a la toma de muestra.

- Las muestras tienen como requisito previo la realización de un mapeo geológico. Si el sondaje ya fue mapeado en campañas anteriores, dicho mapeo debe ser comprobado y validado.

- Las muestras no deben provenir de tramos de sondajes con baja recuperación de testigo (RQD < 80%).
- Las muestras pueden provenir de sondajes con distintos diámetros, por ende, se debe asegurar que los tramos seleccionados cumplan con el peso mínimo para la realización de los distintos ensayos. A modo de referencia se presenta la Tabla 5.3. con los pesos aproximados según diámetro de sondajes.

Tabla 5.3: Pesos típicos de tramos de sondajes de 12 m.

Diámetro sondaje		Largo tramo	Peso tramo (kg)		
Corona	(cm)	(m)	Promedio	Mínimo	Máximo
BQ	3,65	12	45	40	50
NQ	4,76	12	60	50	70
HQ	6,35	12	100	95	105

- Se visualizan los posibles tramos a muestrear en función de las unidades geológicas que atraviesa el sondaje, contrastando esto con el entorno geológico y la relación espacial con los muestreos existentes.

5.3.2 PRUEBAS METALURGICAS DE FLOTACIÓN

Para los análisis de flotación se debe tener una cierta granulometría previa alcanzada por una molienda controlada en molinos de bola de laboratorio, obteniendo una granulometría final de 20% + 100# Tyler (~150 μ m).

El tipo de prueba de flotación es del tipo *rougher* a tiempo fijo, la cual consiste en la remoción de un concentrado a un solo tiempo de $t=12$ min y tiene como objetivo eliminar las partículas mixtas al máximo y obtener un concentrado lo más enriquecido posible.

El ensayo se realiza en una celda de flotación WEMCO, que se constituye de un brazo que provee de aire al contenedor y la rotación de los agitadores para simular el proceso en planta (Figura 5.14.). El mecanismo de extracción del concentrado se hace por medio de un paleteo manual, en un periodo de 10 seg.

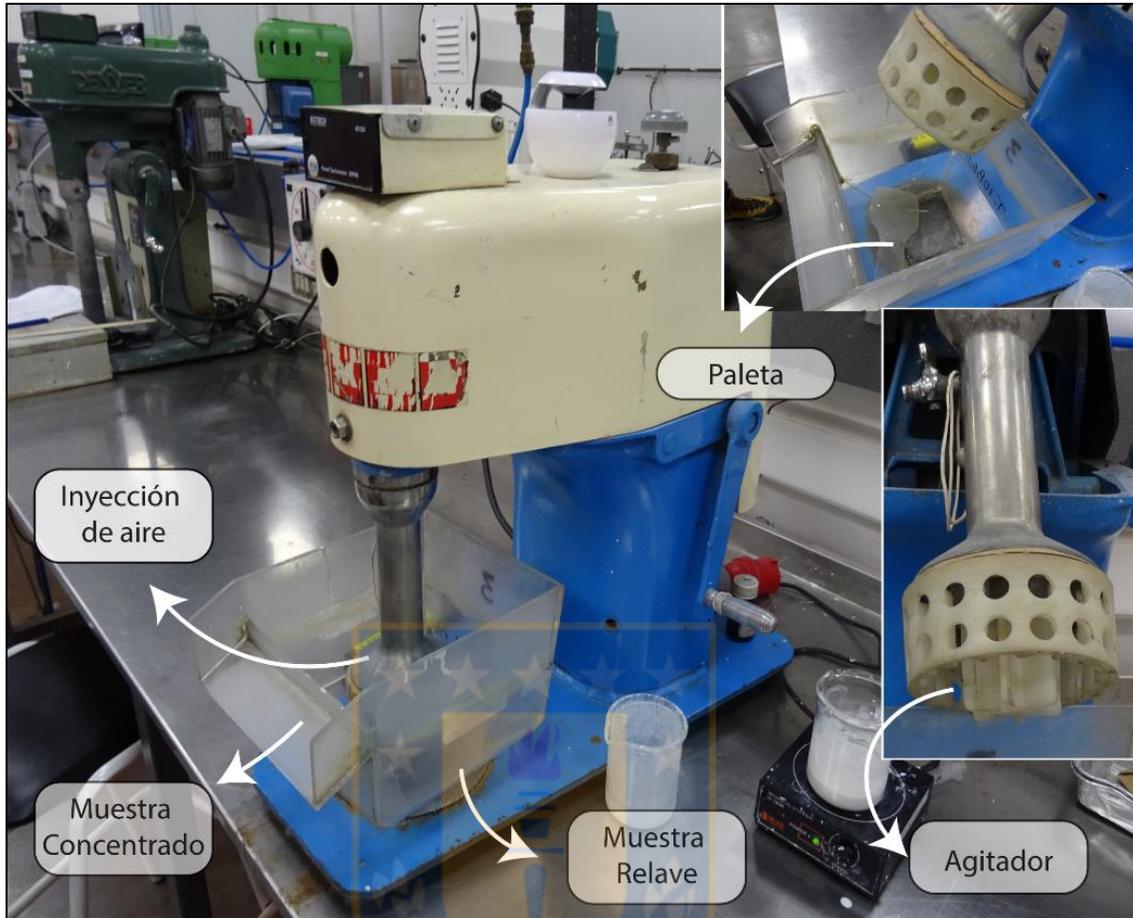


Figura 5.14: Celda de flotación WEMCO utilizada para las pruebas geometalúrgicas de flotación. Laboratorio SGS.

La pulpa de flotación consiste en una mezcla de sólido (31% en peso), agua, cal, colectores y espumantes. La adición de cal tiene como objetivo alcanzar los niveles de alcalinidad del proceso en planta (pH 9,5) y lograr depresar la pirita. Los colectores que se utilizan son el tianocarbamato y xantato isopropil en una proporción de 34:6 g/t respectivamente.

De este ensayo se obtienen las muestras de concentrado, recolectado por el paletado manual en una bandeja, y la muestra de relave, correspondiente al remanente de la celda. Ambas son llevadas a hornos para secarlas a una temperatura de 90-100°C (Figura 5.15.). Posteriormente, estas muestras son trasladadas a los laboratorios de fabricación de briquetas para ser analizadas química y mineralógicamente.

En la Figura 5.16. se resume el proceso de toma de datos durante el proceso de flotación. A partir de los 12 m de sondaje, se extrae una muestra representativa para realizarle una briqueta antes que entre al ensayo de flotación. Luego, los productos de esta prueba (concentrado y relave)

también se les confecciona una briqueta para analizarlas y obtener la información mineralógica asociada.



Figura 5.15: Horno de secado y muestra seca después del secado.

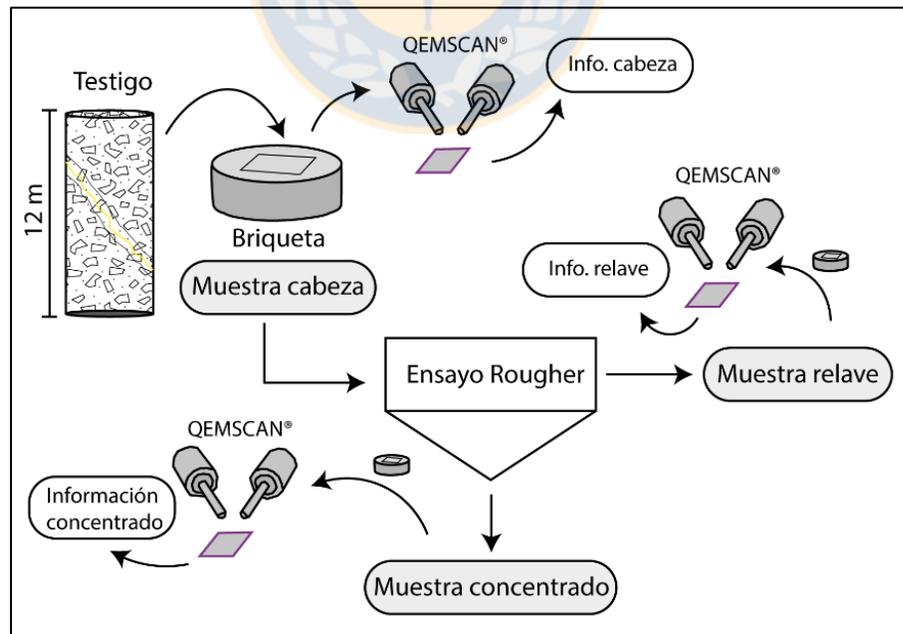


Figura 5.16: Esquema del proceso de toma de información para las muestras de cabeza-concentrado-relave.

5.3.3 CARACTERIZACIÓN QUÍMICA

La caracterización química de las muestras permite realizar los balances metalúrgicos de cabeza, concentrado y cola de las pruebas de flotación, además de la caracterización química de la muestra, que es utilizada para la mineralogía automatizada y experimentación metalúrgica.

En este procedimiento se analiza una batería estándar, correspondiente a la División El Teniente, con los elementos necesarios para realizar el Balance Metalúrgico de Minerales (BMM) de cabezas y colas, Balance de Concentrados (BMC) y los análisis químicos que se requieren para una caracterización completa (Roca Total-RT, Elementos menores y trazas- EM+TR, Tierras Raras-REE) de la muestra.

5.3.4 ANÁLISIS MINERALÓGICO DE MUESTRAS GEOMETALURGICAS

Para el análisis mineralógico se estudiaron un total de 247 muestras, cada una de ellas con sus respectivos ensayos geometalúrgicos de cabeza, concentrado y cola, obteniendo una data final de 741 muestras. En ellas, se caracterizaron la mineralogía global de mena y ganga, asociación mineral, grados de liberación y tamaño de partículas para las especies de mena de Cu, las que incluye: calcopirita (cpy), bornita (bo), covelina (cov), calcosina-digenita (cc_di) y enargita-tennantita (en_ten). La totalidad de la información fue realizada a través del análisis por técnica mineralógica automatizada (QEMSCAN[®]) y corroborada por análisis de microscopía óptica de briquetas para características específicas como la mineralogía de asociación.

QEMSCAN[®] es un sistema automatizado que permite realizar mapas mineralógicos de alta resolución (Figura 5.17.). Funciona gracias a un SEM (Scanning Electron Microscopy) y dos espectrómetros de rayos X (EDS: Energy Dispersive X-Ray Spectrometers) (Figura 5.18.). Al incidir el haz de electrones del SEM sobre la muestra se generan “*Backscattered Electrons*” (BSE), que son medidos en su brillo para localizar las partículas individuales dentro de la muestra. Posterior a esto realiza un barrido sobre la superficie en una grilla de espaciado con una resolución de 3 μm .

El haz de electrones genera la emisión de rayos X producto de la liberación de energía, emitida, por los electrones de alta energía dentro del elemento, que ocupan los espacios dejados por electrones de niveles energéticos más bajos que son sacados fuera de su posición. Los espectros de rayos X obtenidos son comparados con una base de datos y de esta forma se identifican todas las fases minerales presentes en la muestra en cada espacio de la grilla.

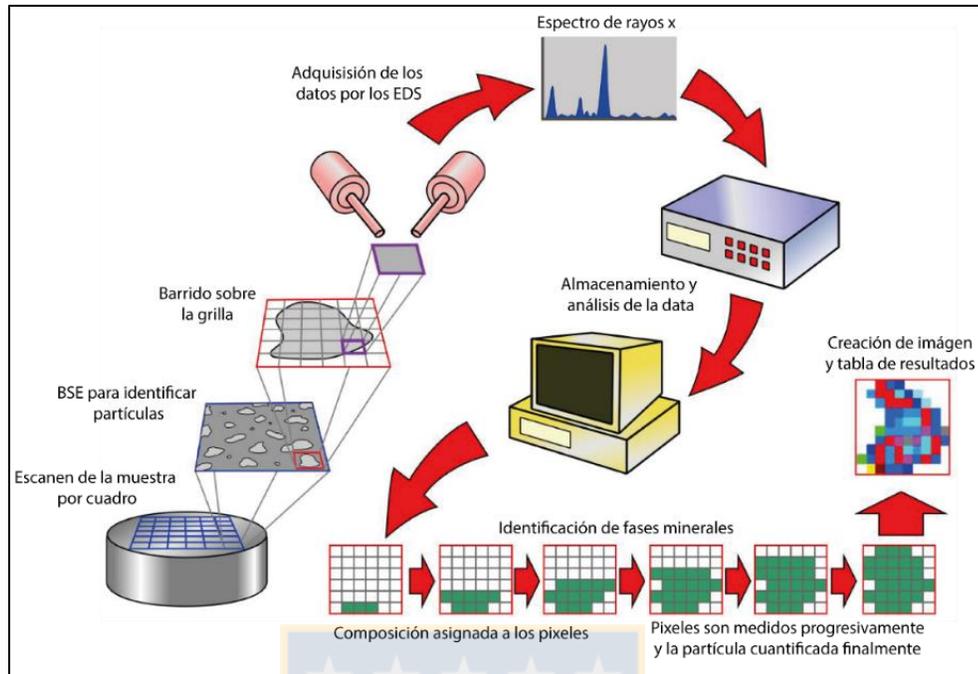


Figura 5.17: Diagrama de funcionamiento del QEMSCAN®.

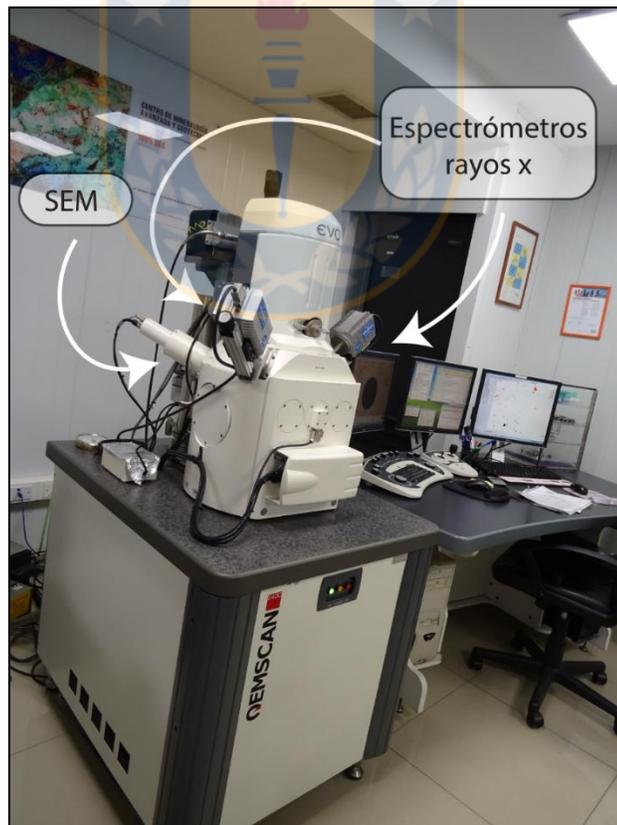


Figura 5.18: Equipo QEMSCAN® del laboratorio SGS.

Las briquetas que se utilizan para el análisis de QEMSCAN® son preparadas de forma similar que los cortes pulidos transparente, se diferencian en que la lámina que es pegada al porta objeto no es una sección delgada de roca, sino que es una sección completa de un cilindro que es confeccionado a partir de 100 gramos de muestra molida, que se fracciona para mezclarlo con una resina epóxica, la que se vierte en moldes cilíndricos y que se deja secar (Figura 5.19.). Una vez endurecida la resina es tratada como si fuera un trozo de roca y es procesada similar a un corte pulido transparente. Por cada muestra (cabeza y relave) se confeccionan 2 briquetas, una para la fracción fina (0,7 g) y otra para la gruesa (1 g), además, son mezcladas y pulverizada la superficie con grafito en polvo para separar las partículas minerales y mejorar conducción durante el análisis. El concentrado posee solo una briqueita de aproximadamente 0,7 gramos.



Figura 5.19: Fotografías de briqueita finales.

La información entregada por QEMSCAN® comprende varios aspectos, no obstante, para este estudio se consideró:

- Reporte mineralógico
- Grado de liberación para cada especie mineral (no grano). Debe ser reportado para todas las fases sulfuradas de cobre en valores absolutos y relativos. A modo de ejemplo, se muestra la tabla de reporte para calcopirita (Tabla 5.4.).
- Imágenes LIB: Debe contener las imágenes generadas por la lectura para el grado de liberación determinado para cada especie (Figura 5.20) con una escala estipulada por DET.

Tabla 5.4: Ejemplo de reporte de liberación.

GRADO DE LIBERACION CALCOPIRITA (MINERAL MASS %)	ID MUESTRA
Free Chalcopyrite $\geq 90\%$	
Free Chalcopyrite $< 90\%$ and $\geq 80\%$	
Free Chalcopyrite $< 80\%$ and $\geq 70\%$	
Free Chalcopyrite $< 60\%$ and $\geq 50\%$	
Free Chalcopyrite $< 50\%$ and $\geq 40\%$	
Free Chalcopyrite $< 50\%$ and $\geq 40\%$	
Free Chalcopyrite $< 40\%$ and $\geq 30\%$	
Free Chalcopyrite $< 30\%$ and $\geq 20\%$	
Free Chalcopyrite $< 20\%$ and $\geq 10\%$	
Free Chalcopyrite $< 10\%$ and $> 0\%$	
Total	

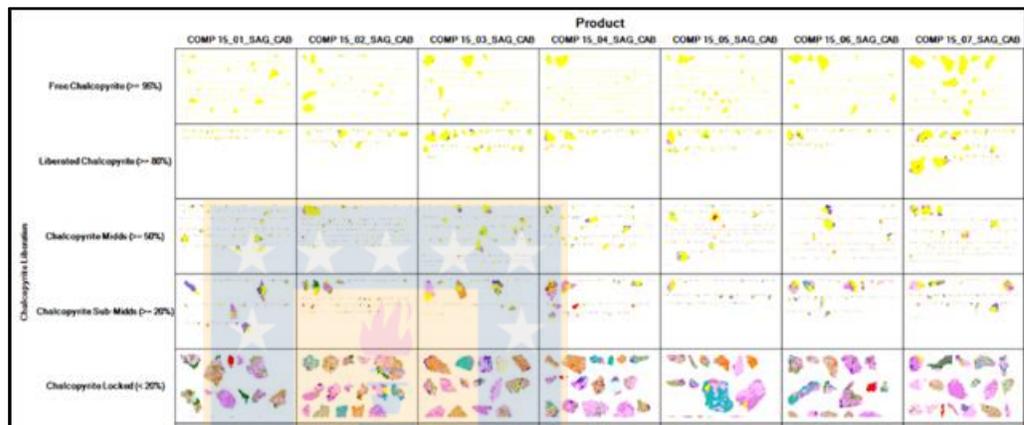


Figura 5.20: Ejemplo de reporte de imágenes de grado de liberación.

- Asociación mineral para todas las especies minerales (no partícula) de Cu. Las asociaciones se determinan en relación a partículas binarias y complejas asociadas a cada especie (Tabla 5.5.) previamente reconocidas de mineralogía óptica y automatizada. Además, se incluye imágenes representativas de cada una de las asociaciones minerales determinadas en la lectura (Figura 5.21).

Tabla 5.5: Ejemplo de reporte de asociación mineral para calcopirita.

ASOCIACIÓN MINERAL POR ESPECIE (MINERAL MASS %)	
ASOCIACION CALCOPIRITA	ID MUESTRA
Free Chalcopyrite	
Chalcopyrite : Pyrite (Binary)	
Chalcopyrite : Hard Silicates (Binary)	
Chalcopyrite : Phyllosilicates (Binary)	
Chalcopyrite : Fe-Ti Ox.(Binary)	
Chalcopyrite : Hard Silicates : Phyllosilicates(Complex)	
Chalcopyrite : Other Sulphides (Binary)	
Chalcopyrite : Anhydrite/Gypsum (Binary)	
Chalcopyrite : Other Cu Minerals (Binary)	
Complex/Others	
Total	

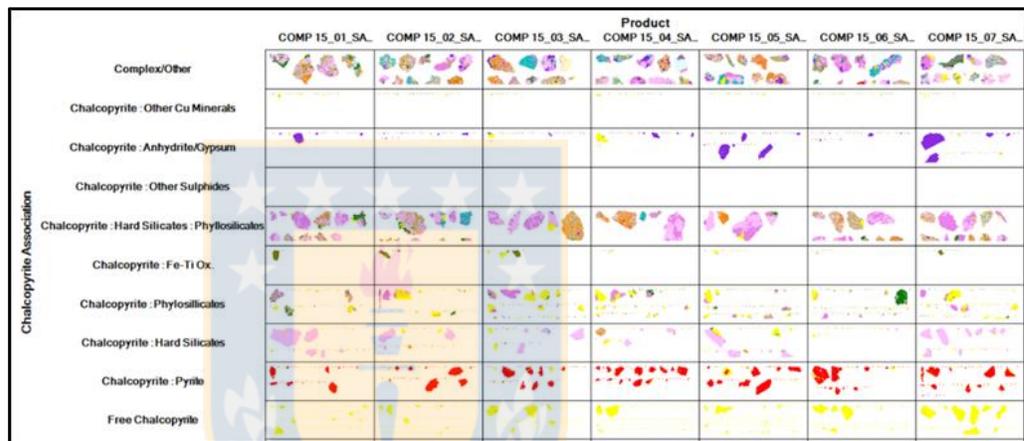


Figura 5.21: Ejemplo de reporte de imagen de asociación mineral.

- Tamaño mineral de la especie mineral para las fases de Cu en rangos de 10 micrones (Tabla 5.6.) y sus respectivas imágenes.

Tabla 5.6: Ejemplo de reporte de tamaño para calcopirita.

CHALCOPYRITE			
Product			
ID MUESTRA		Size Average	Mineral Mass %
	≥ 212		
	$\geq 106 < 212$		
	$\geq 75 < 106$		
	$\geq 53 < 75$		
	$\geq 45 < 53$		
	$\geq 38 < 45$		
	$\geq 24 < 38$		
	$\geq 12 < 24$		
	< 12		
All Particles			

5.3.5 DEPURACIÓN DE LA BASE DE DATOS

Las tablas de datos de mineralogía (Estructura Mx) y de muestras (Maestra), pertenecientes a la base de datos del área de Geometalurgia y Mineralogía, se depuraron con el lenguaje de programación *Python* y *Excel*. De un total de 6.544 datos, para la tabla de mineralogía, se utilizó solo 729 valores, correspondiente al 10% (Figura 5.22).

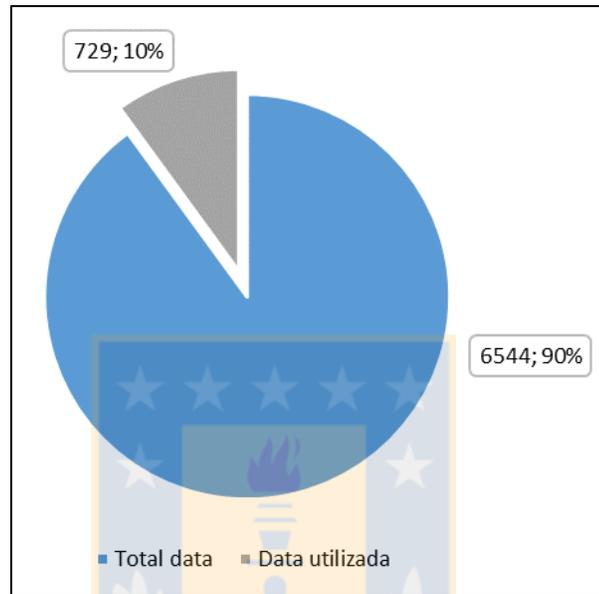


Figura 5.22: Gráfica circular de la data utilizada.

La metodología de filtro, para obtener la cifra anterior consistió en la selección de información entregada por la técnica QEMSCAN®; seguido del parámetro $p_{80} = 150 \mu\text{m}$; tipo de ensayo, correspondiente a cabeza-cola-concentrado; solo muestras de sondaje; información existente de los parámetros en estudio (grado de liberación, tamaño y asociación mineral); y que no correspondieran a Puntos de Extracción (PE) (no son muestras de sondaje). Con lo anterior, la data se redujo a 949 valores (Figura 5.23.), lo que permitió cruzarla con la segunda tabla de datos de muestras, bajo el parámetro de “ID de muestra” (Figura 5.24.). Como cada ejemplar (ID), tiene asociado una data de cabeza, relave y concentrado, se utilizó solamente las muestras de cabeza (323 datos), para el cruce.

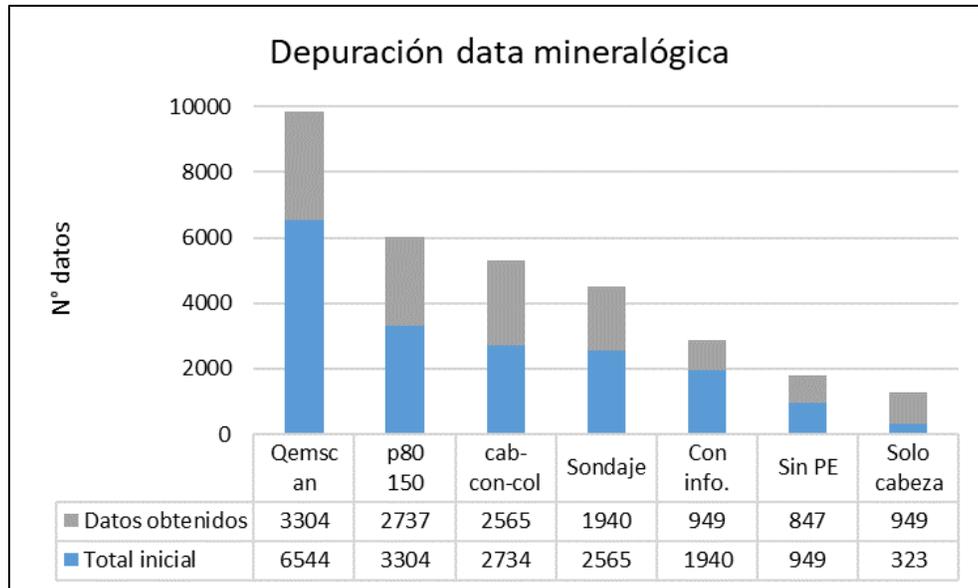


Figura 5.23: Recuento de datos por parámetro filtrado.

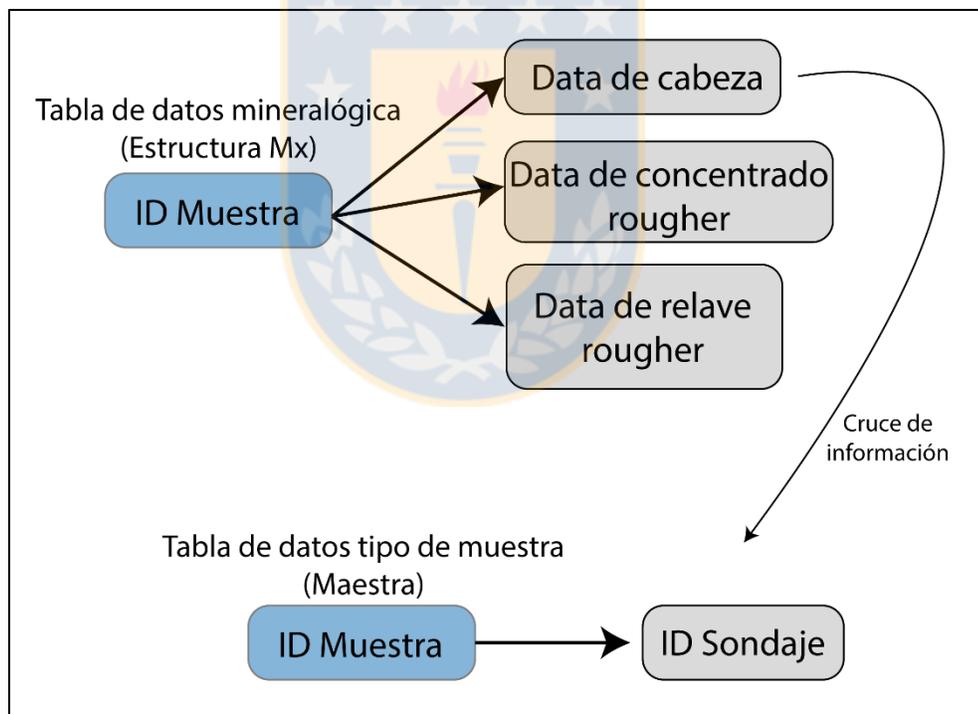


Figura 5.24: Diagrama esquemático del cruce de información de ambas tablas de datos.

La información cruzada, arrojó 292 valores (Figura 5.25.), 31 valores menos que la anterior, debido a que la segunda tabla de datos se encuentra en un proceso de actualización y no cuenta con toda la información hasta la fecha. Posteriormente, se descartaron los duplicados y muestras de

compósitos (para no sobrestimar y por la baja representatividad respectivamente), resultando finalmente 268 datos, de los cuales 4 muestras se descartaron por ser de la zona de mena secundaria. Por último, 21 valores de cabeza, no contenían información de concentrado y cola, por lo que se desestimaron.

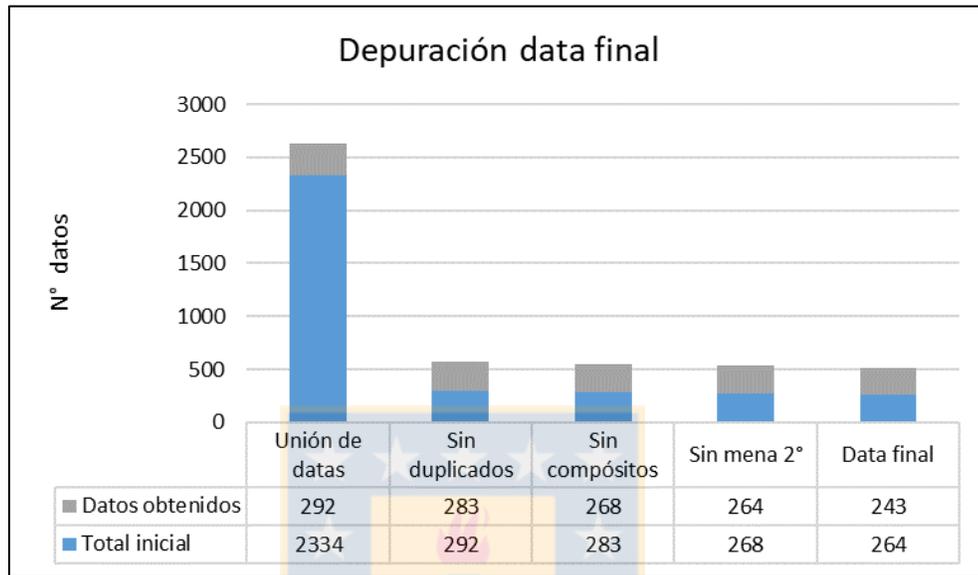


Figura 5.25: Recuento de datos por parámetro filtrado para data final.

Es importante mencionar, que el filtrado de la información según sector productivo/proyecto, genera una gran asimetría en la ponderación de datos (Figura 5.26.). Lo anterior se debe a que los proyectos son estudios recientes con fases de explotación esperadas para el 2023-2025, en donde se han muestreado bajo los recientes estándares y baterías de análisis de la DET, a diferencia de los sectores productivos que cuenta con una data más antigua y poco actualizada.

Al aplicar la metodología de cálculo, para la recuperación por especie (vista en la sección 5.2.2.), disminuye la población de datos para cada una de las fases minerales (Figura 5.27.) y se condice con el aumento progresivo hacia especies como enargita-tennantita por la dificultad de detección, debido a la baja proporción de estas fases minerales. Aunque, cabe recordar, que estas especies no fueron consideradas para el análisis.

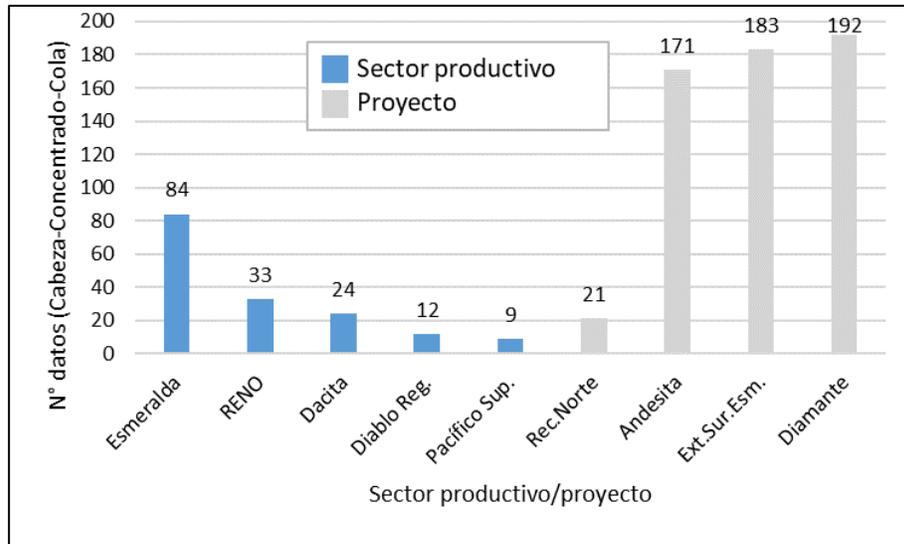


Figura 5.26: Gráfico de cantidad de datos por sector productivo/proyecto.

Número de datos considera cabeza, cola y concentrado, por lo que en cada sector el número de muestras corresponde al valor del gráfico dividido tres.



Figura 5.27: Gráfica resumen de la proporción total de datos desestimados versus el total de datos.

6 ANÁLISIS Y RESULTADOS

6.1 ANÁLISIS GLOBAL

Más del 90% de los valores de calcopirita están sobre el 85% de recuperación, a diferencia de la bornita que establece una distribución más amplia, con recuperaciones que van desde 0-100%. Aunque, de igual forma, gran parte de la data de bornita (60%) se recupera sobre un 90% (Figura 6.1.). Al comparar estas recuperaciones con lo que ocurre en la planta, el 70% de las muestras estudiadas tiene recuperaciones por sobre el promedio del SAG con respecto a la calcopirita y un 60% para la bornita. Hacia recuperaciones más elevadas, la bornita comienza a predominar por sobre la calcopirita, llegando al 100% de recuperación, para al menos un 15% de las muestras.

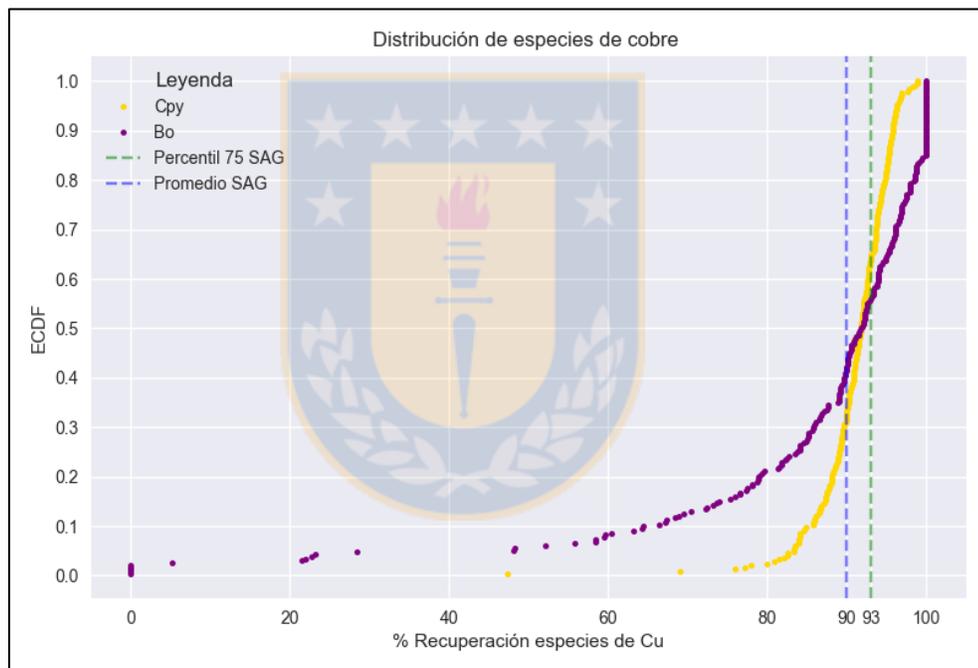


Figura 6.1: Gráfico de distribución de especies de cobre *versus* % recuperación (gráfico empírico de densidad acumulada).

6.1.1 CALCOPIRITA

En los sectores norte de la DET se obtienen recuperaciones por sobre el 90 %, destacando Recursos Norte y Dacita que superan el 93% para más de la mitad de sus muestras (Figura 6.2.). Por otra parte, RENO, perteneciente también al sector norte del yacimiento, es el sector con menos recuperaciones (~88% en promedio). El resto de los sectores tienen recuperaciones que están entre un 90 y 93% para la mediana, a excepción del proyecto Diamante que supera este valor.

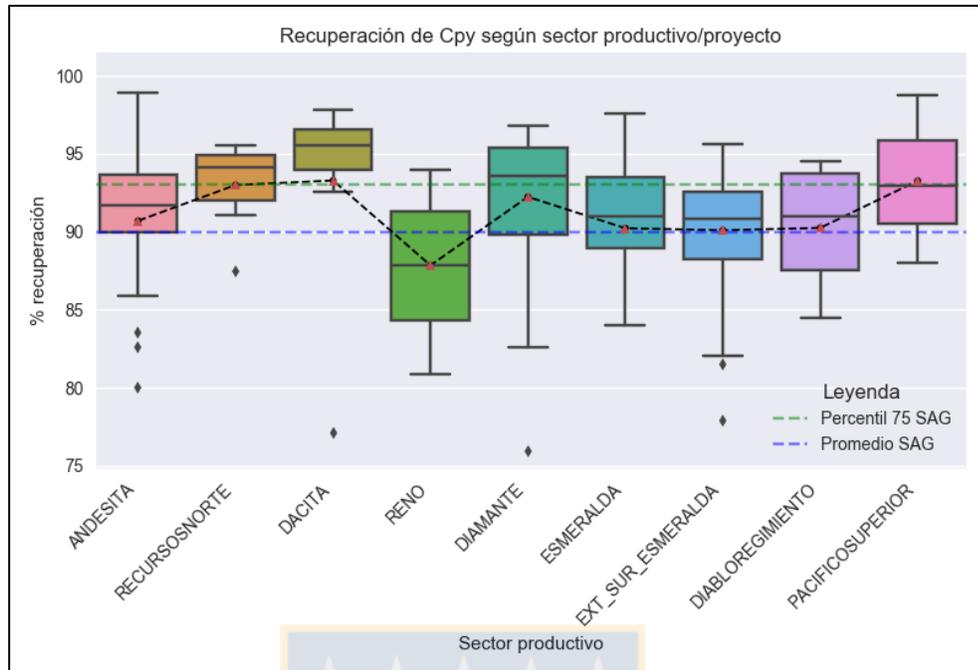


Figura 6.2: Gráfica de recuperación de calcopirita según sector productivo/proyecto.

Lo anterior, se relaciona muy bien con las litologías en dichos sectores. A pesar de que el CMET es la unidad más común, con casi un 60% de representatividad (Figura 6.3.), el Pórfido Dacítico (PDA) tiene las recuperaciones más altas (>93%) (Figura 6.4.). Los intrusivos félsicos, en general, están por encima del 90% de recuperación, salvo el Pórfido Diorítico Grueso (PDG), siendo la unidad con menos recuperación (~84%). Los sistemas de brechas, tienen un comportamiento más variado que los intrusivos félsicos. En ambas figuras, el CMET tiene la mayor variabilidad en términos de recuperaciones

La distribución del parámetro de grado de liberación refleja una importante recuperación para el rango de [100-90] (libre) en comparación con el resto de grados de liberación (Figura 6.5.). Por otro lado, los demás intervalos muestran una baja recuperación que no superan el 20%. El orden de mayor a menor de estos rangos se encuentra dentro de lo esperado hasta el [80-70], después de éste resalta el intervalo de [10-0] por sobre rangos de mayor grado de liberación, lo que demuestra que se está recuperando una gran cantidad de calcopirita ocluida. El resto de los valores se encuentra muy cercanos entre sí y no ejercen una predominancia en la recuperación.

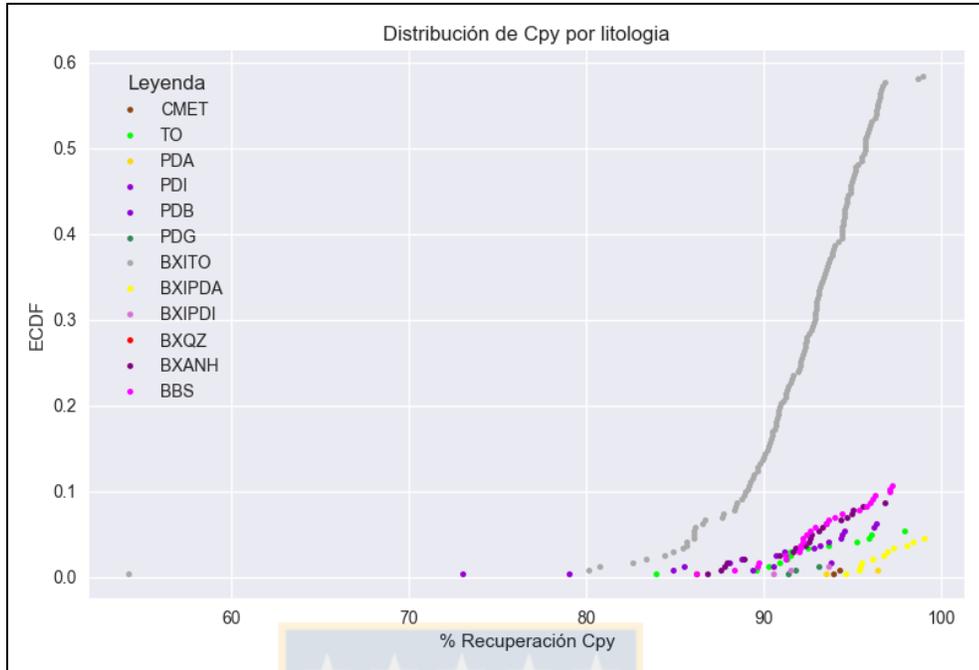


Figura 6.3: Gráfica de distribución de recuperación de calcopirita versus litología.

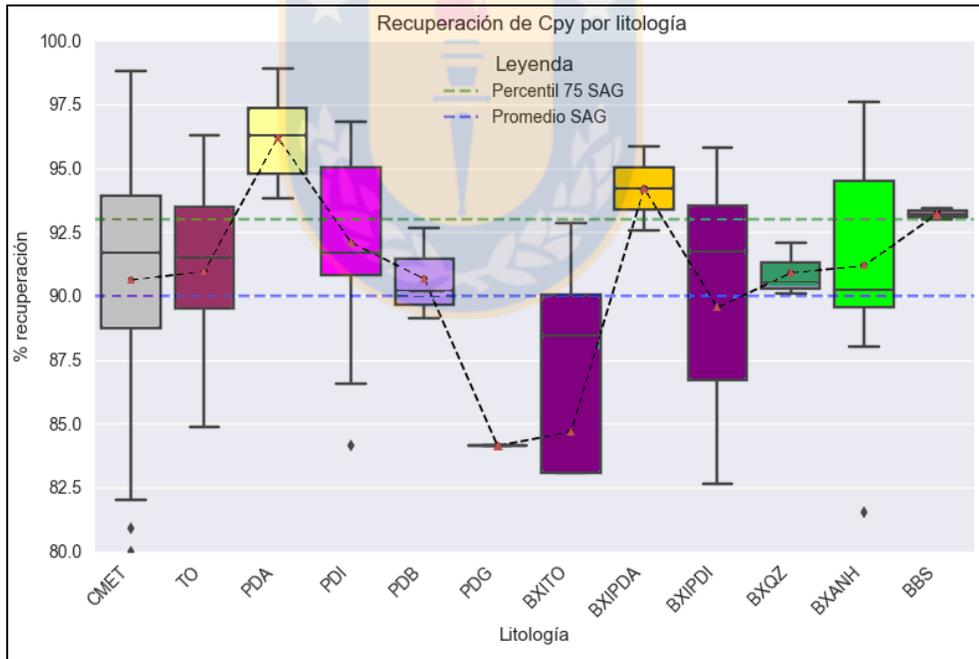


Figura 6.4: Gráfica de recuperación por litologías para la calcopirita.

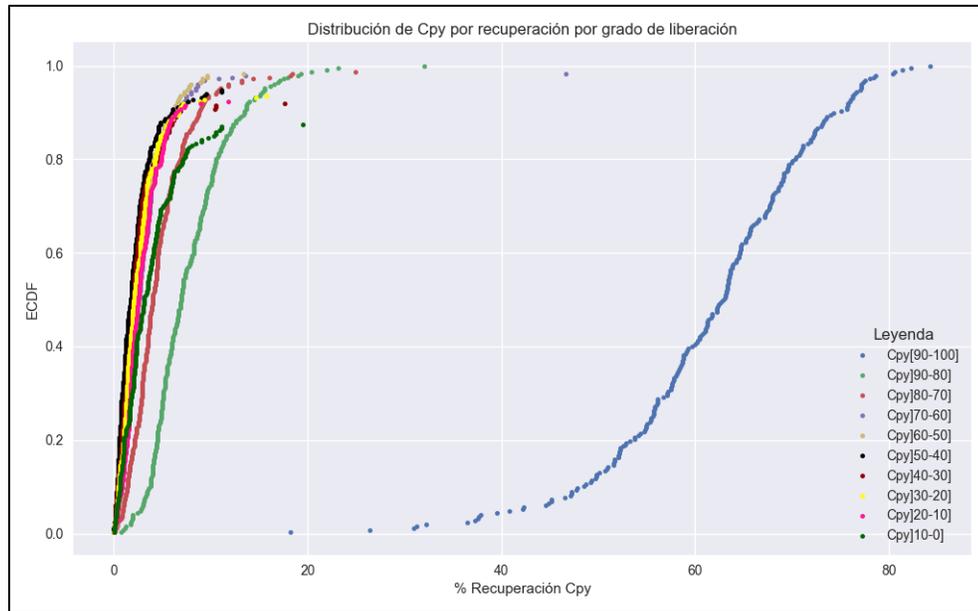


Figura 6.5: Distribución de calcopirita según diferentes rangos de grado de liberación versus porcentaje de recuperación.

El grado de liberación se encuentra relacionado a la asociación mineral de la especie en estudio. La calcopirita libre es la que se recupera en mayor proporción por no tener impedimento al adherirse a las burbujas de flotación (Figura 6.6.). Gran parte de la calcopirita viene acompañada de partículas complejas, filosilicatos, asociaciones de silicatos duros con filosilicatos, pirita y otros minerales de cobre. Las menores recuperaciones están relacionadas a minerales como clorita, óxidos de hierro-titanio, arcillas, molibdenita y asociaciones de silicatos duros con arcillas, aunque esto puede estar relacionado, ya sea porque se encuentran en muy baja proporción, o porque efectivamente interfieren en el proceso. Es importante mencionar que los filosilicatos (desglosados) no llegan al 100% de las muestras, debido a que parte de la base de datos se encuentra con información del tipo de filosilicatos y otra como grupo de filosilicatos. Lo anterior es producto de análisis más recientes, que fueron solicitados a laboratorios respectivos por parte de la DET, para la identificación de la mineralogía.

La Figura 6.7. corresponde a un desglose específico de las fases minerales de los filosilicatos. Los que tienen una mayor injerencia son las asociaciones con muscovita-sericita, tanto para los silicatos duros, como por sí sola, seguido de, biotita, clorita, silicatos duros:biotita y silicatos duros:clorita. En general ocurre esta tendencia, en donde hay mayor recuperación en fases aisladas de filosilicatos que en fases con silicatos duros. Por otra parte, las arcillas (caolinita: arcillas) no se encuentran tan presentes en las recuperaciones de calcopirita.

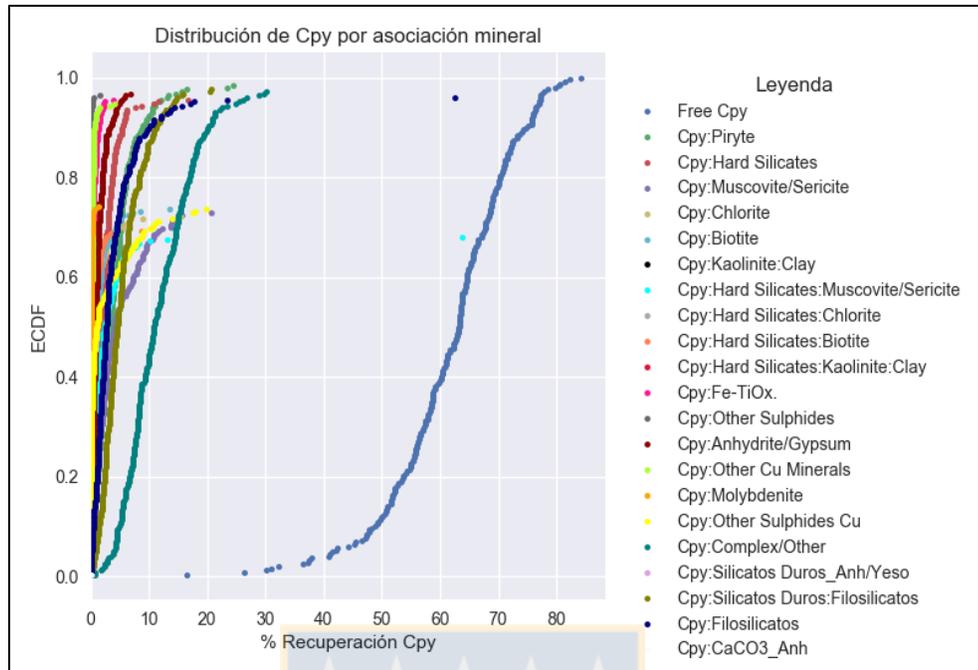


Figura 6.6: Distribución de calcopirita según asociación mineral *versus* porcentaje de recuperación.

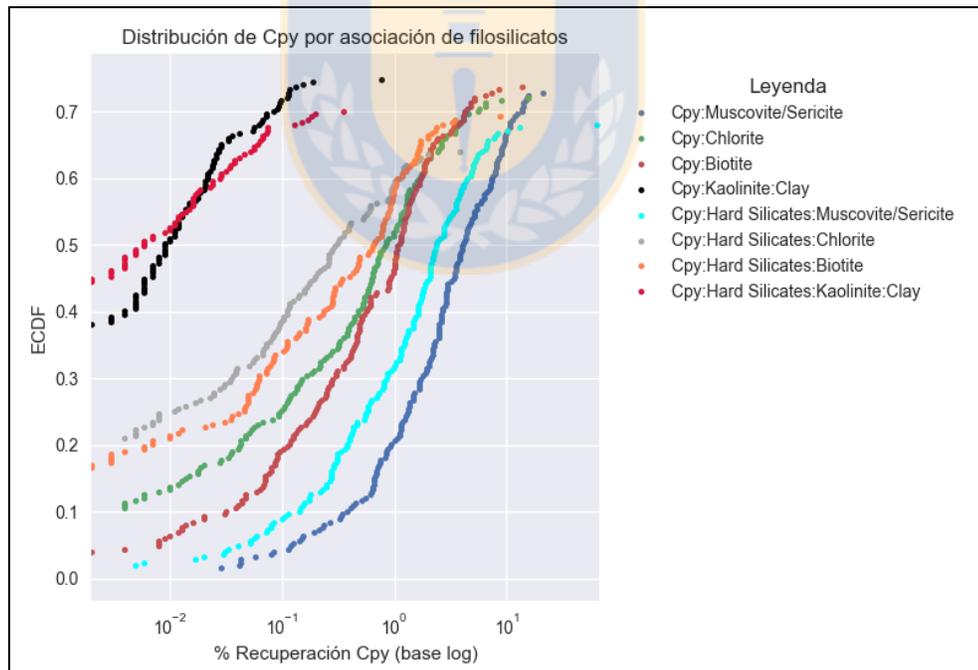


Figura 6.7: Distribución de calcopirita según tipo de filosilicato *versus* % de recuperación.

En general, en los procesos de flotación convencionales, la recuperación por tamaño se acentúa hacia las dimensiones intermedias, despreciando las fracciones extremas (muy finas o muy

gruesas). Las muestras revelan que efectivamente la fracción gruesa, sobre los 212 μm , tienen una muy mala recuperación al igual que los muy finos ($<12 \mu\text{m}$) (Figura 6.8.). Sin embargo, existen rangos finos de tamaño, del]53-38] μm que muestran una distribución completamente diferente, incluso por debajo de tamaños muy finos. El rango de]75-53] μm es la fracción que se está recuperando en mayor cantidad, sugiriendo de forma preliminar, un buen tamaño para obtener las mayores recuperaciones. A diferencia de los parámetros anteriores, no existe un tamaño predominante que otorgue la mayor recuperación, lo que podría evidenciar posibles pérdidas en base a tamaño por un déficit en la molienda.

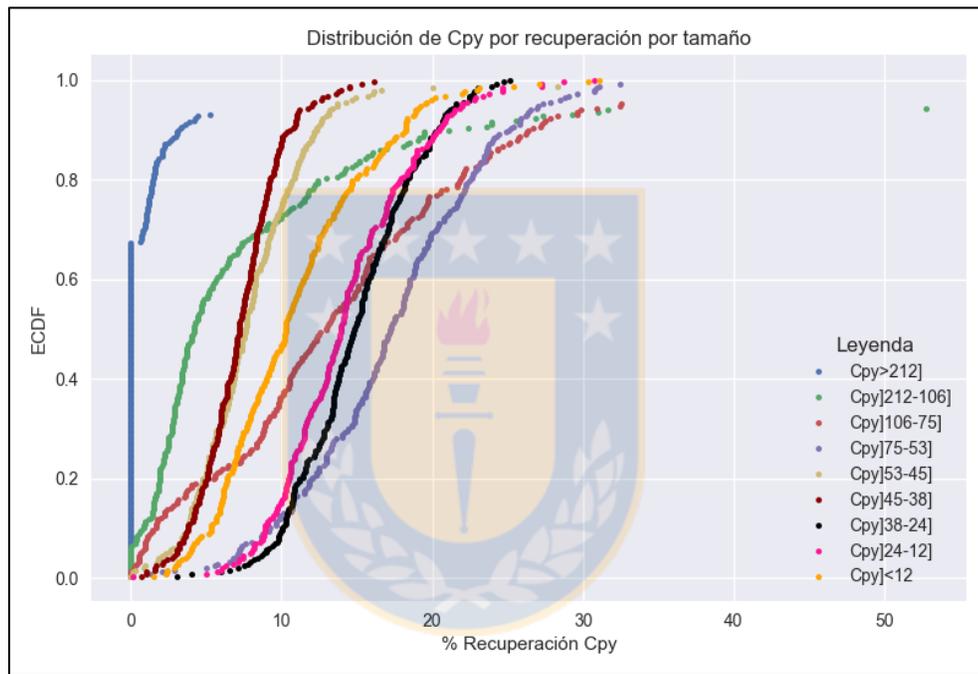


Figura 6.8: Distribución de calcopirita según rangos de tamaño *versus* porcentaje de recuperación.

6.1.2 BORNITA

Existe una tendencia general de recuperación entre 80-100% entre todos los sectores de la DET, con algunas excepciones en la porción sur oriental (Esmeralda y Extensión Sur Esmeralda) con recuperaciones bajo el 75% para ciertas muestras (Figura 6.9.). En particular, el sector productivo Dacita, no es la zona con mayor recuperación, a diferencia de la calcopirita. En este caso corresponde a Extensión Sur Esmeralda y Diamante con el 50% de las muestras sobre el 93% de recuperación.

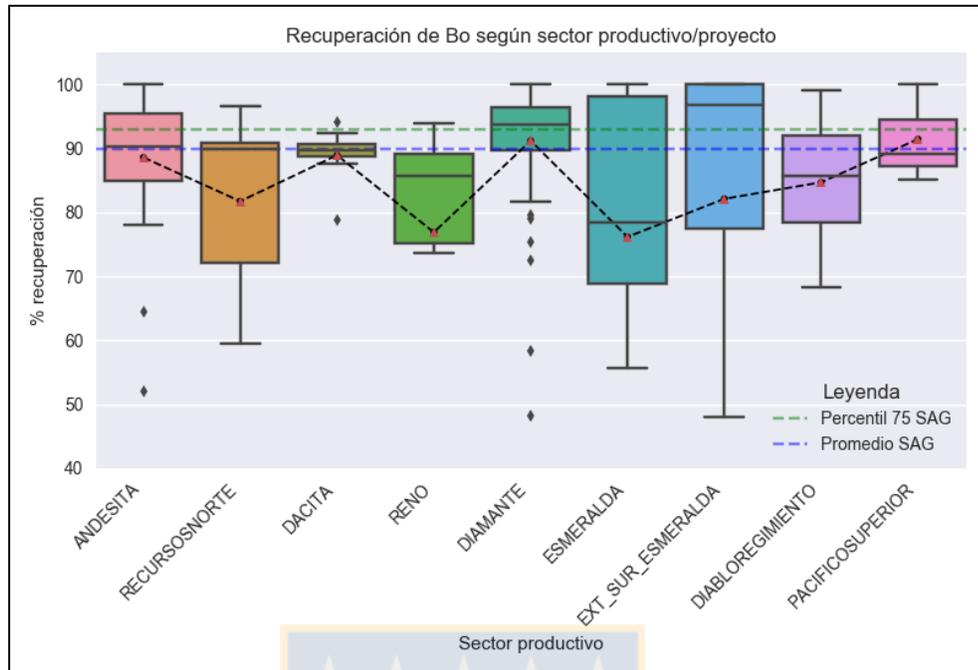


Figura 6.9: Gráfica de recuperación de bornita según sector productivo/proyecto.

Al igual que con la calcopirita el 60% de las muestras corresponden al CMET, pero en esta ocasión hay una distribución de esta litología centrada en ciertos valores, en los extremos (0% a 100% de recuperación) (Figura 6.10.). El resto de las litologías no superan el 10% por sí solas y se concentran sobre el 80% de recuperación. Para la bornita, la BXITO es la unidad con menos recuperación alcanzando en promedio un 78%, afectando probablemente al sector ESM (Figura 6.11.).

La distribución del grado de liberación para la bornita, exhibe que, en primera instancia, la bornita libre ([100-90]) se comporta con mayores recuperaciones, seguido de la bornita ocluida ([10-0]), sin embargo, un 25% de las muestras de bornita ocluida supera a la bornita libre (Figura 6.12.). La tendencia de los grados de liberación no sigue lo esperado, con respecto a más grado de liberación, mayor el porcentaje de recuperación. Es más, sigue una trayectoria intercalada, es decir, primero aparece los rangos de [100-90] y [10-0], luego los rangos de [90-80] y [20-10] y así sucesivamente. La anterior afirmación podría indicar que el control de recuperación está influenciado por más de un parámetro (ej. asociación mineral).

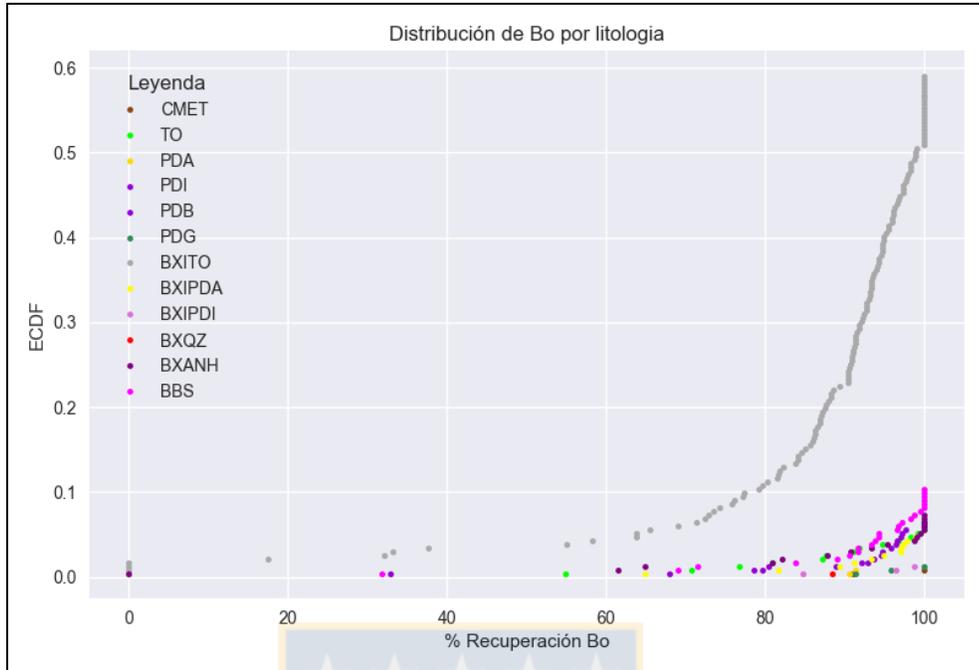


Figura 6.10: Gráficos de distribución de recuperación de bornita versus litología.

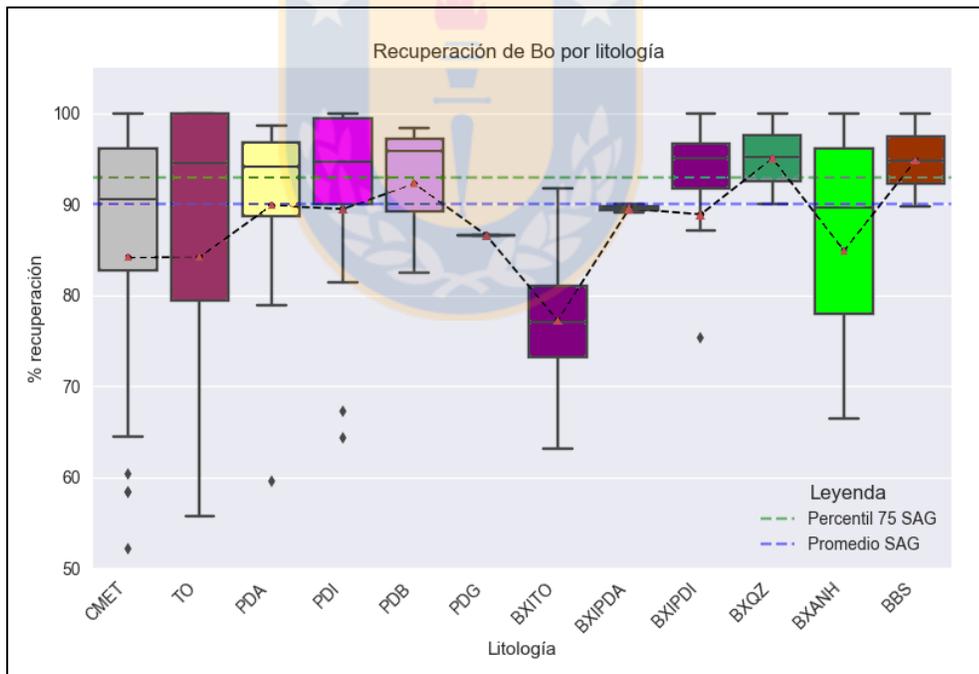


Figura 6.11: Gráfica de recuperación por litologías para la bornita.

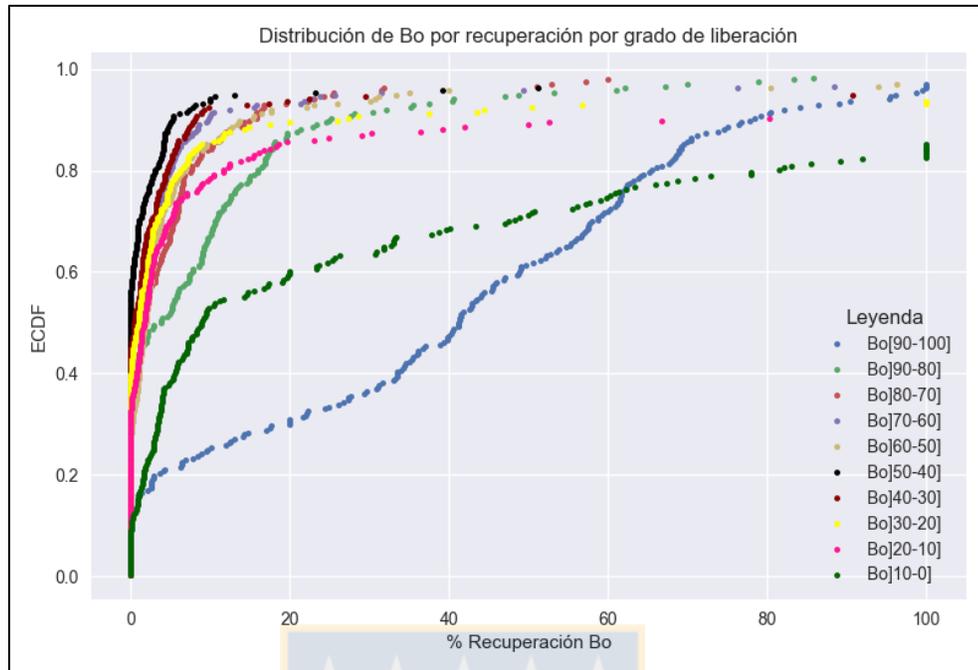


Figura 6.12: Distribución de bornita según diferentes rangos de grado de liberación versus porcentaje de recuperación.

Mayor parte de la bornita que se recupera se encuentra libre, asociada a otros sulfuros de cobre y a partículas complejas (Figura 6.13.). Los “otros sulfuros de cobre” pueden corresponder a calcopirita, mineral mayoritario en el proceso de flotación o a sulfuros secundarios como covelina, calcosina, digenita y/o tetraedrita-tennantita. Las demás asociaciones se concentran en recuperaciones muy bajas, con ciertos valores altos para las fases con pirita. Las recuperaciones más bajas están asociadas a filosilicatos, arcillas, molibdenita, óxidos de hierro-titanio y a silicatos duros con fases de otros minerales.

Específicamente para el grupo de filosilicatos, existen dos tendencias: La primera, que contiene a los filosilicatos de muscovita-sericita y biotita, con sus respectivas asociaciones con silicatos duros; y la segunda, con recuperaciones menores, constituida por clorita y caolinita-arcilla, con sus respectivas asociaciones de silicatos duros (Figura 6.14).

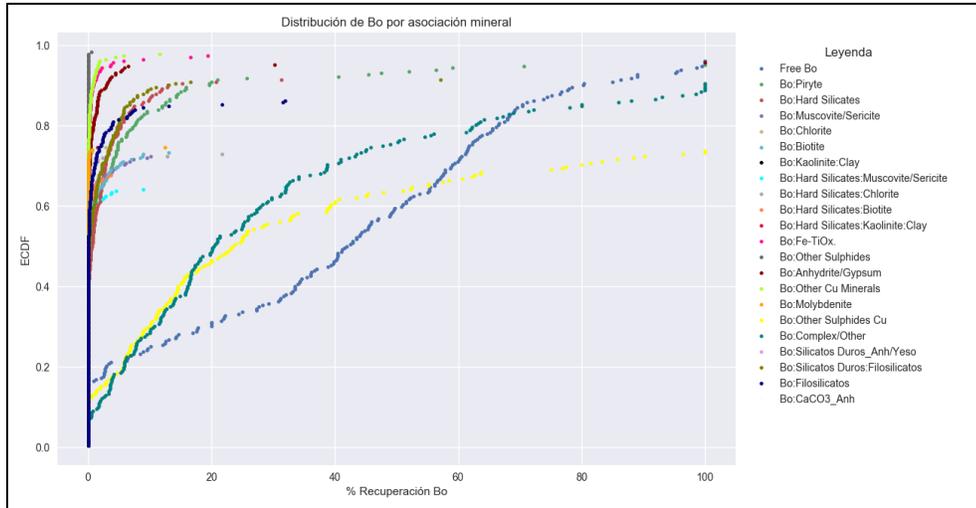


Figura 6.13: Distribución de bornita según asociación mineral *versus* porcentaje de recuperación.

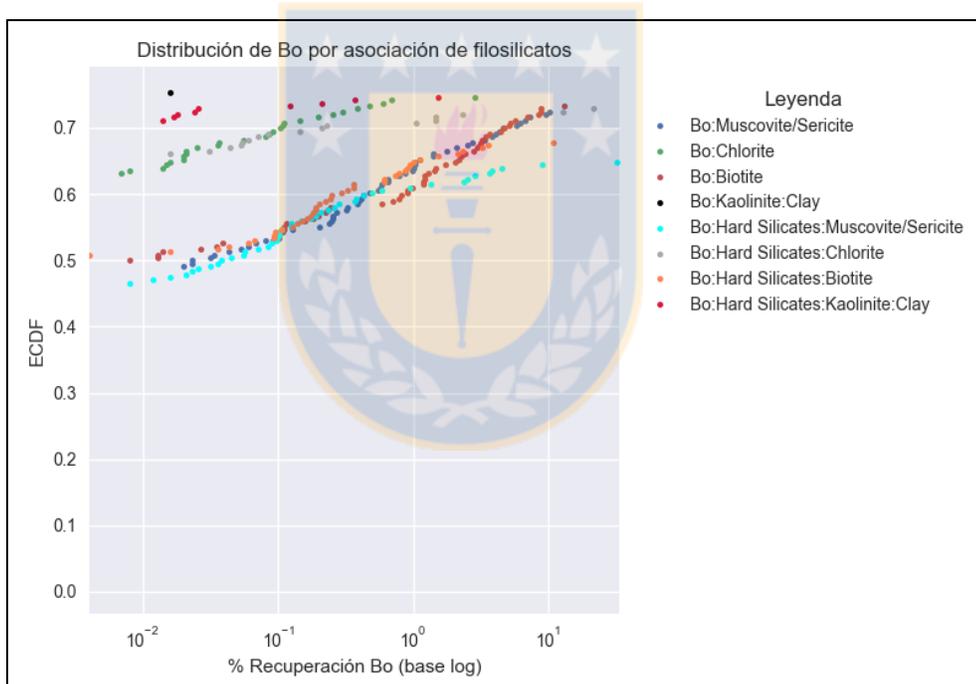


Figura 6.14: Distribución de bornita según tipo de filosilicato *versus* porcentaje de recuperación.

El 90% de las fracciones intermedias a gruesas ($>106 \mu\text{m}$) no superan un 7% de recuperación, en cambio las fracciones muy finas ($<12 \mu\text{m}$), para el caso de la bornita, son las que se recupera en mayor proporción (Figura 6.15), por lo cual no sigue la tendencia general de recuperaciones altas en las fracciones intermedias.

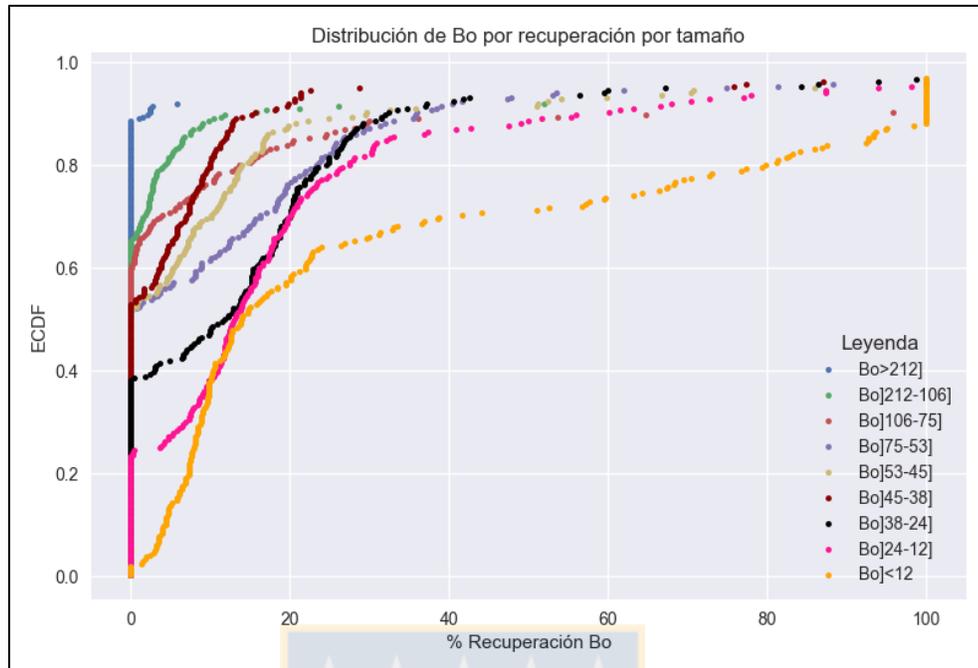


Figura 6.15: Distribución de bornita según rangos de tamaño *versus* % de recuperación.

6.2 ANÁLISIS Y RESULTADOS POR SECTOR PRODUCTIVO/PROYECTO

Los sectores productivos/proyectos se describirán en orden según zona del yacimiento, para comprender de mejor forma posibles controles del depósito e identificar las distribuciones vistas anteriormente.

Zona norte: Queda comprendida por los sectores productivos Dacita y RENO, además de los proyectos Andesita y Recursos Norte.

Zona sur-este: Conformada por el sector productivo Esmeralda y los proyectos Diamante y Extensión Sur Esmeralda.

Zona oeste: Constituida solamente por los sectores productivos Pacífico Superior y Diablo Regimiento.

6.2.1 SECTOR PRODUCTIVO DACITA.

6.2.1.1 CALCOPIRITA

Grado de liberación: La calcopirita se recupera principalmente en su forma libre, con un 50% de sus datos sobre el 70% de recuperación (Figura 6.16-a). Existe cierta tendencia a disminuir el porcentaje de recuperación a medida que disminuye el grado de liberación de las partículas, sin

embargo, a diferencia de las partículas libres, el resto no supera el 10%. En el gráfico de la Figura 6.16-b. es posible observar que la sumatoria de los 6 primeros rangos de liberación (de mayor a menor), permite alcanzar una recuperación sobre el 90% para la mediana. Para el total de recuperación del sector Dacita, se tiene que el 50% de los datos están sobre el 93%. La diferencia entre el total y la sumatoria de todos los datos radica en los valores vacíos (*null values*), que al no considerarlos suman una mayor cantidad comparada con el total original.

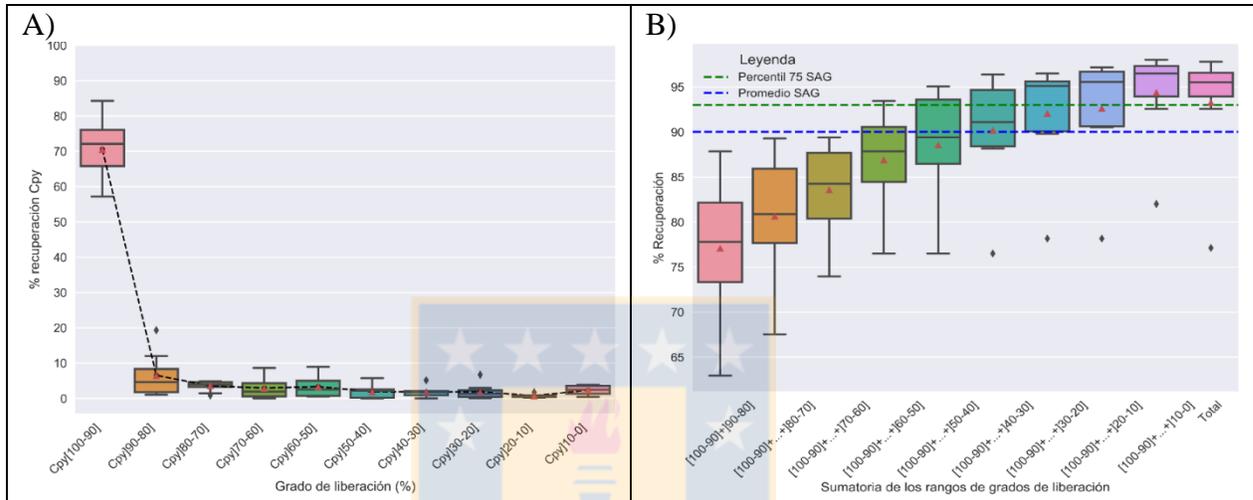


Figura 6.16: Grados de liberación de calcopirita para el sector Dacita. A) Recuperación *versus* grado de liberación. B) Sumatoria de los rangos de grado de liberación para obtener una recuperación sobre el 90% de calcopirita.

La Tabla 6.1., muestra la representatividad de los grados de liberación según tipo de muestra (cabeza-concentrado-cola). Este factor constituye el porcentaje del rango con respecto al total de la fase mineral y se obtiene con la mediana de las representatividades de cada muestra en el sector. Las partículas ocluidas ([20-0]) y parcialmente ocluidas ([30-20]) se hallan primordialmente en la cola, representando un 72,6% de esta, lo que constata una gran pérdida de calcopirita en este grado de liberación. Existe un 3,3% de calcopirita completamente libre que se encuentra en la cola, implicando necesariamente un problema de tamaño mineral, debido a que no se encuentra asociada con ninguna otra partícula. Sobre el grado de liberación de 50%, las pérdidas de calcopirita en la cola son prácticamente ceros.

Tabla 6.1: Representatividad de los rangos de grado de liberación de calcopirita para el sector Dacita y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación.

% Liberación % Representatividad	Cpy[100-90]	Cpy[90-80]	Cpy[80-70]	Cpy[70-60]	Cpy[60-50]	Cpy[50-40]	Cpy[40-30]	Cpy[30-20]	Cpy[20-10]	Cpy[10-0]
Cabeza	72,2	5,0	4,1	2,0	2,6	1,2	1,6	1,7	1,6	3,2
Concentrado	71,3	8,9	4,9	2,9	2,5	1,1	1,4	1,5	2,5	2,1
Cola	3,3	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,1	4,4	20,8	47,4
Pérdida	0,14	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,11	0,97	2,61

Asociación mineral: La mayor parte de la calcopirita se encuentra en su estado libre, asociado a partículas complejas y a otros sulfuros de cobre (Figura 6.17-a). Las diferencias de recuperaciones son bastante notorias entre las partículas libres y las asociadas a alguna fase mineral, donde estas últimas no superan el 10%. Los filosilicatos por sí solos, no exceden el 8% de recuperación y la muscovita-sericita son las fases más presentes, seguido de la biotita (Figura 6.17-b.).

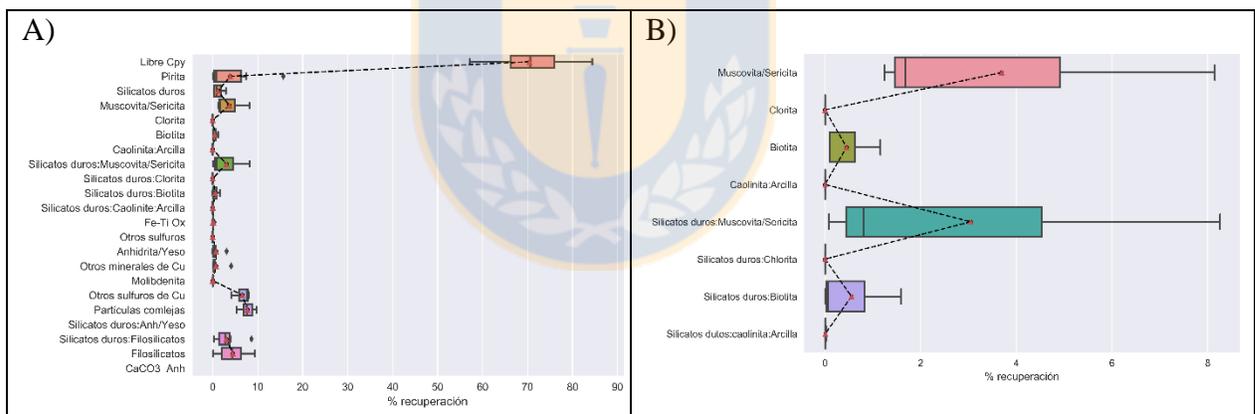


Figura 6.17: Recuperaciones por asociaciones minerales para calcopirita en el sector Dacita. A) Total de fases minerales presentes. B) Asociación con filosilicatos.

La Tabla 6.2., constata que en la cola se haya una alta proporción de calcopirita asociada a partículas complejas y silicatos duros con filosilicatos, seguido de silicatos duros en general. No existe pérdida de calcopirita relacionado a la pirita, ni de filosilicatos de forma importante. Las asociaciones con otros sulfuros de cobre muestran que las pérdidas son muy bajas, a pesar de que la representatividad en la cabeza es de un 7,6%.

Tabla 6.2: Representatividad de las asociaciones minerales con calcopirita para el sector Dacita y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación.

Asociación mineral % Representatividad	Cpy Libre	Cpy: Pirita	Cpy: Silicatos duros	Cpy: Fe-TiOx.	Cpy: Otros sulfuros	Cpy: Anhidrita/yeso	Cpy: Otros minerales de Cu	Cpy: Molibdenita	Cpy: Otros sulfuros de Cu	Cpy: Partículas complejas	Cpy: Silicatos duros anh/yeso	Cpy: Silicatos duros: Filosilicatos	Cpy: Filosilicatos	Cpy: CaCO ₃ _anh
Cabeza	70,7	0,9	0,8	0,1	0,0	0,3	0,3	0,0	7,6	9,9	0,0	3,2	4,4	0,0
Concentrado	71,3	2,2	2,3	0,4	0,0	1,1	0,1	0,0	3,4	11,5	0,0	3,2	4,8	0,0
Cola	3,3	0,0	3,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,6	38,8	0,0	11,8	0,4	0,0
Pérdida	0,14	0,00	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	1,18	0,00	0,58	0,01	0,00

La dominancia específica en un tipo de filosilicato se debe a que hubo un ingreso predominante de muscovita-sericita con calcopirita, y la misma fase con silicatos duros, en comparación con los otros filosilicatos (Tabla 6.3.). La caolinita-arcillas no se registra en la mayoría de las muestras de alimentación.

Tabla 6.3: Representatividad de la asociación mineral de filosilicatos con calcopirita para el sector productivo Dacita y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación.

Asociación mineral % Representatividad	Cpy: Muscovita/Sericita	Cpy: Chlorita	Cpy: Biotita	Cpy: Caolinita: Arcillas	Cpy: Silicatos duros: Muscovita/Sericita	Cpy: Silicatos duros: Chlorita	Cpy: Silicatos duros: Biotita	Cpy: Silicatos duros: Caolinita: Arcillas
Cabeza	1,7	0,0	0,1	0,0	0,8	0,0	0,1	0,0
Concentrado	5,3	0,1	0,7	0,0	1,7	0,0	0,2	0,0
Cola	17,5	0,0	0,0	0,0	6,5	4,2	0,0	0,0
Pérdida	0,41	0,00	0,00	0,00	0,21	0,14	0,00	0,00

Tamaño: Las fracciones gruesas de calcopirita no tienen una buena recuperación y a medida que disminuye de tamaño a fracciones intermedias, aumenta las recuperaciones hasta el rango de tamaño de [75-53] μm , donde se produce un quiebre y disminuye considerablemente (Figura 6.18-a). En el otro extremo, las fracciones menores a 38 μm tampoco tienen recuperaciones importantes, y aumentan cuando el tamaño crece. Los rangos de [53-38] μm producen un quiebre negativo, en

relación a la tendencia de las recuperaciones en los tamaños medios estudiados. Es importante destacar, que las muestras no superan en general el 30 % de recuperación y no existe un rango en específico que haga la diferencia como en el resto de los parámetros. Producto de eso, para obtener un 90% de recuperación, no existe un intervalo predilecto y solo con la consideración de los rangos de tamaños de]212-12[μm es posible superarlo (Figura 6.18-b).

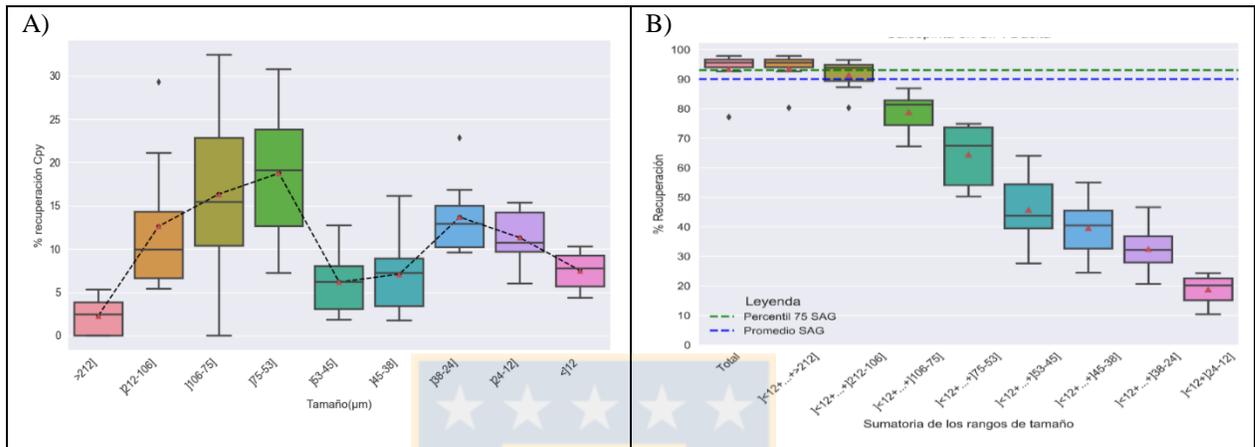


Figura 6.18: Tamaños de calcopirita para el sector Dacita. A) Recuperación de calcopirita por tamaño. B) Sumatoria de los rangos de tamaño para obtener una recuperación sobre el 90% de calcopirita.

Las fracciones finas ($<38 \mu\text{m}$) se concentran principalmente en la cola, mientras que las fracciones gruesas ($>212 \mu\text{m}$) no reflejan pérdidas en este sector, aunque estas no entran en grandes cantidades al proceso de flotación por haber considerado un p_{80} de $150 \mu\text{m}$ (Tabla 6.4.). Los rangos de tamaño de]53-38] μm ingresan de forma disminuida, lo que afecta y produce el quiebre en las recuperaciones observadas en el gráfico de la Figura 6.18-a.

Tabla 6.4: Representatividad de los rangos de tamaño de calcopirita para el sector Dacita y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación.

Tamaño (μm) % Representatividad	Cpy]>212]	Cpy]212-106]	Cpy]106-75]	Cpy]75-53]	Cpy]53-45]	Cpy]45-38]	Cpy]38-24]	Cpy]24-12]	Cpy]<12
Cabeza	2,4	10,2	13,9	19,3	6,3	7,5	13,2	12,4	8,4
Concentrado	0,0	1,9	13,7	21,9	8,4	7,9	15,4	16,0	14,4
Cola	0,0	0,0	9,2	7,8	2,5	5,7	20,1	15,7	11,8
Pérdida	0,00	0,00	0,36	0,32	0,11	0,15	0,71	0,78	0,44

Litología: Del total de recuperaciones de calcopirita, el Pórfido Dacítico tiene sobre un 97% de recuperación (Figura 6.19.). La Brecha Ígnea de Pórfido Dacítico, si bien, tiene una recuperación mayor que el CMET, corresponde a solo una muestra. El que tiene una mayor distribución y representatividad es el CMET con una media de 86% de obtención.

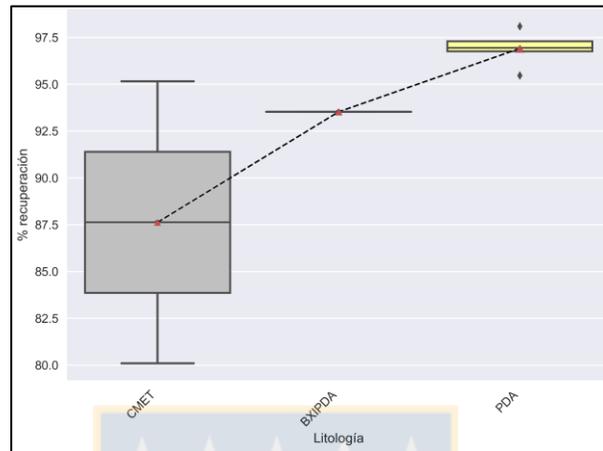


Figura 6.19: Recuperación de calcopirita por unidad litológica para el sector Dacita.

6.2.1.2 BORNITA

Grado de liberación: Existe una correlación entre mayor grado de liberación y mayor recuperación de bornita (Figura 6.20-a). La bornita libre tiene un promedio de 63% de recuperación, luego lo siguen recuperaciones considerablemente más bajas de 12% y 8%. Posteriormente hay una tendencia relativamente plana que no superan el 5 % de recuperación. Para los rangos de liberación, no es posible alcanzar una recuperación del 90% para el 50% de los datos, incluso sumando todos los rangos. Pese a lo anterior, este estimador (mediana) se acerca bastante y ciertas muestras alcanza recuperaciones >90% (Figura 6.20-b).

Dentro de las muestras de cola, hay un 49,2 % de bornita que se pierde por estar completamente ocluida (6,10% con respecto al total de alimentación) y un 24,6% en estado libre (Tabla 6.5.). El resto de los rangos en la cola permanecen cercanos a ceros. Existe una cantidad considerable en las muestras de cabeza que entra al proceso como partículas ocluidas, comparadas con otros rangos de grados de liberación.

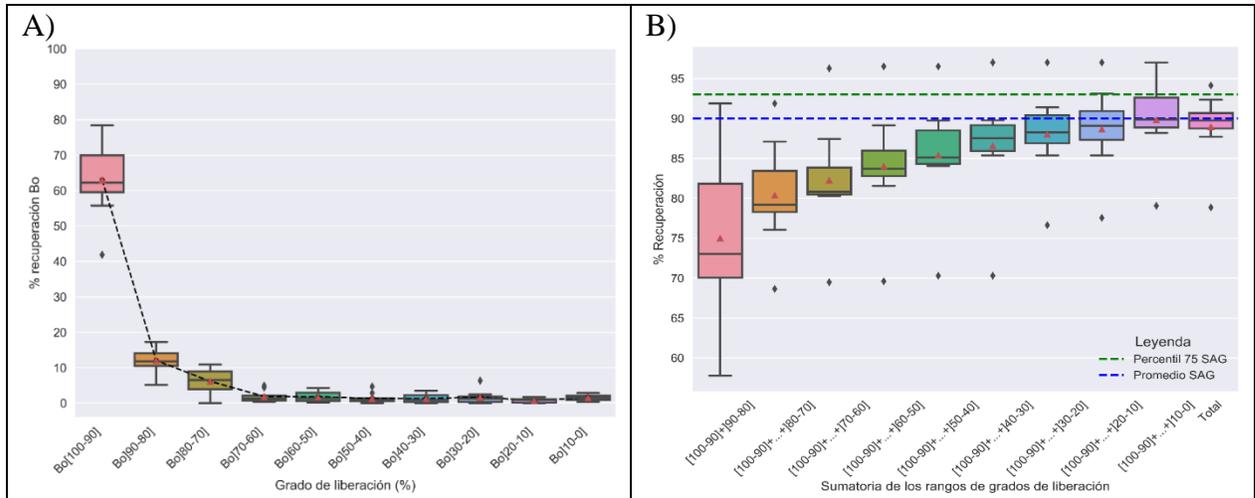


Figura 6.20: Grados de liberación de bornita para el sector Dacita. A) Recuperación *versus* grado de liberación. B) Sumatoria de los rangos de grado de liberación para obtener una recuperación sobre el 90% de bornita.

Tabla 6.5: Representatividad de los rangos de grado de liberación de bornita para el sector Dacita y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación.

% Liberación % Representatividad	Bo[100-90]	Bo[90-80]	Bo[80-70]	Bo[70-60]	Bo[60-50]	Bo[50-40]	Bo[40-30]	Bo[30-20]	Bo[20-10]	Bo[10-0]
Cabeza	62,9	11,9	6,4	1,5	1,5	0,8	0,7	1,2	1,0	5,6
Concentrado	68,5	8,9	6,7	3,4	3,7	1,2	1,4	1,6	1,5	2,9
Cola	24,6	1,2	0,9	0,3	0,1	0,0	0,1	3,0	0,8	49,2
Pérdida	3,20	0,17	0,13	0,03	0,02	0,00	0,01	0,42	0,23	6,10

Asociación mineral: La bornita recuperada, en su mayor parte, es en estado libre con un 61%. Le siguen otros sulfuros de cobre y partículas complejas (Figura 6.21-a). Los filosilicatos y pirita sobresalen de los valores más bajos, pero no superan un 8% de recuperación. Si se analizan los filosilicatos en específico, estos tienen muy poca recuperación (<2,5%), no obstante, es importante destacar que la biotita y muscovita-sericita, con sus respectivas asociaciones con silicatos duros, tienen una mayor relevancia que el resto de las especies (Figura 6.21-b).

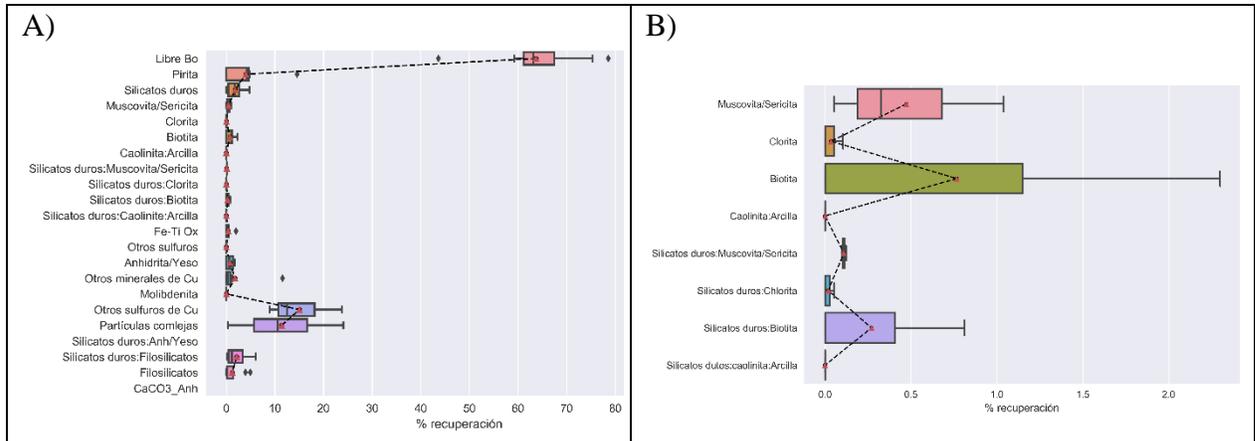


Figura 6.21: Recuperaciones por asociaciones minerales para bornita en el sector Dacita. A) Total de fases minerales presentes. B) Asociación con filosilicatos.

Las pérdidas relacionadas a la asociación mineral consisten en partículas complejas y como bornita libre (Tabla 6.6.). Lo anterior implica que existe un gran porcentaje (3,2%) que no se recupera por problemas de tamaño. Los filosilicatos no presentan una dificultad en la recuperación de bornita, al igual que la pirita. Los otros sulfuros de cobre tienen una gran representatividad en la cabeza y una pérdida muy baja, recuperándose de buena manera en el concentrado.

Tabla 6.6: Representatividad de las asociaciones minerales con bornita para el sector Dacita y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación.

Asociación mineral % Representatividad	Bo Libre	Bo: Pirita	Bo: Silicatos duros	Bo: Fe-TiOx.	Bo: Otros sulfuros	Bo: Anhídrita/yeso	Bo: Otros minerales de Cu	Bo: Molibdenita	Bo: Otros sulfuros de Cu	Bo: Partículas complejas	Bo: Silicatos duros anh/yeso	Bo: Silicatos duros: Filosilicatos	Bo: Filosilicatos	Bo: CaCO ₃ _anh
Cabeza	64,6	2,3	1,9	0,2	0,0	0,6	0,3	0,0	12,6	12,3	0,0	1,5	0,4	0,0
Concentrado	68,5	1,6	1,8	0,5	0,0	0,1	0,2	0,0	14,0	17,3	0,0	1,0	1,4	0,0
Cola	24,6	0,0	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,3	55,8	0,0	0,0	0,1	0,0
Pérdida	3,20	0,00	0,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,87	6,61	0,00	0,00	0,01	0,00

Tamaño: Las fracciones extremas tienen menores recuperaciones que los tamaños situados en las posiciones intermedias, exceptuando nuevamente los rangos de [53-45] μm y [45-38] μm (Figura 6.22-a). El rango que se obtiene mayor recuperación es [75-53] μm , seguido de [38-24] μm . Para alcanzar una recuperación esperada sobre el 90%, para el 50% de los datos, es necesario

considerar todos los tamaños menores al rango de >212 μm (Figura 6.22-b). Pese a lo anterior, para el parámetro del tamaño, las recuperaciones, por sí sola no superan considerablemente el 30%.

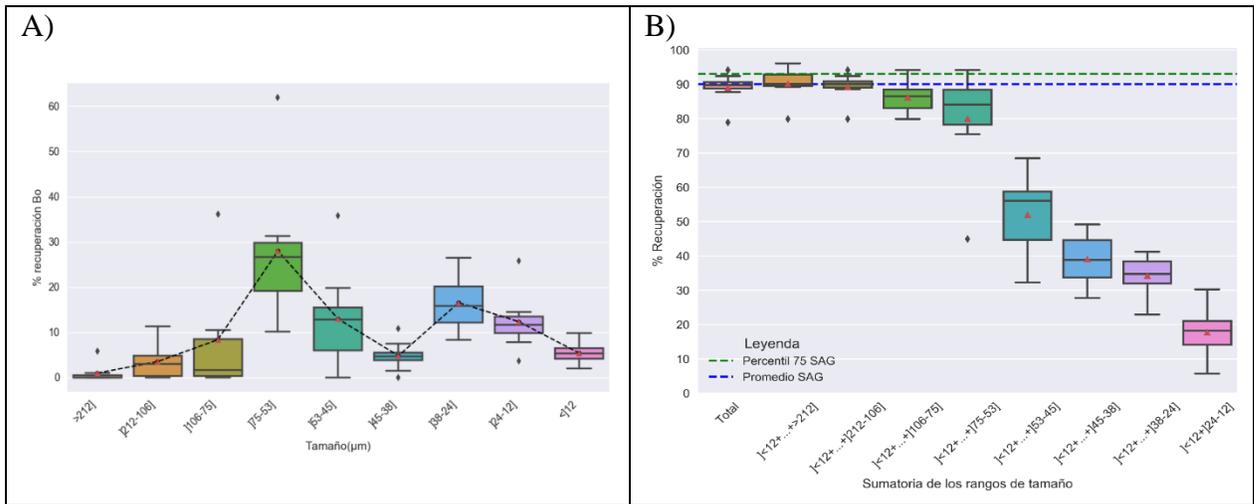


Figura 6.22: Tamaños de bornita para el sector Dacita. A) Recuperación de calcopirita por tamaño. B) Sumatoria de los rangos de tamaño para obtener una recuperación sobre el 90% de bornita.

Las fracciones finas ($<45\mu\text{m}$) son las que se concentran en mayor medida en la cola, mientras que las fracciones intermedias a gruesas no reflejan pérdidas, aunque los tamaños de $>212\mu\text{m}$ no ingresaron en la alimentación (Tabla 6.7.). Existe una pérdida considerable en los rangos de $]106-75]$ μm , debido a que entró al proceso en baja cantidad y la mayor parte se fue en la cola.

Tabla 6.7: Representatividad de los rangos de tamaño de bornita para el sector Dacita y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación.

Tamaño (μm) % Representatividad	$\text{Bo}>212]$	$\text{Bo}]212-106]$	$\text{Bo}]106-75]$	$\text{Bo}]75-53]$	$\text{Bo}]53-45]$	$\text{Bo}]45-38]$	$\text{Bo}]38-24]$	$\text{Bo}]24-12]$	$\text{Bo}<12]$
Cabeza	0,0	2,9	0,9	27,4	13,0	5,7	17,6	13,8	6,3
Concentrado	0,0	0,0	2,6	16,1	12,9	10,6	20,5	16,4	13,0
Cola	0,0	0,0	8,7	8,6	1,6	12,7	14,8	16,8	10,8
Pérdida	0,00	0,00	1,23	1,23	0,28	1,57	2,38	2,31	1,56

Litología: Para las litologías presentes en el sector Dacita, las recuperaciones de bornita son relativamente similares y bordean entre un 88-90% (Figura 6.23.). Hay una mayor cantidad de muestras con bornita en el Pórfido Dacítico que en el resto de las litologías.

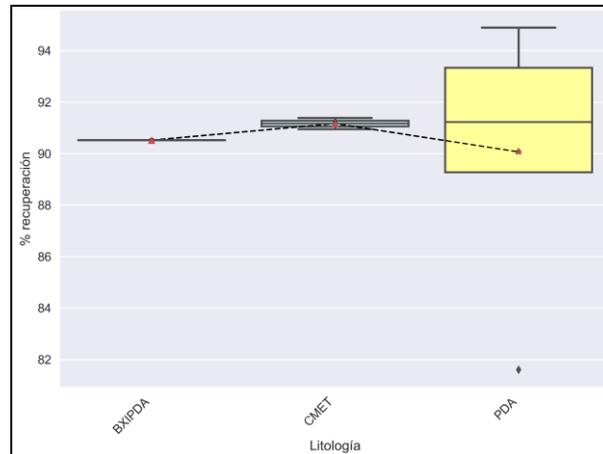


Figura 6.23: Recuperación de bornita por unidad litológica para el sector Dacita.

6.2.2 SECTOR PRODUCTIVO RENO

6.2.2.1 CALCOPIRITA

Grado de liberación: La recuperación promedio más alta (56%), se obtiene con la calcopirita completamente libre, el resto de los grados de liberación permanecen entre 0-10%, a excepción del rango [90-80] que el 50% de sus valores está sobre el 10% (Figura 6.24-a). Existe cierta tendencia a aumentar la recuperación mineral con el aumento del grado de liberación, sin embargo, los rangos ocluidos menores al 20% de liberación muestran un leve incremento con respecto a valores intermedios. Para conseguir una recuperación similar al promedio del SAG es necesario sumar todos los rangos de liberación, de otra forma, la mediana de las recuperaciones estaría bajo el 90% (Figura 6.24-b), indicando que no hay un grupo de intervalos preferentes.

Existe una gran pérdida de calcopirita asociada a partículas completamente ocluidas (<20%) y un 3,3% de la cola corresponde a calcopirita que no se recuperó y se encuentra completamente libre, por lo que se asocia a una pérdida por tamaño (Tabla 6.8.). Para este sector, hay un mayor ingreso en la alimentación de calcopirita ocluida y libre, con respecto a grados de liberaciones intermedias. En total, para el 50% de los datos, existe un 10,55% de pérdida con respecto al total de alimentación.

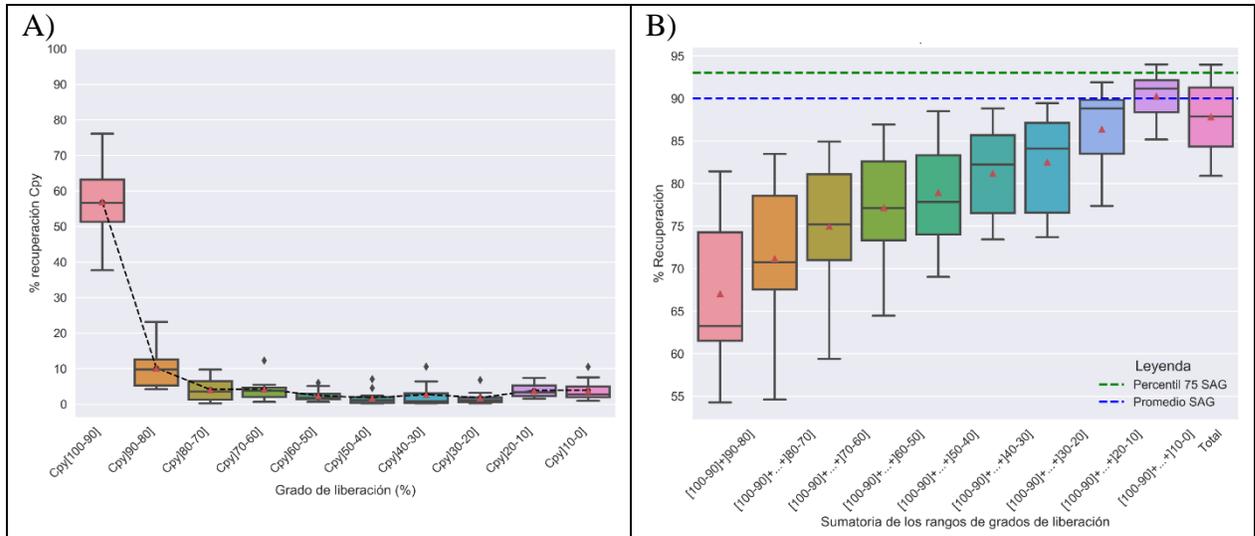


Figura 6.24: Grados de liberación de calcopirita para el sector RENO. A) Recuperación *versus* grado de liberación. B) Sumatoria de los rangos de grado de liberación para obtener una recuperación sobre el 90% de calcopirita.

Tabla 6.8: Representatividad de los rangos de grado de liberación de calcopirita para el sector RENO y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación.

<i>% Liberación</i> <i>% Representatividad</i>	Cpy[100-90]	Cpy[90-80]	Cpy[80-70]	Cpy[70-60]	Cpy[60-50]	Cpy[50-40]	Cpy[40-30]	Cpy[30-20]	Cpy[20-10]	Cpy[10-0]
Cabeza	59,2	10,4	4,9	3,8	1,7	1,1	1,1	1,1	3,9	8,7
Concentrado	63,4	7,7	4,3	3,3	4,1	2,1	2,2	2,7	3,5	3,8
Cola	3,3	0,0	0,0	0,3	0,3	0,0	0,4	3,1	8,9	43,1
Pérdida	0,38	0,00	0,00	0,03	0,04	0,00	0,03	0,24	0,90	4,03

Asociación mineral: La calcopirita del sector RENO se encuentra mayormente en estado libre, no asociada a ninguna fase mineral, con una media de 56% de recuperación (Figura 6.25-a). Las otras fases minerales importantes con que se recupera este mineral corresponden a partículas complejas, filosilicatos, pirita y otros sulfuros de cobre. Los filosilicatos asociados a calcopirita, no superan valores del 4 % de recuperación, pero al analizarlos al detalle (Figura 6.25-b) se observa que la asociación muscovita-sericita y silicatos duros:muscovita-sericita tienen una mayor representatividad y valores de recuperación comparada con el resto. Por otra parte, la caolinita-arcilla y silicatos duros:caolinita-arcilla prácticamente no se están recuperando.

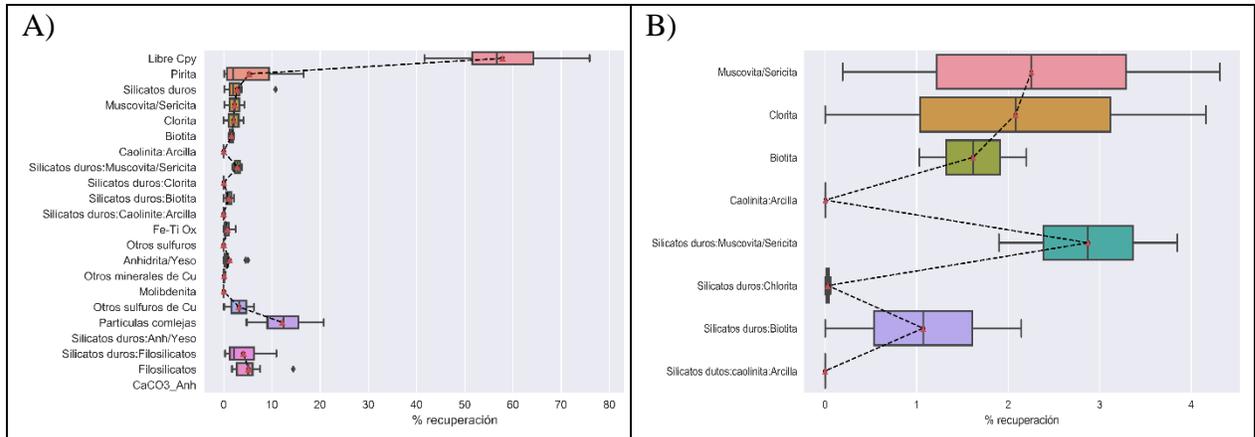


Figura 6.25: Recuperaciones por asociaciones minerales para calcopirita en el sector RENO. A) Total de fases minerales presentes. B) Asociación con filosilicatos.

Las fases con mayor representatividad en la cola conciernen a las asociaciones de partículas complejas, silicatos duros:filosilicatos, otros sulfuros de cobre, calcopirita libre y filosilicatos. Solamente hay un 0,2% de la cola que recae en la asociación con pirita (Tabla 6.9.). Un 62% de la alimentación son partículas libres, seguido en importancia de partículas complejas, filosilicatos, silicatos duros con filosilicatos, otros sulfuros de cobre y pirita.

Tabla 6.9: Representatividad de las asociaciones minerales con calcopirita para el sector RENO y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación.

% Asociación mineral % Representatividad	Cpy Libre	Cpy: Pirita	Cpy: Silicatos duros	Cpy: Fe-TiOx.	Cpy: Otros sulfuros	Cpy: Anhidrita/yeso	Cpy: Otros minerales de Cu	Cpy: Molibdenita	Cpy: Otros sulfuros de Cu	Cpy: Partículas complejas	Cpy: Silicatos duros anh/yeso	Cpy: Silicatos duros: Filosilicatos	Cpy: Filosilicatos	Cpy: CaCO ₃ _anh
Cabeza	62,0	3,5	2,6	0,3	0,0	0,8	0,1	0,0	3,9	17,3	0,0	4,5	6,1	0,0
Concentrado	65,0	0,9	3,3	0,5	0,0	0,9	0,3	0,0	2,3	14,3	0,0	3,1	7,2	0,0
Cola	3,3	0,2	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,1	60,7	0,0	17,0	2,7	0,0
Pérdida	0,38	0,03	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,7	5,97	0,00	1,83	0,24	0,00

La Tabla 6.10., explica que la distribución específica de los filosilicatos, se debe a ingresos mayores en ciertas fases minerales comparadas con otras, sumado a pocas pérdidas. Por ejemplo, la biotita, no registra pérdida aumentando su recuperación, pese a que su contenido en la

alimentación es bastante bajo. Por otra parte, la muscovita-sericita tiene más pérdidas, pero con valores en la alimentación mucho mayores.

Tabla 6.10: Representatividad de la asociación mineral de filosilicatos con calcopirita para el sector productivo RENO y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación.

Asociación mineral % Representatividad	Cpy: Muscovita/Sericita	Cpy: Chlorita	Cpy: Biotita	Cpy: Caolinita: Arcillas	Cpy: Silicatos duros: Muscovita/Sericita	Cpy: Silicatos duros: Chlorita	Cpy: Silicatos duros: Biotita	Cpy: Silicatos duros: Caolinita: Arcillas
Cabeza	2,4	2,1	1,6	0,0	3,1	0,1	1,1	0,0
Concentrado	3,6	1,9	1,6	0,0	1,7	0,6	0,3	0,0
Cola	1,4	0,3	0,0	0,0	4,6	0,3	0,1	0,0
Pérdida	0,11	0,02	0,00	0,00	0,26	0,03	0,00	0,00

Tamaño: El rango de tamaño que se está recuperando más, para el sector RENO, corresponde al [75-53] μm , con un 17% (Figura 6.26-a). Hacia las fracciones gruesas y finas la recuperación disminuye. Los rangos de [53-38] μm muestran valores por debajo de los adyacentes, evidenciando un quiebre en la recuperación. En general, ningún tamaño por sí solo, se recupera sobre el 30 % y al sumar todos los rangos no es posible alcanzar una recuperación >90% para el 50 % de los datos (Figura 6.26-b).

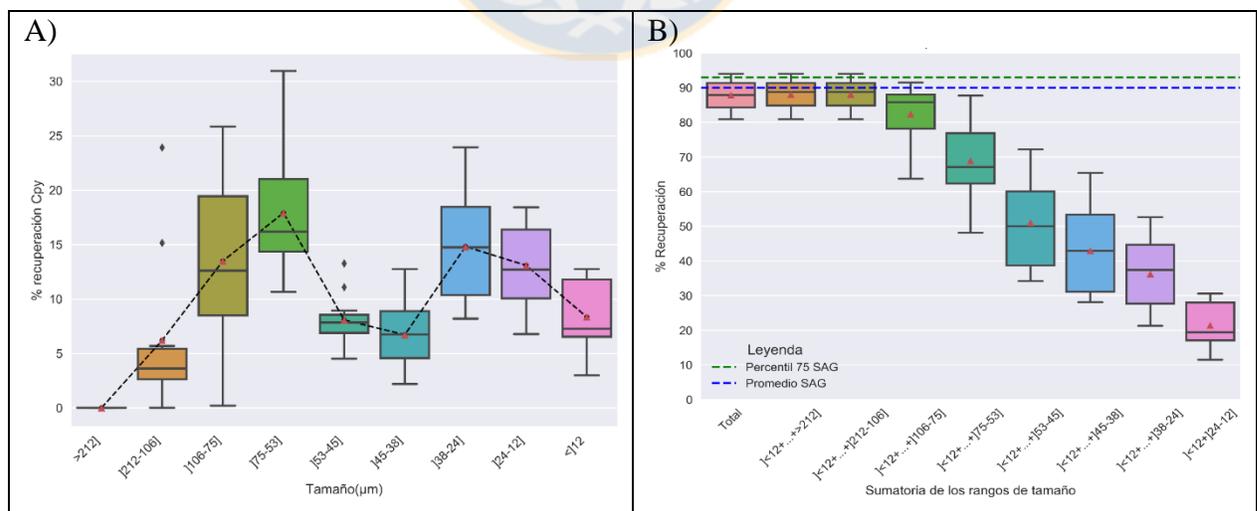


Figura 6.26: Tamaños de calcopirita para el sector RENO. A) Recuperación de calcopirita por tamaño. B) Sumatoria de los rangos de tamaño para obtener una recuperación sobre el 90% de calcopirita.

Las recuperaciones se encuentran controladas, por el contenido de dichos rangos en la alimentación (Tabla 6.11.). Los rangos con mayor recuperación tienen un porcentaje elevado en la cabeza y las bajas recuperaciones son por una baja entrada y/o una pérdida considerable.

Tabla 6.11: Representatividad de los rangos de tamaño de calcopirita para el sector RENO y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación.

Tamaño (µm) % Representatividad	Cpy>212]	Cpy]212-106]	Cpy]106-75]	Cpy]75-53]	Cpy]53-45]	Cpy]45-38]	Cpy]38-24]	Cpy]24-12]	Cpy<12
Cabeza	0,0	5,1	15,6	18,2	8,2	8,5	15,0	14,2	8,7
Concentrado	0,0	2,9	12,9	21,5	8,6	7,9	15,2	9,8	18,1
Cola	0,0	12,5	0,0	11,4	2,0	3,8	12,7	16,0	10,7
Pérdida	0,00	0,86	0,00	1,41	0,11	0,51	1,40	1,44	1,01

Litología: Las muestras analizadas para este sector corresponden solo al CMET, por lo que estos valores pertenecerían también a las recuperaciones del sector en sí (Figura 6.27.). Tiene una media y mediana de un ~88%.

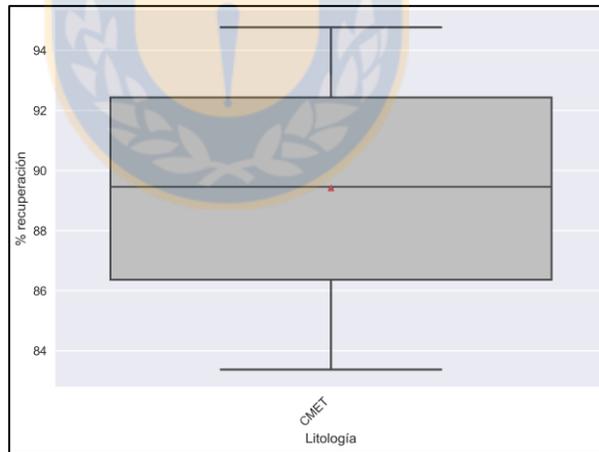


Figura 6.27: Recuperación de calcopirita por unidad litológica para el sector RENO.

6.2.2.2 BORNITA

Grado de liberación: La bornita libre es el grado de liberación que se recupera más, con un 41% para la mediana (Figura 6.28-a). La fracción ocluida ([10-0]) muestra una distribución con valores importantes de recuperación, con respecto al resto, no obstante, su mediana no supera el

10%. El resto de los rangos se comportan relativamente planos, bajo el 10% de recuperación y para este sector no es posible obtener una recuperación sobre el 90%, debido a que la mayor cantidad de los datos están por debajo de este valor (Figura 6.28-b.).

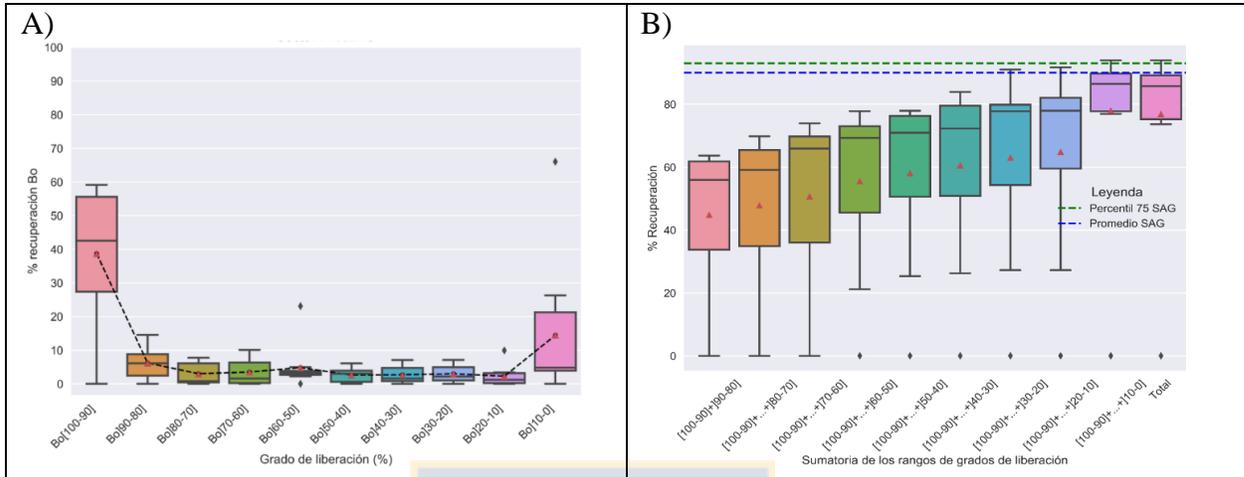


Figura 6.28: Grados de liberación de bornita para el sector RENO. A) Recuperación *versus* grado de liberación. B) Sumatoria de los rangos de grado de liberación para obtener una recuperación sobre el 90%.de bornita.

Las partículas de bornita ocluida (<10%) se pierden con un 5,76% con respecto al total de alimentación y un 3,17% como bornita libre, lo que indica que dicho porcentaje no se recupera por problemas de tamaño (Tabla 6.12.). En general para el resto de los rangos no existen pérdidas importantes, permaneciendo bajo el 1%.

Tabla 6.12: Representatividad de los grados de liberación de bornita para el sector RENO y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación.

% Liberación / % Representatividad	Bo[100-90]	Bo[90-80]	Bo[80-70]	Bo[70-60]	Bo[60-50]	Bo[50-40]	Bo[40-30]	Bo[30-20]	Bo[20-10]	Bo[10-0]
Cabeza	47,9	6,1	0,8	1,6	3,4	3,4	1,3	2,2	2,6	12,6
Concentrado	53,2	9,0	5,1	4,1	4,0	2,5	2,5	2,9	3,6	5,0
Cola	16,8	0,0	0,0	0,2	0,5	0,5	0,0	0,1	2,0	44,6
Pérdida	3,17	0,11	0,01	0,06	0,09	0,07	0,08	0,05	0,60	5,76

Asociación mineral: La bornita obtenida, se encuentra mayoritariamente en su estado libre, seguido de partículas complejas, otros sulfuros de cobre, filosilicatos, silicatos duros:filosilicatos y pirita (Figura 6.29-a). Para RENO, hay sobre un 25% de bornita que está con partículas

complejas, destacando por el resto de las otras asociaciones. Los filosilicatos dominantes son las asociaciones de bornita y silicatos duros:bornita, pero estos no superan el 1,3% de recuperación (Figura 6.29-b).

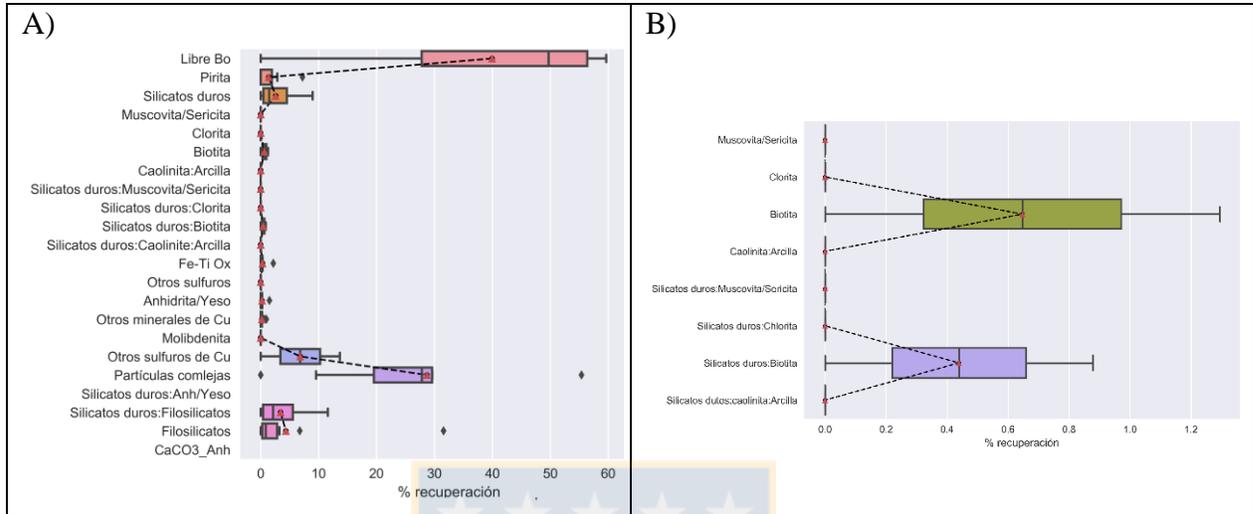


Figura 6.29: Recuperaciones por asociaciones minerales para bornita en el sector RENO. A) Total de fases minerales presentes. B) Asociación con filosilicatos.

La bornita asociada a partículas complejas representa las mayores pérdidas con un 5,03% con respecto al total de alimentación (Tabla 6.13.). Posteriormente, en importancia, le sigue la bornita libre, asociación de silicatos duros:filosilicatos y otros sulfuros de cobre con un 3,17%, 2,54% y 1,80% respectivamente.

Tabla 6.13: Representatividad de la asociación mineral de bornita para el sector RENO y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación.

Asociación mineral % Representatividad	Bo Libre	Bo: Pirita	Bo: Silicatos duros	Bo: Fe-TiOx.	Bo: Otros sulfuros	Bo: Anhidrita/yeso	Bo: Otros minerales de Cu	Bo: Molibdenita	Bo: Otros sulfuros de Cu	Bo: Partículas complejas	Bo: Silicatos duros anh/yeso	Bo: Silicatos duros: Filosilicatos	Bo: Filosilicatos	Bo: CaCO ₃ _anh
Cabeza	49,9	0,0	1,4	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	15,5	31,5	0,0	5,0	1,3	0,0
Concentrado	56,2	0,0	0,9	0,2	0,0	0,3	0,2	0,0	14,9	32,3	0,0	2,8	2,4	0,0
Cola	16,8	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,5	40,7	0,0	20,0	0,0	0,0
Pérdida	3,17	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,80	5,03	0,00	2,54	0,01	0,00

Tamaño: Las fracciones finas (<38 μm) tienen mejores recuperaciones, que el resto de las granulometrías (Figura 6.30-a) y a medida que se hace más fino, bajo el rango ya mencionado, disminuye la recuperación. Las fracciones intermedias a gruesas (>106 μm) no superan el 2% de recuperación, mientras que los tamaños finos intermedios se mantienen bajo el 10% para la mayoría de sus valores. Para este sector y fase mineral, no es posible obtener una recuperación cercana del 90%, para las medianas de los rangos de tamaño (Figura 6.30-b).

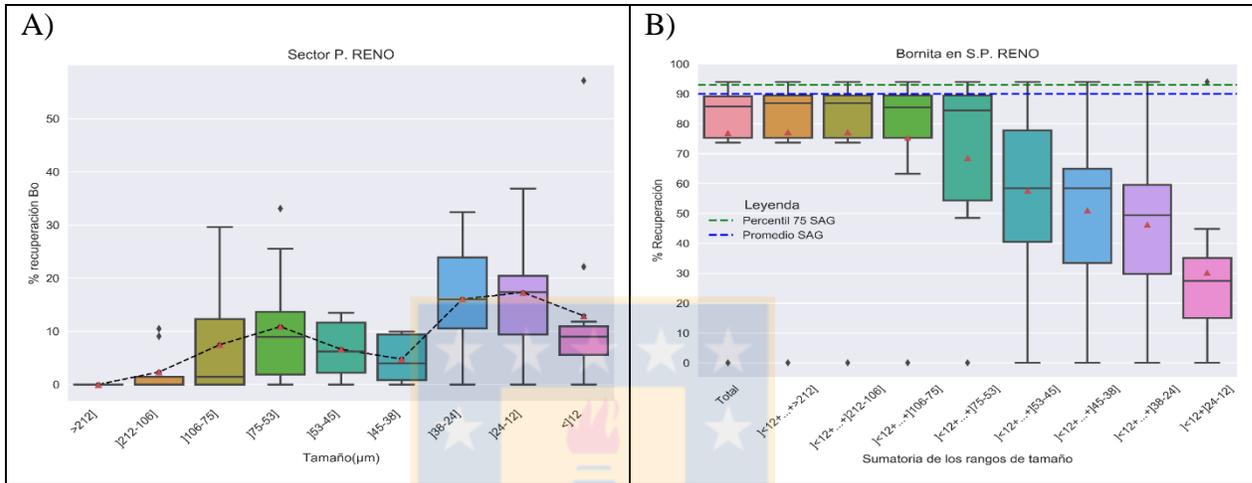


Figura 6.30: Tamaños de bornita para el sector RENO. A) Recuperación de calcopirita por tamaño. B) Sumatoria de los rangos de tamaño para obtener una recuperación sobre el 90% de bornita.

Gran cantidad de las pérdidas en las colas se producen bajo el tamaño de 75 μm, liderando el rango de]75-53] μm con un 2,39% con respecto al total de alimentación (Tabla 6.14.). El rango de]106-75] μm, si bien existe un porcentaje en la cabeza, no se registran pérdidas en esta fracción.

Tabla 6.14: Representatividad de los rangos de tamaño de bornita para el sector RENO y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación.

Tamaño (μm) % Representatividad	Bo>212]	Bo]212-106]	Bo]106-75]	Bo]75-53]	Bo]53-45]	Bo]45-38]	Bo]38-24]	Bo]24-12]	Bo<12
Cabeza	0,0	0,0	1,3	16,3	9,0	8,4	18,0	20,3	11,4
Concentrado	0,0	0,0	4,7	16,0	10,7	10,7	18,4	17,4	17,2
Cola	0,0	0,0	0,0	9,5	4,5	11,6	10,7	16,4	13,6
Pérdida	0,00	0,00	0,00	2,39	0,53	1,32	1,90	2,07	1,99

Litología: La bornita se encuentra en la unidad litológica CMET, donde se recupera para el sector con un ~88% (Figura 6.31.).

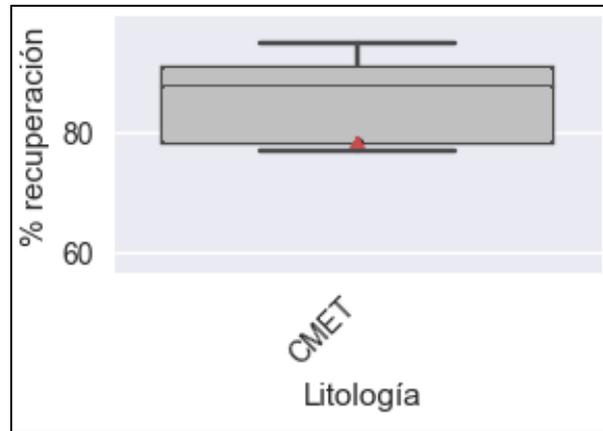


Figura 6.31: Recuperación de bornita por unidad litológica para el sector RENO.

6.2.3 PROYECTO ANDESITA

6.2.3.1 CALCOPIRITA

Grado de liberación: Las recuperaciones mayores concuerdan con los grados completamente libres (Figura 6.32-a). Por otra parte, bajo el intervalo]50-40], las obtenciones permanecen relativamente constante, con un promedio de 4%. Para alcanzar recuperaciones sobre el 90%, equivalente al promedio SAG, se deben considerar nueve de los diez intervalos de grados de liberación (mayor a menor), es decir, hasta al menos, las partículas parcialmente ocluidas de un]20-10] (Figura 6.32-b). Tomando en cuenta las partículas completamente ocluidas es posible acercarse al percentil 75 del SAG (93% de recuperación).

Las cantidades de alimentación disminuyen a medida que disminuyen los grados de liberación, a excepción del intervalo]10-0] que entra más cantidad que otros intervalos, no obstante, refleja las mayores pérdidas, con un 4% del total de alimentación (Tabla 6.15.). En general, la calcopirita que se escapa a los relaves, se concentra en las fracciones parcialmente ocluidas a ocluidas y un 0,6% se pierde como partículas libres. El relave posee un 8,29 % de la calcopirita que entra en la alimentación.

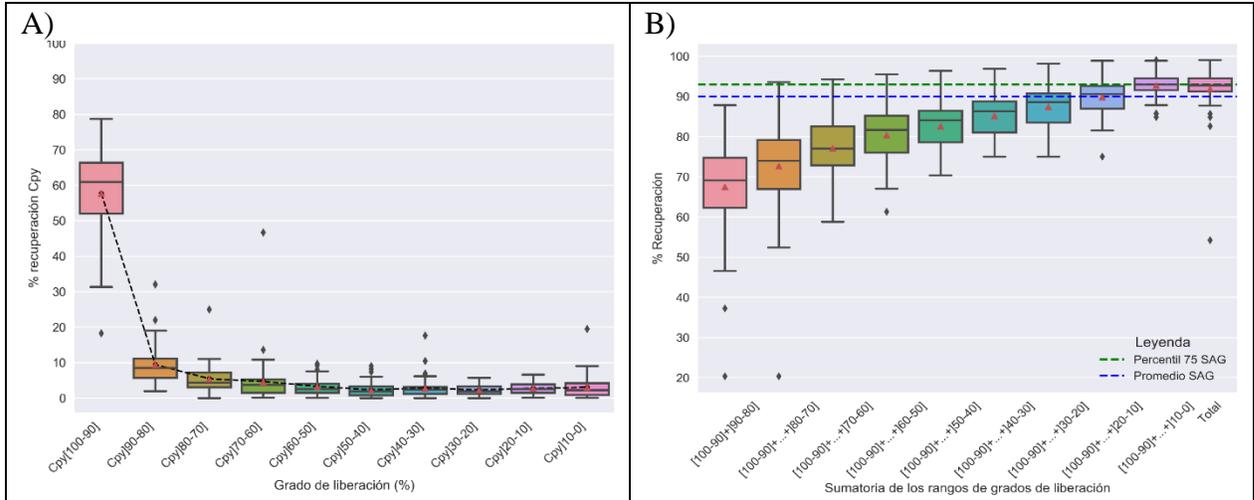


Figura 6.32: Grados de liberación de calcopirita para el proyecto Andesita. A) Recuperación versus grado de liberación. B) Sumatoria de los rangos de grado de liberación para obtener una recuperación sobre el 90%.de calcopirita.

Tabla 6.15: Representatividad de los rangos de grado de liberación de calcopirita para el proyecto Andesita y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación.

% Liberación / % Representatividad	Cpy[100-90]	Cpy[90-80]	Cpy[80-70]	Cpy[70-60]	Cpy[60-50]	Cpy[50-40]	Cpy[40-30]	Cpy[30-20]	Cpy[20-10]	Cpy[10-0]
Cabeza	62,8	8,4	4,4	3,6	2,7	1,9	2,2	2,4	3,0	5,7
Concentrado	66,2	9,5	6,2	4,0	3,2	2,0	1,9	1,7	1,9	2,1
Cola	10,4	0,0	0,0	0,1	0,4	0,0	0,6	1,6	8,7	59,1
Pérdida	0,59	0,00	0,00	0,01	0,02	0,00	0,03	0,17	0,70	4,00

Asociación mineral: Las calcopiritas que se recuperan en el proyecto Andesita, poseen predominancias en las asociaciones con partículas complejas, silicatos duros con filosilicatos, filosilicatos, pirita y otros sulfuros de cobre (Figura 6.33-a). Específicamente, las facies de filosilicatos, predominan las biotitas por sobre los otros filosilicatos, diferenciándose de la tendencia general, que mostraba a la muscovita-sericita como asociación mayoritaria (Figura 6.33-b).

Las partículas complejas llegan incluso a recuperaciones entre 10%-20%, sobresaliendo del resto, pero de igual forma sobresale en las colas, indicando que existe una pérdida con esta fase mineral (Tabla 6.16.). En general, para los filosilicatos se pierden un 0,35% en conjunto con los silicatos duros:filosilicatos y las piritas no exhiben pérdidas, al igual que los otros sulfuros de cobre,

explicando las recuperaciones observadas en el gráfico de la Figura 6.33-a. Las obtenciones de calcopirita con arcillas-caolinitas son prácticamente nulas y las asociaciones con silicatos duros son menores que las fases por sí solas (Tabla 6.17.). Para estas fases no se les relaciona pérdidas, a excepción de los silicatos duros con biotita y muscovita-sericita, con un 0,07% del total de alimentación.

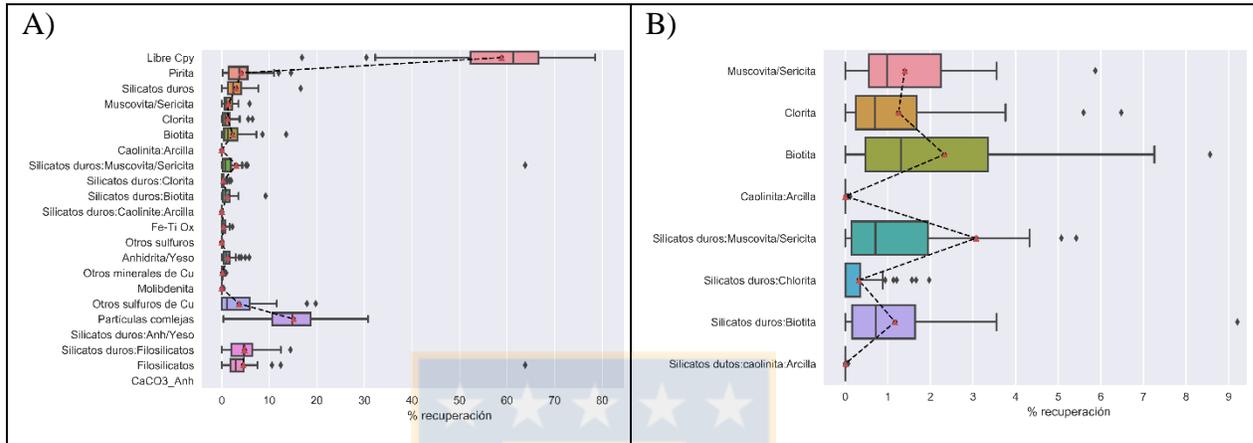


Figura 6.33: Recuperaciones por asociaciones minerales para calcopirita en el proyecto Andesita. A) Total de fases minerales presentes. B) Asociación con filosilicatos.

Tabla 6.16: Representatividad de la asociación mineral de calcopirita para el proyecto Andesita y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación.

% Representatividad Asociación mineral														
	Cpy Libre	Cpy: Pirita	Cpy: Silicatos duros	Cpy: Fe-TiOx.	Cpy: Otros sulfuros	Cpy: Anhídrita/yeso	Cpy: Otros minerales de Cu	Cpy: Molibdenita	Cpy: Otros sulfuros de Cu	Cpy: Partículas complejas	Cpy: Silicatos duros anh/yeso	Cpy: Silicatos duros: Filosilicatos	Cpy: Filosilicatos	Cpy: CaCO ₃ _anh
Cabeza	62,8	3,5	2,4	0,2	0,0	0,9	0,0	0,0	1,2	18,4	0,0	4,8	3,1	0,0
Concentrado	66,2	2,7	3,1	0,5	0,0	2,2	0,1	0,0	3,8	13,3	0,0	5,6	2,6	0,0
Cola	7,2	0,0	1,6	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	57,1	0,0	1,2	3,3	0,0
Pérdida	0,56	0,00	0,12	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,68	0,00	0,11	0,24	0,00

Tabla 6.17: Representatividad de la asociación mineral de filosilicatos con calcopirita para el proyecto Andesita y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación.

Asociación mineral % Representatividad	Cpy: Muscovita/Sericita	Cpy: Chlorita	Cpy: Biotita	Cpy: Caolinita: Arcillas	Cpy: Silicatos duros: Muscovita/Sericita	Cpy: Silicatos duros: Chlorita	Cpy: Silicatos duros: Biotita	Cpy: Silicatos duros: Caolinita: Arcillas
Cabeza	0,8	0,6	1,3	0,0	0,7	0,0	0,9	0,0
Concentrado	2,1	1,2	3,4	0,0	0,6	0,3	1,0	0,0
Cola	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,9	0,0
Pérdida	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,07	0,00

Tamaño: Las recuperaciones por sí solas no exceden un 33% y predominan los intervalos [106-75] μm y [75-53] μm (Figura 6.34-a.). Hacia partículas finas las recuperaciones disminuyen, no obstante, con valores similares, comparadas con las fracciones intermedias a gruesas ($>75 \mu\text{m}$). Al considerar los siete primeros intervalos de tamaño (menor a mayor) se alcanza recuperaciones levemente superiores al promedio SAG y cercanas al percentil 75 del SAG (Figura 6.34-b).

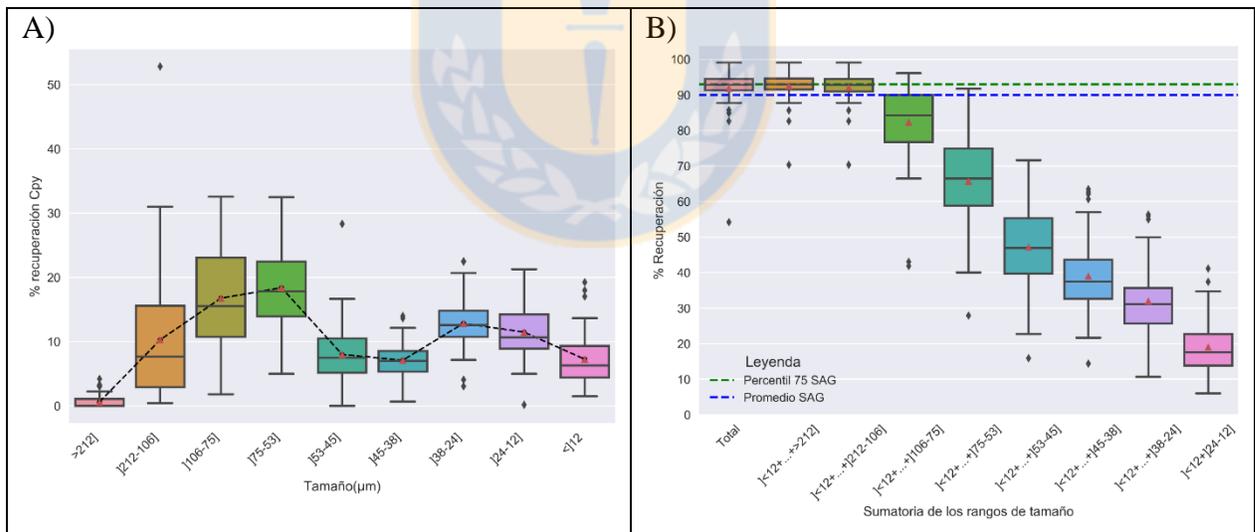


Figura 6.34: Tamaños de calcopirita para el proyecto Andesita. A) Recuperación de calcopirita por tamaño. B) Sumatoria de los rangos de tamaño para obtener una recuperación sobre el 90% de calcopirita.

Al analizar la Tabla 6.18., las recuperaciones elevadas se condicen con proporciones de alimentación, siendo más alta, justamente en los intervalos [75-53] μm y bajo el tamaño 38 μm . A pesar, de que los tamaños [106-75] μm tiene una baja alimentación, no presenta pérdidas en la cola

y se recupera completamente. De igual forma, la fracción $]75-53]$ μm tiene muy pocas pérdidas comparadas con alimentaciones similares en las partículas finas.

Tabla 6.18: Representatividad de los rangos de tamaño de calcopirita para el proyecto Andesita y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación.

Tamaño (μm) % Representatividad	Cpy>212]	Cpy]212-106]	Cpy]106-75]	Cpy]75-53]	Cpy]53-45]	Cpy]45-38]	Cpy]38-24]	Cpy]24-12]	Cpy<12
Cabeza	0,0	7,5	16,9	19,2	8,5	7,6	13,7	12,5	8,0
Concentrado	0,0	0,0	8,9	21,3	10,4	9,1	19,4	15,2	13,1
Cola	0,0	0,0	4,1	6,5	4,1	4,4	17,4	21,2	14,8
Pérdida	0,00	0,00	0,37	0,45	0,30	0,37	1,51	1,61	1,21

Litología: Las muestras del proyecto Andesita, corresponden en orden creciente en recuperaciones de calcopirita, al CMET, BXANH, Brecha ígnea de Pórfido Dacítico (BXIPDA) y al Pórfido Dacítico (PDA) (Figura 6.35.).

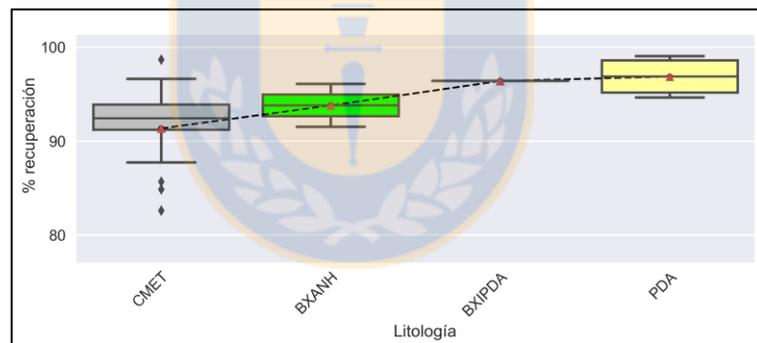


Figura 6.35: Recuperación de calcopirita por unidad litológica para el proyecto Andesita.

6.2.3.2 BORNITA

Grado de liberación: Las recuperaciones de los límites extremos de los grados de liberación son mejores que la de los intervalos intermedios, aunque, entre estas, las de mayor grado de liberación están por encima (Figura 6.36-a). El promedio de obtención para las partículas libres es de un 47% y el de las fases ocluidas un 10%. La Figura 6.36-b, muestra comparativamente que para obtener recuperaciones por sobre el promedio SAG, se deben contemplar todos los intervalos de grados de liberación.

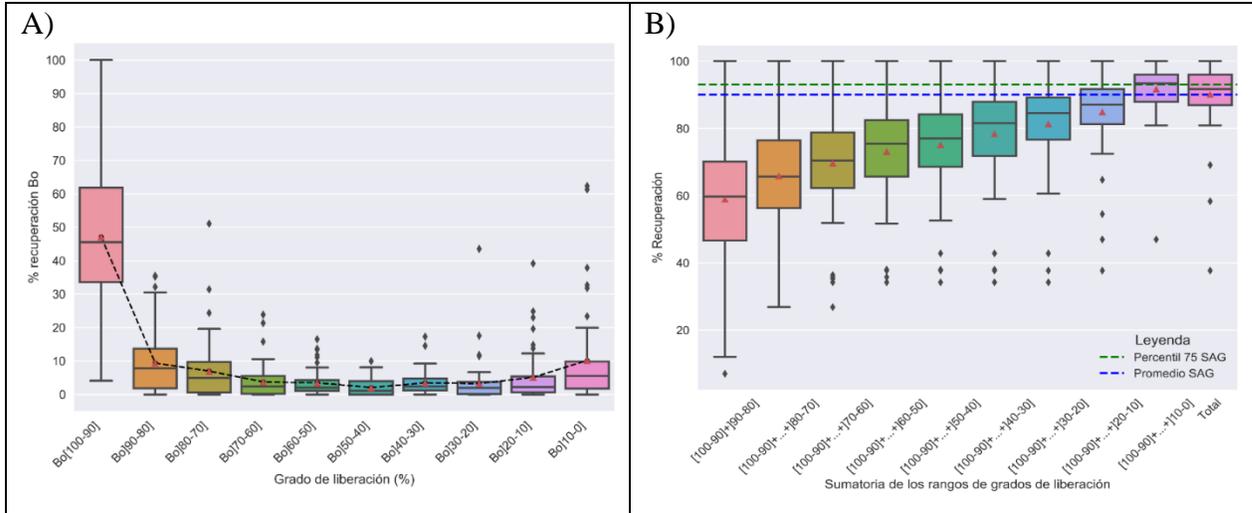


Figura 6.36: Grados de liberación de bornita para el proyecto Andesita. A) Recuperación *versus* grado de liberación. B) Sumatoria de los rangos de grado de liberación para obtener una recuperación sobre el 90%.de bornita.

El incremento en los extremos se debe a que entró una mayor concentración en la alimentación de partículas libres y ocluidas, en contraste con bornitas parcialmente ocluidas/liberadas (Tabla 6.19.). El relave exhibe que solo los rangos menores al 20% y mayores a 90% tienen pérdidas, centrándose en las partículas ocluidas con un 0,74% y en total hay un 9,6% de la bornita que no se recupera.

Tabla 6.19: Representatividad de los rangos de grado de liberación de bornita para el proyecto Andesita y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación.

% Liberación % Representatividad	Bo[100-90]	Bo[90-80]	Bo[80-70]	Bo[70-60]	Bo[60-50]	Bo[50-40]	Bo[40-30]	Bo[30-20]	Bo[20-10]	Bo[10-0]
Cabeza	51,3	8,8	4,9	2,7	2,5	1,3	2,0	2,2	2,3	8,1
Concentrado	55,8	10,2	5,8	4,7	4,4	2,4	2,1	2,5	3,0	3,3
Cola	6,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,1	46,5
Pérdida	0,52	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	4,44

Asociación mineral: Las bornitas recuperadas se hayan asociadas a partículas complejas, otros sulfuros de cobre, silicatos duros:filosilicatos, y piritita (Figura 6.37-a). Las dos primeras asociaciones describen una gran distribución, con valores que llegan por sobre el 80%, para algunas muestras. La única fase de filosilicato que marca la diferencia es la biotita, con una recuperación

de un 0,8% para la mediana, y se expone sobre el resto, los cuales bordean el 0% de obtención (Figura 6.37-b).

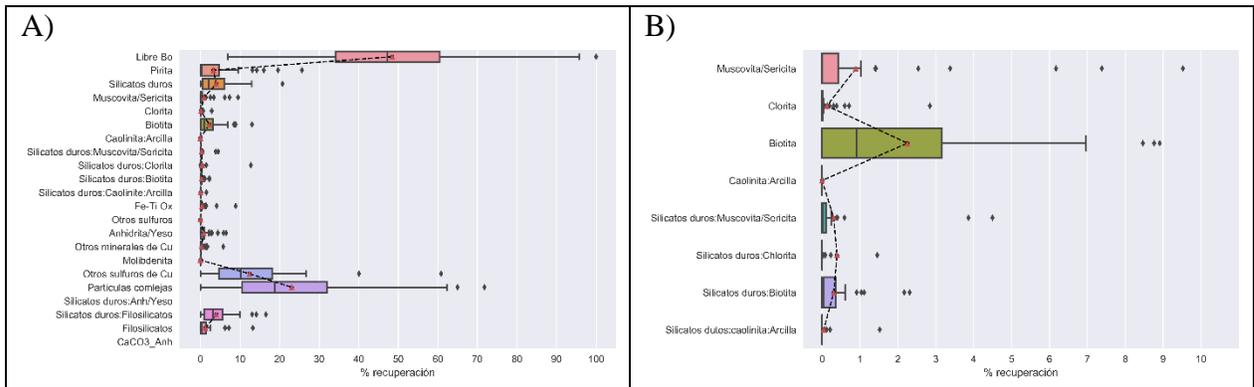


Figura 6.37: Recuperaciones por asociaciones minerales para bornita en el proyecto Andesita. A) Total de fases minerales presentes. B) Asociación con filosilicatos.

Las únicas pérdidas relacionadas a este parámetro son asociadas a las fases mayoritarias, es decir a las partículas complejas y otros sulfuros de cobre, el resto, para la mayoría de los datos no se observan en los relaves, indicando una buena recuperación (Tabla 6.20.). No obstante, entre otros sulfuros de cobre y las partículas complejas, las concentraciones en las colas son muy distintas, implicando que los primeros tienen mejor obtención. Por su parte, en los filosilicatos la distribución en el gráfico 6.37-b se produce porque en la alimentación no ingresa una porción representativa de otras fases laminares, a diferencia de la biotita que entra en más cantidad y la pérdida es prácticamente cero (Tabla 6.21.).

Tabla 6.20: Representatividad de la asociación mineral de bornita para el proyecto Andesita y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación.

Asociación mineral % Representatividad	Bo Libre	Bo: Pirita	Bo: Silicatos duros	Bo: Fe-TiOx.	Bo: Otros sulfuros	Bo: Anhidrita/yeso	Bo: Otros minerales de Cu	Bo: Molibdenita	Bo: Otros sulfuros de Cu	Bo: Partículas complejas	Bo: Silicatos duros anh/yeso	Bo: Silicatos duros: Filosilicatos	Bo: Filosilicatos	Bo: CaCO ₃ _anh
Cabeza	51,7	0,2	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,4	22,9	0,0	3,0	0,3	0,0
Concentrado	55,6	2,4	2,8	0,1	0,0	0,5	0,2	0,0	10,2	19,1	0,0	2,2	1,3	0,0
Cola	4,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,7	61,3	0,0	0,0	0,1	0,0
Pérdida	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17	5,32	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabla 6.21: Representatividad de la asociación mineral de filosilicatos con bornita para el proyecto Andesita y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación.

Asociación mineral % Representatividad	Bo: Muscovita/ Sericita	Bo: Chlorita	Bo: Biotita	Bo: Caolinita: Arcillas	Bo: Silicatos duros: Muscovita/Sericita	Bo: Silicatos duros: Chlorita	Bo: Silicatos duros: Biotita	Bo: Silicatos duros: Caolinita: Arcillas
Cabeza	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Concentrado	1,6	0,4	2,6	0,0	0,3	0,0	0,5	0,0
Cola	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0
Pérdida	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tamaño: Para al menos la mitad de los datos de todos los intervalos de tamaño no se supera el 20%, reflejando una baja recuperación (Figura 6.38-a). Solo ciertas muestras llegan a obtenciones importantes, sobre el 90%. Pese a lo anterior, considerando 7 intervalos de tamaño (menor a mayor) se obtiene recuperaciones equivalentes al 90% (Figura 6.38-b).

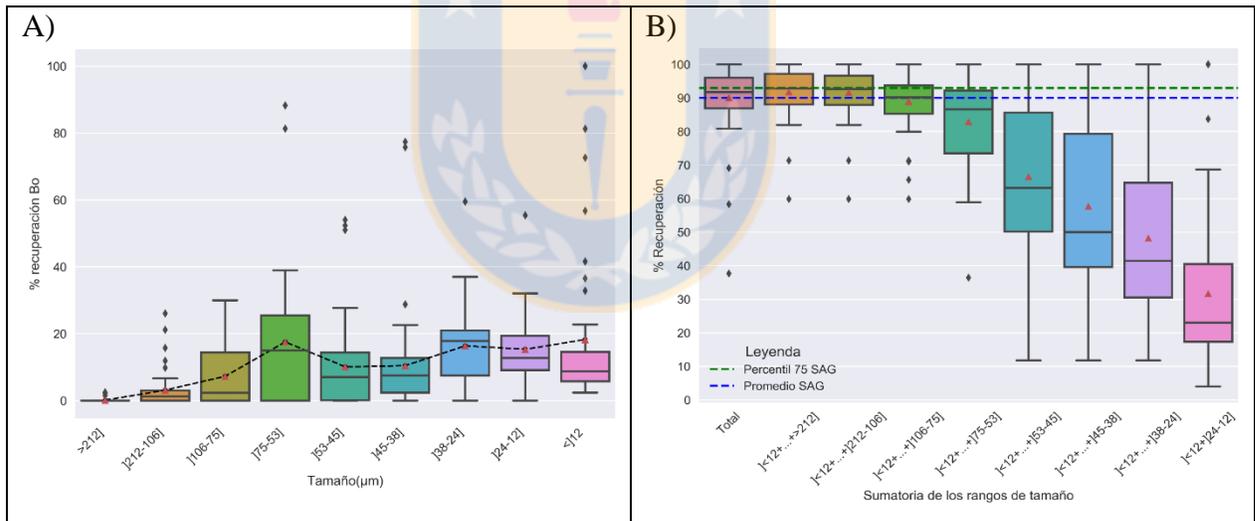


Figura 6.38: Tamaños de bornita para el proyecto Andesita. A) Recuperación de bornita por tamaño. B) Sumatoria de los rangos de tamaño para obtener una recuperación sobre el 90% de bornita.

Bajo el tamaño 45 µm se registran pérdidas significativas en las colas, el resto de los rangos se recuperan casi en su totalidad (Tabla 6.22.). La fracción gruesa (>212 µm) no ingresa en la alimentación y por ende no hay ni concentrado ni cola. Si bien, las recuperaciones no superan un 20%, como se mencionó anteriormente, en el gráfico 6.38-a, en la mayoría de los rangos ingresó

bornita y las pérdidas se concentraron solo bajo fracción, explicando la sumatoria del gráfico 6.38-b.

Tabla 6.22: Representatividad de los rangos de tamaño de bornita para el proyecto Andesita y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación.

Tamaño (µm) % Representatividad	Bo>212]	Bo]212-106]	Bo]106-75]	Bo]75-53]	Bo]53-45]	Bo]45-38]	Bo]38-24]	Bo]24-12]	Bo<12
Cabeza	0,0	0,8	0,9	14,8	6,6	7,5	19,3	16,5	10,7
Concentrado	0,0	0,0	0,0	12,3	10,5	10,1	22,0	19,2	15,6
Cola	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	12,7	20,2	17,3
Pérdida	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14	1,19	1,86	1,60

Litología: El PDA, al igual que la calcopirita, tiene las mayores recuperaciones, sin embargo, el CMET se posiciona por sobre la BXIPDA y la BXANH (Figura 6.39.)

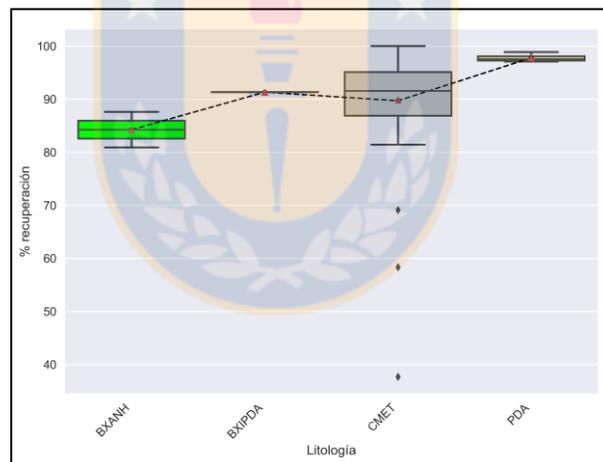


Figura 6.39: Recuperación de bornita por unidad litológica para el proyecto Andesita.

6.2.4 PROYECTO RECURSOS NORTE

6.2.4.1 CALCOPIRITA

Grado de liberación: Las recuperaciones son bajas para todos los rangos de liberación, a excepción de las partículas completamente libres, las cuales tienen un 72% de recuperación para la mediana (Figura 6.40-a). El patrón es relativamente plano, con una leve tendencia al incremento hacia rangos de liberación mayor. La sumatoria de los rangos [100-20] se acerca bastante al 90%

de recuperación y solo al considerar un intervalo más, es posible superarlo y posicionarse próximo al percentil 75 del SAG (Figura 6.40-b). El presente sector, tiene muy buenas recuperaciones si se toman en cuenta todas las partículas, obteniendo una recuperación del 95% para la mediana.

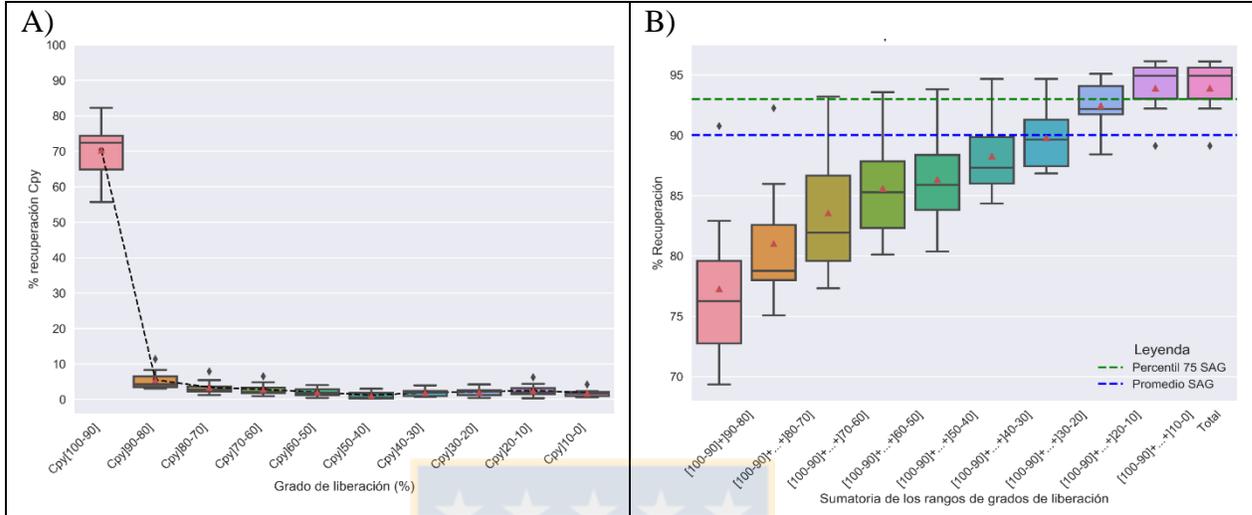


Figura 6.40: Grados de liberación de calcopirita para el proyecto Recursos Norte. A) Recuperación *versus* grado de liberación. B) Sumatoria de los rangos de grado de liberación para obtener una recuperación sobre el 90%. de calcopirita.

Las proporciones que ingresan en la alimentación son bastante bajas, explicando las bajas recuperaciones para los grados de liberación <90%, siendo la mayoritaria las partículas libres ([100-90]) (Tabla 6.23.). Las pérdidas asociadas a las partículas en la cola también son bajas y representan un 5,83% del total de la alimentación. Las partículas completamente ocluidas se les atribuyen las pérdidas más considerables (3,38%).

Tabla 6.23: Representatividad de los rangos de grado de liberación de calcopirita para el proyecto Recursos Norte y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación.

% Liberación % Representatividad	Cpy[100-90]	Cpy[90-80]	Cpy[80-70]	Cpy[70-60]	Cpy[60-50]	Cpy[50-40]	Cpy[40-30]	Cpy[30-20]	Cpy[20-10]	Cpy[10-0]
Cabeza	73,5	3,9	2,9	2,1	1,8	0,4	1,9	2,1	3,8	5,3
Concentrado	71,5	6,4	3,4	2,7	3,3	1,4	2,5	2,3	3,2	3,1
Cola	16,7	0,6	0,2	0,2	0,3	0,0	0,1	2,2	13,2	56,8
Pérdida	0,87	0,03	0,01	0,02	0,02	0,00	0,01	0,15	0,68	3,38

Asociación mineral: Al analizar las Figuras 6.41-a y 6.41-b, en conjunto con las Tablas 6.24. y 6.25, es posible explicar que las recuperaciones elevadas se deben a que ingresaron en mayor concentración las fases asociadas a partículas complejas, filosilicatos, silicatos duros y pirita. La cola se encuentra dominada por las partículas complejas y silicatos duros con filosilicatos, representando casi un 77% de esta. Un 0,87% del total de alimentación se pierde en la cola, debido a problemas de tamaño, dado que no se encuentra asociado a ninguna fase. Por otra parte, la muscovita-sericita, y la asociación de esta con los silicatos duros son las fases que más se recuperan. Esto se produce porque las pérdidas en el proceso de flotación son muy bajas, mientras las demás fases, no entran en concentraciones relevantes y por ende no registran pérdidas en el relave.

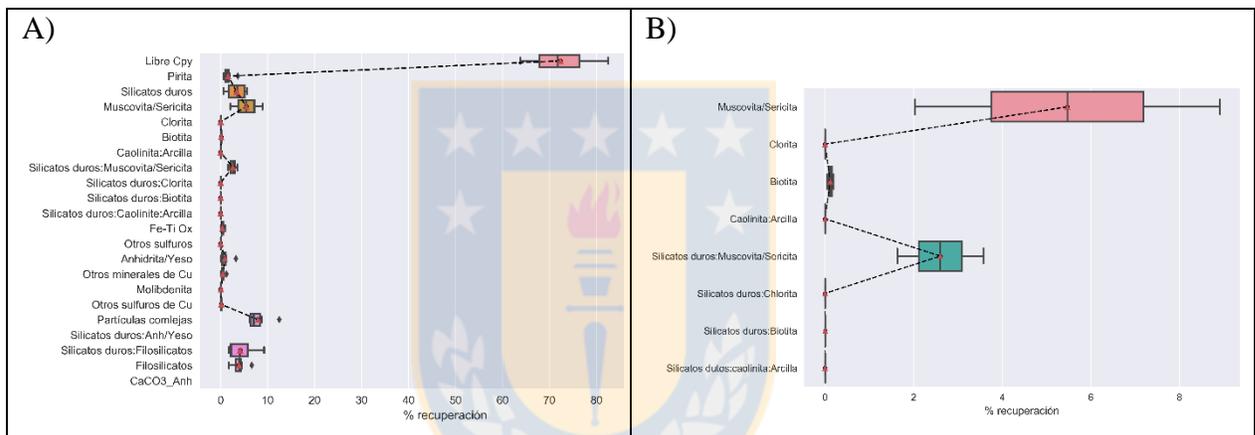


Figura 6.41: Recuperaciones por asociaciones minerales para calcopirita en el proyecto Recursos Norte. A) Total de fases minerales presentes. B) Asociación con filosilicatos.

Tabla 6.24: Representatividad de la asociación mineral de calcopirita para el proyecto Recursos Norte y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación.

Asociación mineral % Representatividad	Cpy Libre	Cpy: Pirita	Cpy: Silicatos duros	Cpy: Fe-TiOx.	Cpy: Otros sulfuros	Cpy: Anhidrita/yeso	Cpy: Otros minerales de Cu	Cpy: Molibdenita	Cpy: Otros sulfuros de Cu	Cpy: Partículas complejas	Cpy: Silicatos duros anh/yeso	Cpy: Silicatos duros: Filosilicatos	Cpy: Filosilicatos	Cpy: CaCO ₃ _anh
Cabeza	72,8	1,4	3,6	0,5	0,0	0,4	0,4	0,0	0,2	10,7	0,0	4,2	4,0	0,0
Concentrado	71,5	2,8	2,6	0,4	0,0	0,9	0,1	0,0	0,5	14,5	0,0	4,6	4,5	0,0
Cola	16,7	0,1	1,8	0,3	0,0	0,1	0,0	0,0	0,2	54,9	0,0	21,9	1,9	0,0
Pérdida	0,87	0,01	0,09	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	3,32	0,00	1,28	0,15	0,00

Tabla 6.25: Representatividad de la asociación mineral de filosilicatos con calcopirita para el proyecto Recursos Norte y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación.

Asociación mineral % Representatividad	Cpy: Muscovita/Sericita	Cpy: Chlorita	Cpy: Biotita	Cpy: Caolinita: Arcillas	Cpy: Silicatos duros: Muscovita/Sericita	Cpy: Silicatos duros: Chlorita	Cpy: Silicatos duros: Biotita	Cpy: Silicatos duros: Caolinita: Arcillas
Cabeza	5,6	0,0	0,1	0,0	2,9	0,0	0,0	0,0
Concentrado	10,1	0,4	1,3	0,1	4,7	0,2	0,5	0,0
Cola	2,4	0,0	0,4	0,1	6,2	0,0	0,1	0,0
Pérdida	0,12	0,00	0,02	0,01	0,31	0,00	0,00	0,00

Tamaño: A diferencia del resto de los sectores, Recursos Norte, posee recuperaciones elevadas en las fracciones finas <38 μm, por sobre el resto de fracciones intermedias o gruesas, ilustrando cierta tendencia de obtener mayores recuperaciones a medida que el tamaño disminuye (Figura 6.42-a). Al tomar en cuenta los intervalos de menor a mayor, hasta el]106-75] μm se aproxima a las recuperaciones promedios del SAG y al considerar el resto de los rangos, sobrepasa el 93% de recuperación (Figura 6.42-b).

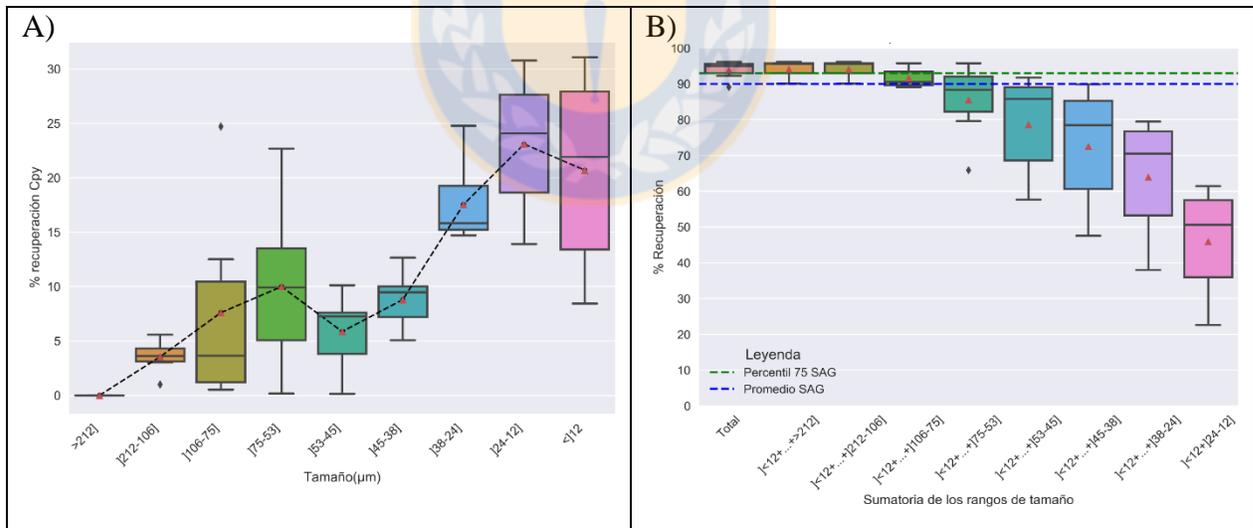


Figura 6.42: Tamaños de calcopirita para el proyecto Recursos Norte. A) Recuperación de calcopirita por tamaño. B) Sumatoria de los rangos de tamaño para obtener una recuperación sobre el 90% de calcopirita.

La anterior tendencia se debe a que las proporciones de calcopirita que ingresaron a la alimentación se concentran, justamente, en las fracciones finas ($<75 \mu\text{m}$) y además las colas no registran grandes pérdidas, las cuales bordean el 1% del total de alimentación (Tabla 6.26.).

Tabla 6.26: Representatividad de los rangos de tamaño de calcopirita para el proyecto Recursos Norte y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación.

Tamaño (μm) % Representatividad	Cpy>212]	Cpy]212-106]	Cpy]106-75]	Cpy]75-53]	Cpy]53-45]	Cpy]45-38]	Cpy]38-24]	Cpy]24-12]	Cpy<12
Cabeza	0,0	3,4	1,8	9,3	7,5	9,9	19,6	27,9	23,9
Concentrado	0,0	1,1	7,0	25,0	9,8	9,0	16,7	11,6	16,2
Cola	0,0	10,3	8,9	18,8	3,8	5,3	18,7	16,7	15,6
Pérdida	0,00	0,68	0,50	0,98	0,26	0,46	0,97	1,03	1,09

Litología: Las muestras pertenecientes al proyecto Recursos Norte, corresponden al CMET y al PDA, la cual, ésta última unidad posee recuperaciones más elevadas (Figura 6.43.).

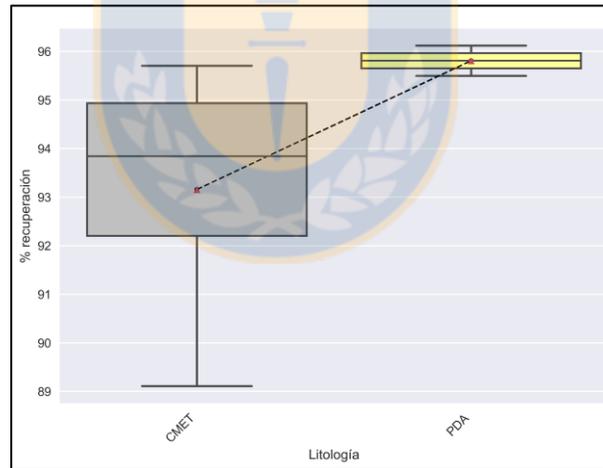


Figura 6.43: Recuperación de calcopirita por unidad litológica para el proyecto Recursos Norte.

6.2.4.2 BORNITA

Grado de liberación: La Figura 6.44-a, muestra que existe tres intervalos de grados de liberación que sobresalen por encima de resto, sin considerar la bornita libre, la cual posee la mayor recuperación. El rango de]60-50] pose una alta variabilidad y sus datos se concentran en

recuperaciones similares a las del resto. Se necesitan los nueve intervalos de mayor a menor grado de liberación, para alcanzar recuperaciones por sobre el 90%, indicando que no hay un conjunto de rangos específicos que logren dicha recuperación (Figura 6.44-b).

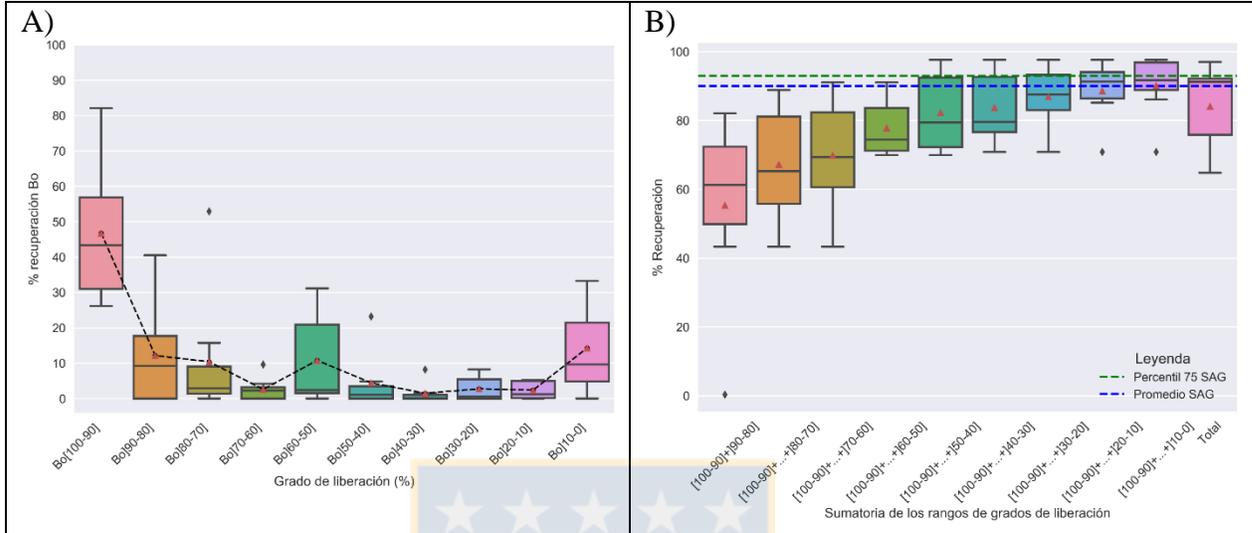


Figura 6.44: Grados de liberación de bornita para el proyecto Recursos Norte. A) Recuperación *versus* grado de liberación. B) Sumatoria de los rangos de grado de liberación para obtener una recuperación sobre el 90%.de bornita.

Las concentraciones de los rangos de liberación en la alimentación, se condice con las recuperaciones, ya que en general no se produce pérdidas en la cola, a excepción de las partículas libres (1,12%) y las ocluidas (7,97%) (Tabla 6.27).

Tabla 6.27: Representatividad de los rangos de grado de liberación de bornita para el proyecto Recursos Norte y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación.

<i>% Liberación</i> <i>% Representatividad</i>	Bo[100-90]	Bo[90-80]	Bo[80-70]	Bo[70-60]	Bo[60-50]	Bo[50-40]	Bo[40-30]	Bo[30-20]	Bo[20-10]	Bo[10-0]
Cabeza	43,3	9,3	4,1	2,3	2,3	1,4	0,2	1,1	0,3	6,9
Concentrado	43,6	4,7	2,4	2,3	5,0	3,6	3,0	6,7	4,3	13,6
Cola	11,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	53,2
Pérdida	1,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,97

Asociación mineral: Las recuperaciones por asociación mineral se encuentran representadas por otros sulfuros de cobre y partículas complejas (Figura 6.45.). Si bien, los filosilicatos y silicatos duros muestran una amplia distribución, el 50% de sus datos están cercanos al 0% de recuperación.

Al analizar la Tabla 6.28., los otros sulfuros de cobre poseen pérdidas menores al 1% registradas en las colas, corroborando su alta recuperación, mientras que las partículas complejas poseen un 5,3% que se va en los relaves.

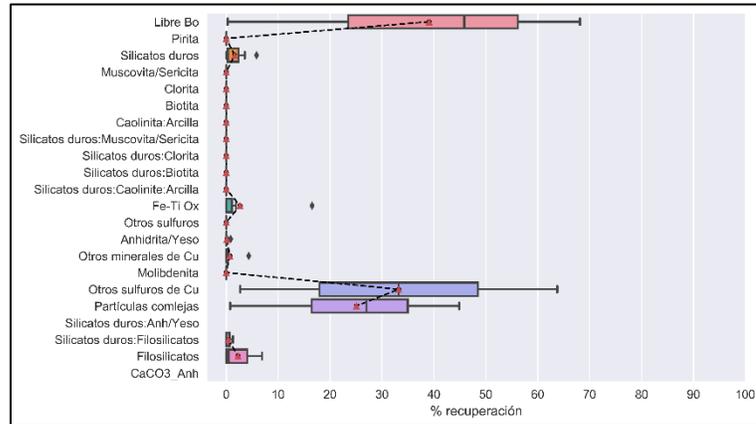


Figura 6.45: Recuperaciones por asociaciones minerales para bornita en el proyecto Recursos Norte.

Tabla 6.28: Representatividad de la asociación mineral de bornita para el proyecto Recursos Norte y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación.

Asociación mineral % Representatividad	Bo Libre	Bo: Pirita	Bo: Silicatos duros	Bo: Fe-TiOx.	Bo: Otros sulfuros	Bo: Anhidrita/yeso	Bo: Otros minerales de Cu	Bo: Molibdenita	Bo: Otros sulfuros de Cu	Bo: Partículas complejas	Bo: Silicatos duros anh/yeso	Bo: Silicatos duros: Filosilicatos	Bo: Filosilicatos	Bo: CaCO ₃ _anh
Cabeza	46,0	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	33,7	34,9	0,0	0,7	0,0	0,0
Concentrado	43,6	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	13,2	49,1	0,0	0,2	0,2	0,0
Cola	11,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	1,7	35,0	0,0	17,0	0,0	0,0
Pérdida	1,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,55	5,31	0,00	1,69	0,00	0,00

Tamaño: Al igual que la calcopirita, las mayores recuperaciones se adquieren con las fracciones finas, siguiendo la tendencia de mayor recuperación hacia tamaños más finos (Figura 6.46-a). Las concentraciones de los intervalos, comienzan a prevalecer en los rangos menores a 45 μm y sobre éste, las proporciones son prácticamente ceros. Las recuperaciones de bornita, alcanzan un 90% si se toman en cuenta al menos 7 intervalos de menor a mayor tamaño, equiparándose con el promedio SAG (Figura 6.46-b).

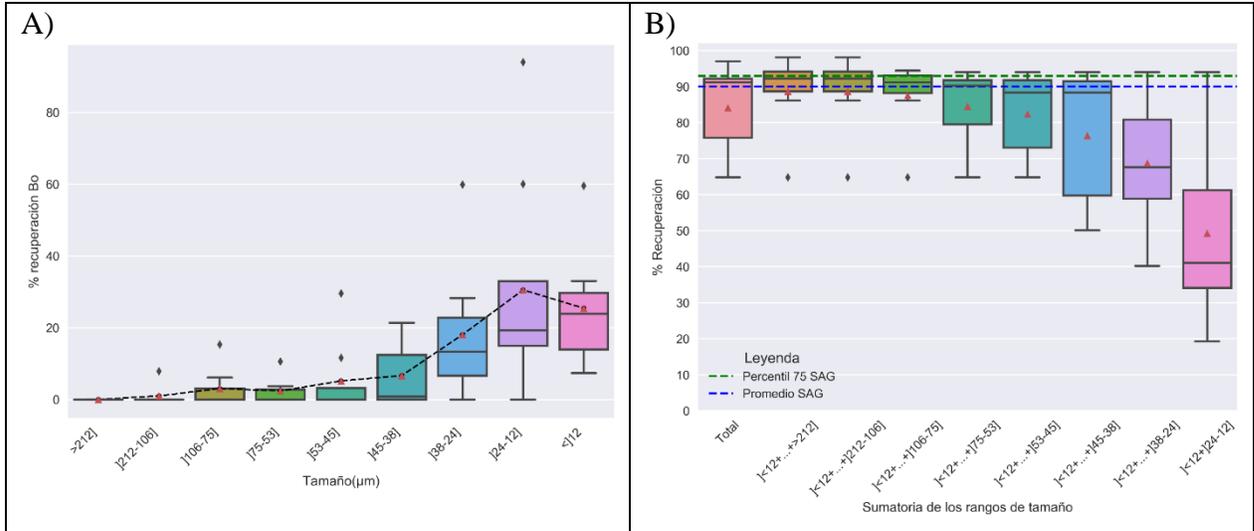


Figura 6.46: Tamaños de bornita para el proyecto Recursos Norte. A) Recuperación de bornita por tamaño. B) Sumatoria de los rangos de tamaño para obtener una recuperación sobre el 90% de bornita.

La mayor pérdida se produce en los tamaños]24-12] µm, con un 3% del total de alimentación, mientras sobre este rango las pérdidas disminuyen considerablemente hasta llegar a un 0% (Tabla 6.29).

Tabla 6.29: Representatividad de los rangos de tamaño de bornita para el proyecto Recursos Norte y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación.

Tamaño (µm) % Representatividad	Bo>212]	Bo]212-106]	Bo]106-75]	Bo]75-53]	Bo]53-45]	Bo]45-38]	Bo]38-24]	Bo]24-12]	Bo<12
Cabeza	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,1	19,3	24,1	16,0
Concentrado	0,0	0,0	0,0	0,0	4,2	3,2	24,0	21,5	30,5
Cola	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	8,2	16,3
Pérdida	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	3,00	2,14

Litología: En contraste con la calcopirita, el CMET tiene mejor recuperación para esta fase mineral (Figura 6.47.).

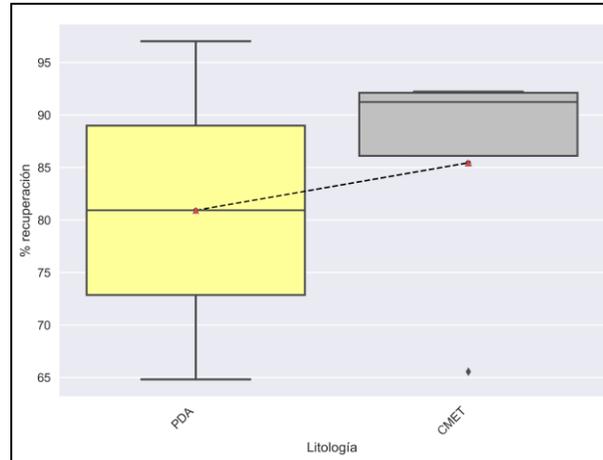


Figura 6.47: Recuperación de bornita por unidad litológica para el proyecto Recursos Norte.

6.2.5 SECTOR PRODUCTIVO ESMERALDA

6.2.5.1 CALCOPIRITA

Grado de liberación: Se reconoce la tendencia general de mayor grado de liberación, mayor recuperación (Figura 6.48-a). La calcopirita libre se recupera en mayores proporciones, con un 59% en promedio y el resto de las recuperaciones no superan el 10% por sí solas para la mediana. La Figura 6.48-b, revela que para obtener una recuperación sobre el 90% se deben sumar todos los rangos de liberación, de esta forma el 50% de los valores están por encima del valor de recuperación.

Las pérdidas por este parámetro se centran en los rangos menores al 30%, indicando que un 5,17% con respecto al total de alimentación, se perdió por partículas ocluidas y parcialmente ocluidas (Tabla 6.30.). Existe un porcentaje no menor del 10,7% de la cola que se pierde como partícula libre, lo que muestra que existe un problema de tamaño al momento de recuperarla. Entre los rangos de]90-30] las pérdidas no superan el 1% del total de cabeza.

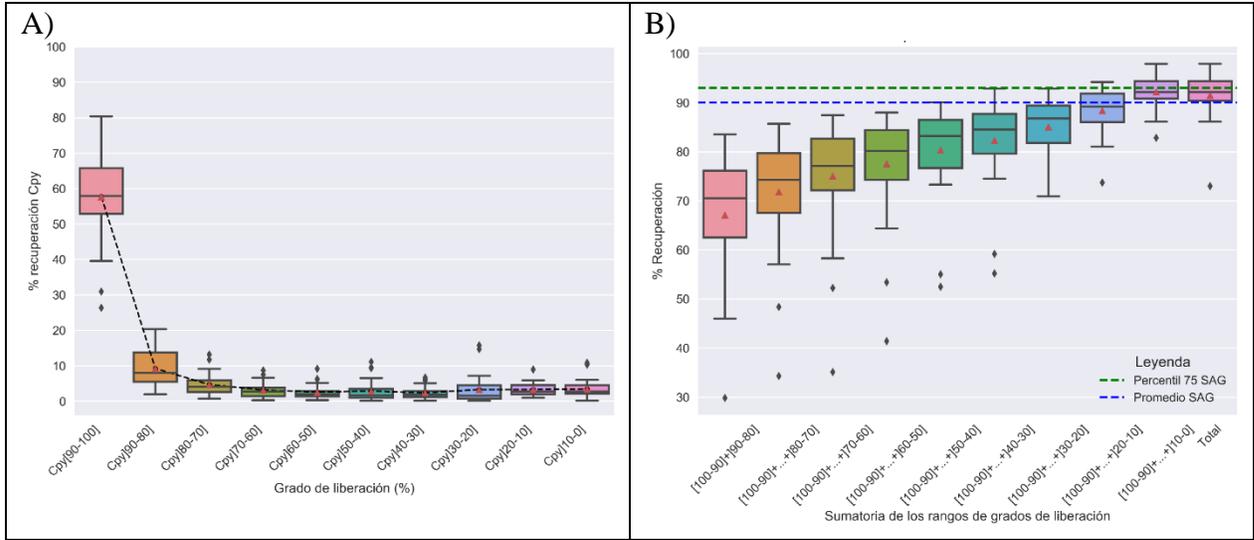


Figura 6.48: Grados de liberación de calcopirita para el sector Esmeralda. A) Recuperación *versus* grado de liberación. B) Sumatoria de los rangos de grado de liberación para obtener una recuperación sobre el 90%.de calcopirita.

Tabla 6.30: Representatividad de los rangos de tamaño de calcopirita para el sector Esmeralda y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación.

% Liberación % Representatividad	Cpy[100-90]	Cpy[90-80]	Cpy[80-70]	Cpy[70-60]	Cpy[60-50]	Cpy[50-40]	Cpy[40-30]	Cpy[30-20]	Cpy[20-10]	Cpy[10-0]
Cabeza	59,7	8,1	4,5	2,8	2,1	1,9	1,8	1,7	4,0	7,0
Concentrado	64,8	8,1	4,7	3,4	3,7	2,1	2,2	2,7	3,4	3,8
Cola	10,7	0,1	0,2	0,3	0,2	0,0	0,6	6,2	14,6	52,4
Pérdida	0,72	0,00	0,02	0,02	0,01	0,00	0,08	0,50	1,16	3,51

Asociación mineral: La calcopirita se recupera en su estado libre predominantemente con un 58% para la mayoría de sus datos (Figura 6.49-a). Las asociaciones con partículas complejas, filosilicatos, silicatos duros:filosilicatos y piritita resaltan sobre las otras. En general la muscovita-sericita son los filosilicatos mayoritarios (Figura 6.49-b), aunque estos no superan el 10% de recuperación.

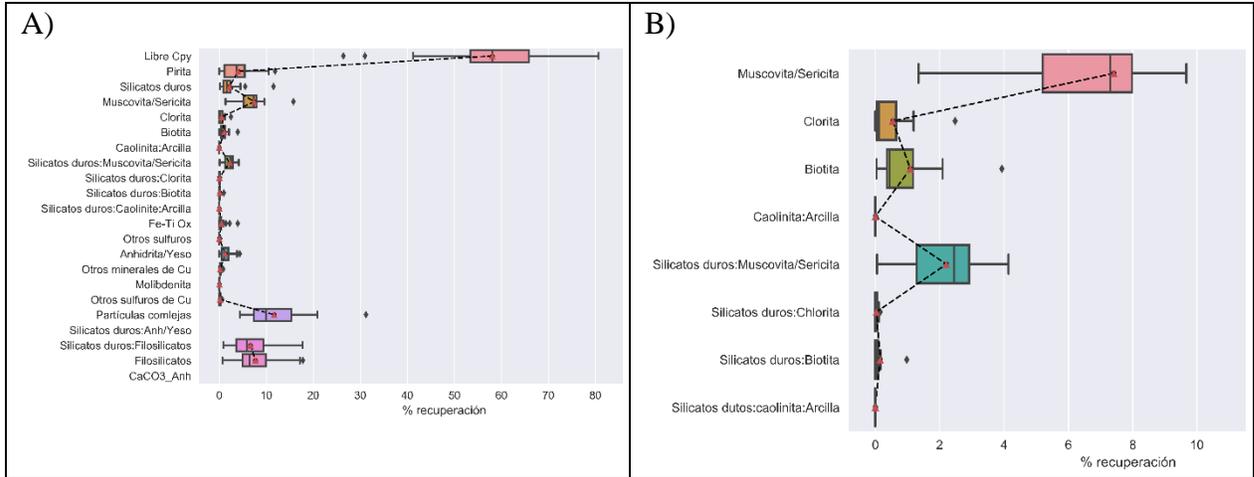


Figura 6.49: Recuperaciones por asociaciones minerales para calcopirita en el sector Esmeralda. A) Total de fases minerales presentes. B) Asociación con filosilicatos.

Las principales pérdidas relacionadas a la asociación mineral se deben a calcopiritas asociadas a partículas complejas, silicatos duros:filosilicatos, calcopiritas libres y filosilicatos (Tabla 6.31.). El resto de las fases minerales no revelan una injerencia importante en las pérdidas.

Tabla 6.31: Representatividad de la asociación mineral de calcopirita para el sector Esmeralda y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación.

% Asociación mineral Representatividad	Cpy Libre	Cpy: Pirita	Cpy: Silicatos duros	Cpy: Fe-TiOx.	Cpy: Otros sulfuros	Cpy: Anhidrita/yeso	Cpy: Otros minerales de Cu	Cpy: Molibdenita	Cpy: Otros sulfuros de Cu	Cpy: Partículas complejas	Cpy: Silicatos duros anh/yeso	Cpy: Silicatos duros: Filosilicatos	Cpy: Filosilicatos	Cpy: CaCO ₃ _anh
Cabeza	59,7	3,7	1,9	0,2	0,0	0,9	0,2	0,0	0,1	15,1	0,0	7,1	6,9	0,0
Concentrado	65,3	2,3	2,3	0,4	0,0	1,3	0,2	0,0	0,2	13,0	0,0	4,7	8,6	0,0
Cola	10,7	1,2	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	50,8	0,0	13,4	3,9	0,0
% Pérdida	0,72	0,06	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,84	0,00	1,33	0,25	0,00

Tamaño: Las menores recuperaciones se producen en las fracciones gruesas e intermedias (>106 μm) y en los tamaños de [53-38] μm. Estas últimas no superan el 7% para el 50% de sus datos (Figura 6.50-a). Las fracciones finas (<38 μm.) tienden a disminuir las recuperaciones hacia tamaños menores, sin embargo, en su conjunto, presentan obtenciones similares a tamaños mayores. Para el sector Esmeralda, la sumatoria de los siete primeros rangos de tamaño (menor a

mayor) se alcanza una recuperación del 90%, igualando al promedio SAG y el resto de los rangos no hace la diferencia porque son prácticamente zeros (Figura 6.50-b).

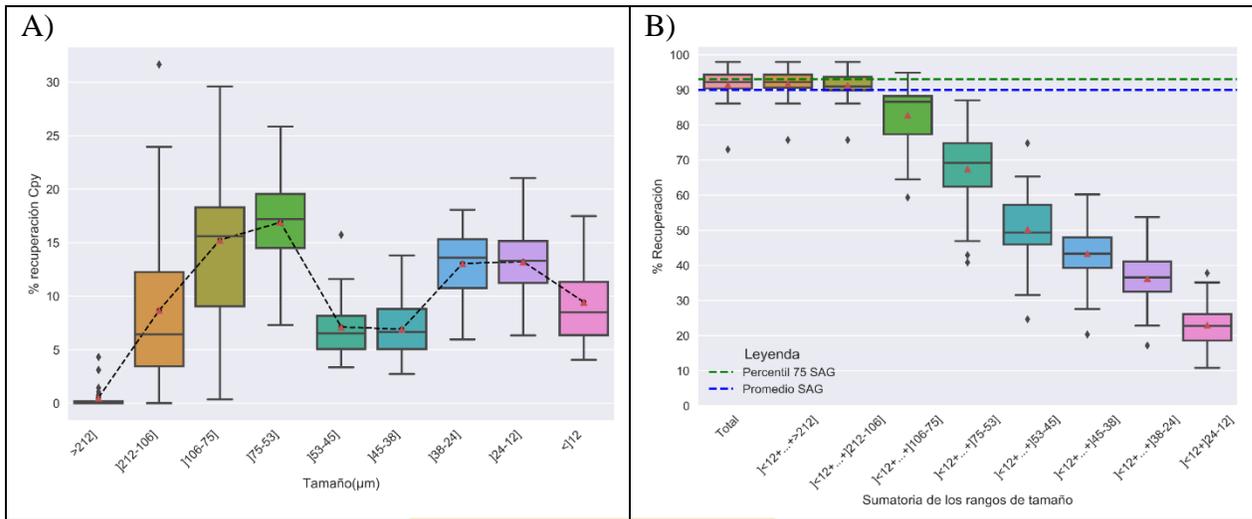


Figura 6.50: Tamaños de calcopirita para el sector Esmeralda. A) Recuperación de calcopirita por tamaño. B) Sumatoria de los rangos de tamaño para obtener una recuperación sobre el 90% de calcopirita.

La fracción gruesa (>212 µm) no es recibida en la alimentación, explicando las nulas recuperaciones en los gráficos anteriores (Tabla 6.32.). El tamaño más fino (<12 µm) a pesar que entra en una cantidad considerable, no percibe grandes pérdidas, indicando que esta fracción podría estar asociada a una fase mineral que le haya favorecido en la flotación o por arrastre si estuviese libre. Las calcopiritas de]38-24] µm es el rango que registra la mayor pérdida con un 1,55% con respecto al total de alimentación. Es importante destacar, que los tamaños de]212-106] µm tienen un 6% de representatividad en las muestras de cabeza y no posee pérdidas, recuperándose completamente.

Tabla 6.32: Representatividad de los rangos de tamaño de calcopirita para el sector Esmeralda y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación.

Tamaño (µm) % Representatividad	Cpy>212]	Cpy]212-106]	Cpy]106-75]	Cpy]75-53]	Cpy]53-45]	Cpy]45-38]	Cpy]38-24]	Cpy]24-12]	Cpy<12
Cabeza	0,0	6,0	16,5	19,1	7,1	7,6	15,3	14,5	9,1
Concentrado	0,0	0,0	11,7	20,1	8,7	7,4	14,9	11,8	16,5
Cola	0,0	0,0	7,1	17,3	6,0	11,6	20,6	15,2	9,0
Pérdida	0,00	0,00	0,64	1,46	0,59	0,84	1,55	1,19	0,64

Litología: Las muestras del sector Esmeralda corresponden litológicamente, en orden creciente en recuperaciones, por las unidades de Brecha Ígnea de Tonalita (BXITO), Complejo Máfico El Teniente (CMET), Pórfido Diorítico (PDI), Tonalita (TO) y Brecha de Anhidrita (BXANH) (Figura 6.51.). En este caso particular, la BXANH tiene mayores obtenciones que los intrusivos félsicos. Las recuperaciones bordean entre un 88-94% para las medianas de los datos.

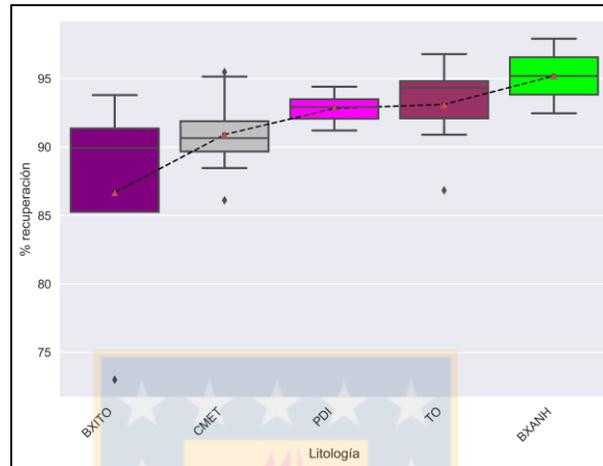


Figura 6.51: Recuperación de calcopirita por unidad litológica para el sector Esmeralda

6.2.5.2 BORNITA

Grado de liberación: Las recuperaciones de bornita, según los grados de liberación, se concentran en las partículas completamente ocluidas y libres (Figura 6.52-a). En ambos rangos, las distribuciones exhiben gran dispersión, no obstante, las partículas ocluidas son asimétricas. El 50% de los datos están en recuperaciones menores al 10% y, por el contrario, el grado de [100-90] es simétrica con un promedio de 34%. El resto de los rangos de este parámetro no superan 10% para la mayoría de sus datos. El gráfico de la Figura 6.52-b, representa la sumatoria de los rangos de grado de liberación (mayor a menor grado). Todos los rangos tienen distribuciones que alcanzan valores cercanos a ceros debido a que la mayoría de los rangos intermedios concentran sus valores en esta cifra. Una recuperación sobre el 90% se obtiene con la sumatoria de todos los grados de liberación.

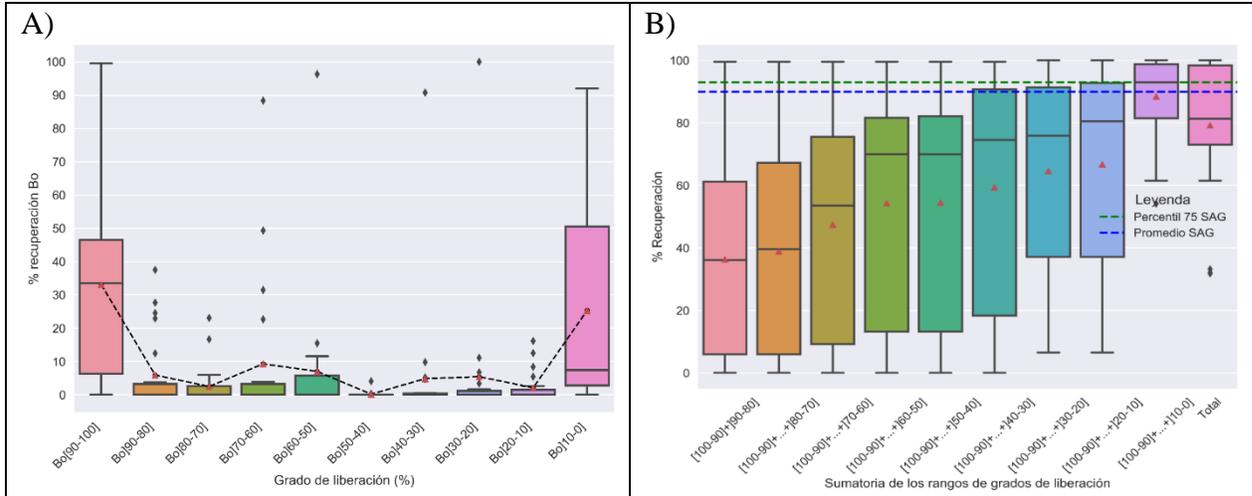


Figura 6.52: Grados de liberación de bornita para el sector Esmeralda. A) Recuperación *versus* grado de liberación. B) Sumatoria de los rangos de grado de liberación para obtener una recuperación sobre el 90%.de bornita.

La Tabla 6.33., muestra que solo los grados de liberación extremos ([100-90] y]10-0]) percibieron una entrada en la alimentación, el resto no muestra un porcentaje importante. Esta alimentación aparente genera que en el concentrado se produzca una leve obtención en estos rangos, a pesar, de que la alimentación sea cero. Las pérdidas se producen justamente asociada a las entradas importantes en los grados de liberación, destacando las partículas ocluidas con un 1,19% con respecto al total de alimentación. Solo un 0,43% se pierde como partícula libre, asociado a problemas de tamaño. El total de pérdida para la mayoría de los datos de la fase de bornita es de un 19,56%.

Tabla 6.33: Representatividad de los rangos de grado de liberación de bornita para el sector Esmeralda y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación.

<i>% Liberación</i> <i>% Representatividad</i>	Bo[100-90]	Bo]90-80]	Bo]80-70]	Bo]70-60]	Bo]60-50]	Bo]50-40]	Bo]40-30]	Bo]30-20]	Bo]20-10]	Bo]10-0]
Cabeza	34,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,5
Concentrado	51,5	0,8	0,4	0,5	3,2	0,0	0,0	1,1	1,1	13,2
Cola	6,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	34,8
Pérdida	0,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,19

Asociación mineral: La bornita recuperada se encuentra en su estado libre y asociada esencialmente a partículas complejas y otros sulfuros de cobre (Figura 6.53.). El aporte de

filosilicatos en este sector es prácticamente cero, al igual que los silicatos duros a diferencia de otros sectores productivos.

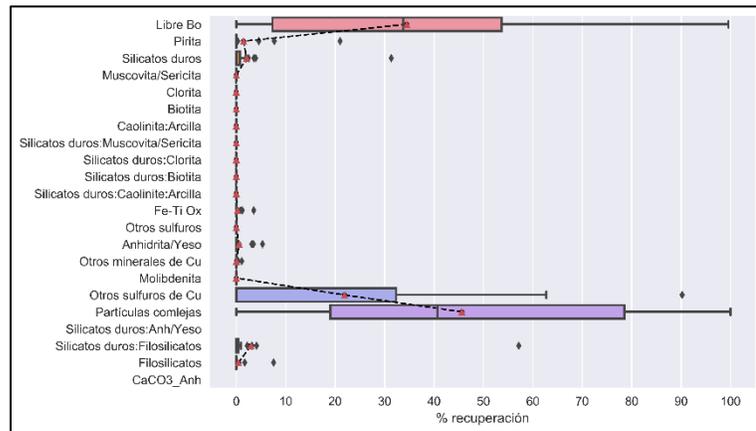


Figura 6.53: Recuperaciones por asociaciones minerales para bornita en el sector Esmeralda.

La alimentación de las asociaciones minerales para la bornita consiste en bornita libre, y partículas complejas (Tabla 6.34.). Si bien, el gráfico anterior mostraba una distribución elevada para otros sulfuros de cobre, sobre el 50% de los datos son valores cercanos a cero y solo algunos tienen concentraciones elevadas. Las pérdidas se producen efectivamente en las únicas entradas relevantes y predomina en las partículas complejas con un 3,48% con respecto al total de alimentación.

Tabla 6.34: Representatividad de la asociación mineral de bornita para el sector Esmeralda y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación.

Asociación mineral % Representatividad	Bo Libre	Bo: Pirita	Bo: Silicatos duros	Bo: Fe-TiOx.	Bo: Otros sulfuros	Bo: Anhidrita/yeso	Bo: Otros minerales de Cu	Bo: Molibdenita	Bo: Otros sulfuros de Cu	Bo: Partículas complejas	Bo: Silicatos duros anh/yeso	Bo: Silicatos duros: Filosilicatos	Bo: Filosilicatos	Bo: CaCO ₃ _anh
Cabeza	34,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	46,5	0,0	0,0	0,0	0,0
Concentrado	51,5	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,7	40,1	0,0	0,0	0,5	0,0
Cola	6,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	60,4	0,0	0,0	0,0	0,0
Pérdida	0,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,48	0,00	0,00	0,00	0,00

Tamaño: Solamente las fracciones finas de bornita se recuperan para este sector, con porcentajes relevantes bajo el tamaño 24 μm (Figura 6.54-a). El resto de los rangos, para la mayoría de los datos se encuentran con obtenciones cercanas a ceros y solo ciertos valores exhiben recuperaciones elevadas. La bornita no alcanza el 90% de recuperación para este sector, aun así, se considerarán todos los rangos de tamaño (Figura 6.54-b).

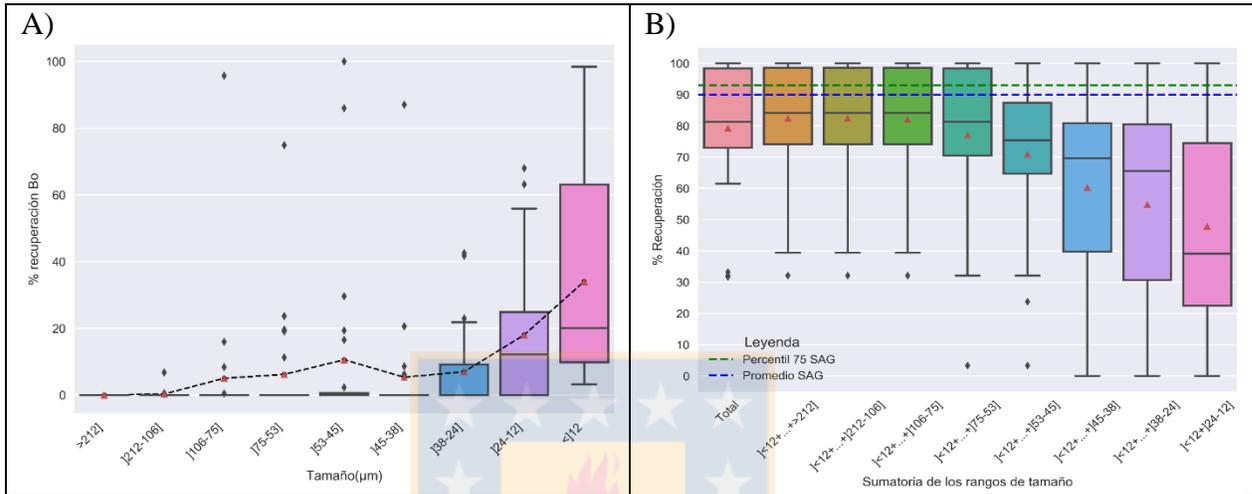


Figura 6.54: Tamaños de bornita para el sector Esmeralda. A) Recuperación de bornita por tamaño. B) Sumatoria de los rangos de tamaño para obtener una recuperación sobre el 90% de bornita.

Solamente las fracciones finas ingresan a la alimentación, explicando la ausencia de recuperaciones en las fracciones gruesas (Tabla 6.35.). Algunos tamaños intermedios del concentrado poseen recuperaciones a pesar de no presentar valores en la cabeza, debido a que son porcentajes relativos obtenidos a partir de la mediana de las muestras del sector. La magnitud de las pérdidas se correlaciona con la cantidad que entró, no significando, necesariamente mayor pérdida en la fracción $<12 \mu\text{m}$.

Tabla 6.35: Representatividad de los rangos de tamaño de bornita para el sector Esmeralda y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación.

Tamaño (μm) % Representatividad	Bo $>212]$	Bo $]212-106]$	Bo $]106-75]$	Bo $]75-53]$	Bo $]53-45]$	Bo $]45-38]$	Bo $]38-24]$	Bo $]24-12]$	Bo <12
Cabeza	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,5	21,0
Concentrado	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,3	15,7	17,7	30,8
Cola	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,2	91,7
Pérdida	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	2,35

Litología: A diferencia de la calcopirita, la litología que produce una mayor recuperación corresponde a la Tonalita (99%) y en último lugar se encuentra el Complejo Máfico El Teniente con un 70% (Figura 6.55.). En este sector los intrusivos félsicos reflejan mejores recuperaciones de bornita por sobre el resto de las litologías.

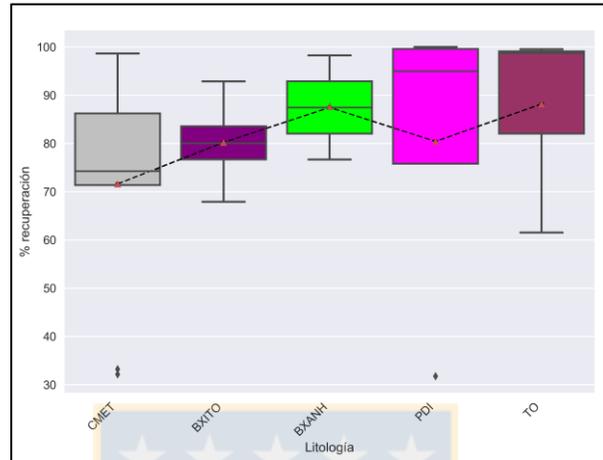


Figura 6.55: Recuperación de bornita por unidad litológica para el sector Esmeralda.

6.2.6 PROYECTO DIAMANTE

6.2.6.1 CALCOPIRITA

Grado de liberación: Diamante posee una recuperación promedio de 68% para sus partículas completamente libres e ilustra la tendencia de mayor recuperación hacia grados de liberación mayor (Figura 6.56-a). Los demás intervalos, se mantienen en un patrón relativamente plano, con medianas que bordean los 5% de recuperación. Un 90% de recuperación se alcanza considerando los grados de liberación por sobre el intervalo]30-20] y escogiendo todos, sobrepasa el 93% (Figura 6.56-b).

Sobre el 60% de liberación, no ocurren pérdidas a excepción de las partículas libres, las cuales un 0,43% se escapa al relave por problemas de tamaño (Tabla 6.36.). Bajo el 60% de liberación, las pérdidas aumentan progresivamente hasta llegar a un 3,17% en las partículas ocluidas. La mayor proporción en la alimentación corresponde a las partículas libres, representado por un 69% de la alimentación.

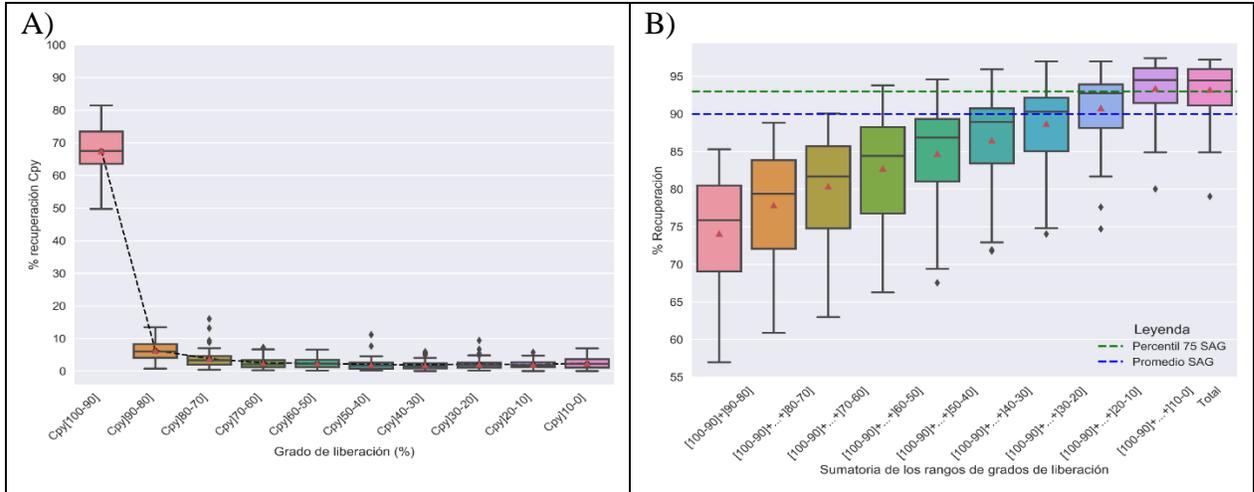


Figura 6.56: Grados de liberación de calcopirita para el proyecto Diamante. A) Recuperación *versus* grado de liberación. B) Sumatoria de los rangos de grado de liberación para obtener una recuperación sobre el 90%.de calcopirita.

Tabla 6.36: Representatividad de los rangos de grado de liberación de calcopirita para el proyecto Diamante y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación.

<i>% Liberación</i> <i>% Representatividad</i>	Cpy[100-90]	Cpy[90-80]	Cpy[80-70]	Cpy[70-60]	Cpy[60-50]	Cpy[50-40]	Cpy[40-30]	Cpy[30-20]	Cpy[20-10]	Cpy[10-0]
Cabeza	69,0	6,0	3,5	2,1	2,4	1,7	1,7	2,1	2,9	5,3
Concentrado	66,3	9,8	5,7	3,8	2,9	1,6	1,7	2,0	2,2	2,6
Cola	5,9	0,0	0,0	0,0	0,4	0,4	1,0	3,9	15,9	54,0
Pérdida	0,43	0,00	0,00	0,00	0,02	0,03	0,06	0,23	1,10	3,17

Asociación mineral: Las asociaciones que predominan junto a calcopirita son las partículas complejas, filosilicatos, silicatos duros:filosilicatos y pirita (Figura 6.57-a). En general la mayoría se encuentra bajo el 10% de recuperación a excepción de las partículas complejas que la mitad de sus datos está en este valor. La mayoría de los filosilicatos no superan, para la mayoría de sus datos un 7% de recuperación (Figura 6.57-b). Este sector sigue la tendencia global, donde predominan las recuperaciones de muscovita-sericita, biotita, clorita y caolinita-arcillas.

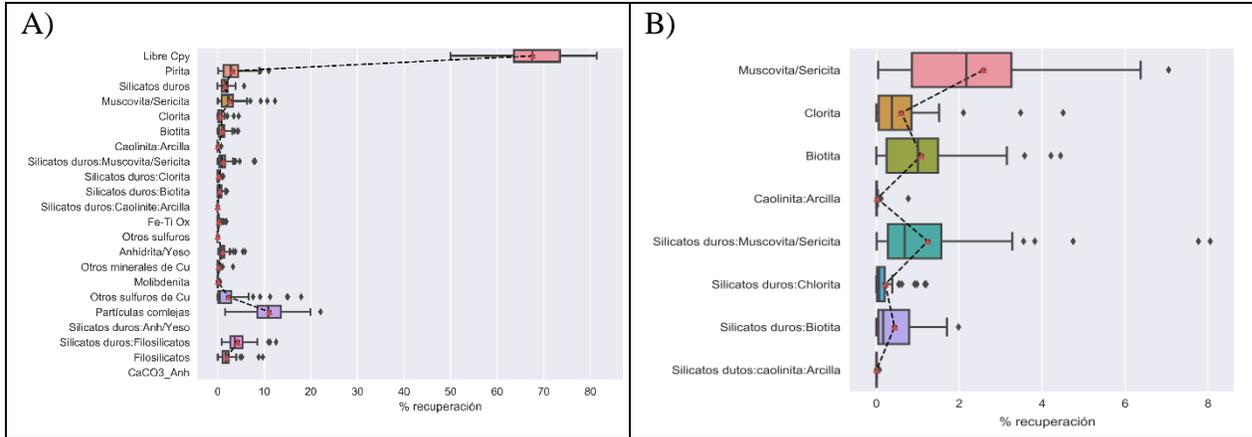


Figura 6.57: Recuperaciones por asociaciones minerales para calcopirita en el proyecto Diamante. A) Total de fases minerales presentes. B) Asociación con filosilicatos.

La mayor representatividad en la cabeza son las calcopiritas libres, seguido de las partículas complejas, silicatos duros con filosilicatos y pirita, lo cual, se condice con las mayores recuperaciones, exhibidas en el gráfico anterior (Tabla 6.37.). En la cola, las partículas complejas, lideran las pérdidas con un 4,47% del total de alimentación, a diferencia de la pirita, que a pesar que entró una cantidad considerable, no se registraron pérdidas. La distribución de los filosilicatos se debe a que entró en la alimentación una cantidad mayor de muscovita-sericita, con pérdidas muy bajas (Tabla 6.38.). Las caolinita-arcillas prácticamente no ingresaron a la alimentación.

Tabla 6.37: Representatividad de la asociación mineral de calcopirita para el proyecto Diamante y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación.

Asociación mineral % Representatividad	Cpy Libre	Cpy: Pirita	Cpy: Silicatos duros	Cpy: Fe-TiOx.	Cpy: Otros sulfuros	Cpy: Anhidrita/yeso	Cpy: Otros minerales de Cu	Cpy: Molibdenita	Cpy: Otros sulfuros de Cu	Cpy: Partículas complejas	Cpy: Silicatos duros anh/yeso	Cpy: Silicatos duros: Filosilicatos	Cpy: Filosilicatos	Cpy: CaCO ₃ _anh
Cabeza	69,0	2,8	1,6	0,1	0,0	0,8	0,1	0,0	0,5	14,9	0,0	3,7	1,7	0,0
Concentrado	66,3	4,7	2,3	0,5	0,0	1,7	0,1	0,0	0,7	13,1	0,0	5,5	1,7	0,0
Cola	5,9	0,0	1,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	82,3	0,0	0,9	3,7	0,0
Pérdida	0,43	0,00	0,07	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	4,47	0,00	0,05	0,23	0,00

Tabla 6.38: Representatividad de la asociación mineral de filosilicatos con calcopirita para el proyecto Diamante y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación.

Asociación mineral % Representatividad	Cpy: Muscovita/Sericita	Cpy: Chlorita	Cpy: Biotita	Cpy: Caolinita: Arcillas	Cpy: Silicatos duros: Muscovita/Sericita	Cpy: Silicatos duros: Chlorita	Cpy: Silicatos duros: Biotita	Cpy: Silicatos duros: Caolinita: Arcillas
Cabeza	2,2	0,3	1,0	0,0	0,8	0,1	0,2	0,0
Concentrado	2,4	0,9	1,4	0,0	1,0	0,2	0,3	0,0
Cola	0,3	0,0	0,1	0,0	1,3	0,0	0,4	0,0
Pérdida	0,02	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,03	0,00

Tamaño: Las recuperaciones no superan el 30% por sí solas y siguen una distribución que disminuye hacia los extremos, no obstante, las fracciones <38 μm poseen obtención similar, comparada con las intermedias. El intervalo [75-53] μm es el que mejor se recupera, con un 18%, muy cercano al intervalo [38-24] μm (17%) (Figura 6.58-a). Los rangos de [53-38] μm poseen valores muy bajos comparados con los circundantes, produciendo el quiebre en las recuperaciones en estos tamaños. Con los rangos de tamaño <106 μm, es posible alcanzar recuperaciones del 90% (Figura 6.58-b).

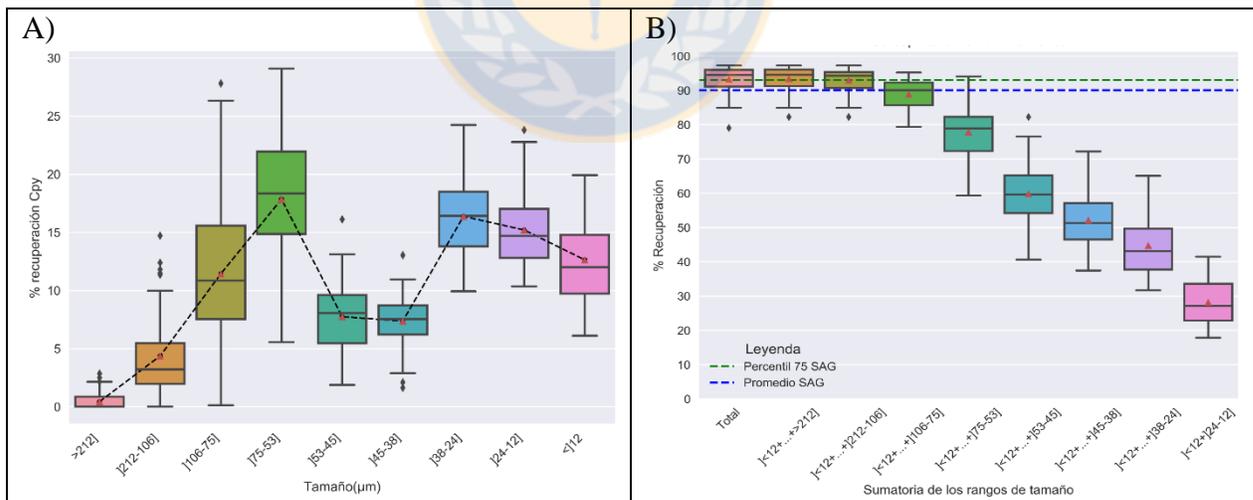


Figura 6.58: Tamaños de calcopirita para el sector Esmeralda. A) Recuperación de calcopirita por tamaño. B) Sumatoria de los rangos de tamaño para obtener una recuperación sobre el 90% de calcopirita.

Al observar la Tabla 6.39., los intervalos de tamaño con concentraciones de alimentación elevadas, se relacionan con las obtenciones elevadas. En cuanto a las pérdidas, estas se reúnen en las fracciones finas.

Tabla 6.39: Representatividad de los rangos de tamaño de calcopirita para el proyecto Diamante y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación.

Tamaño (µm) % Representatividad	Cpy>212]	Cpy]212-106]	Cpy]106-75]	Cpy]75-53]	Cpy]53-45]	Cpy]45-38]	Cpy]38-24]	Cpy]24-12]	Cpy<12
Cabeza	0,0	3,6	10,9	19,2	8,3	8,0	17,0	16,0	13,3
Concentrado	0,0	0,6	12,9	17,9	8,5	7,8	17,0	15,4	16,5
Cola	0,0	3,0	7,8	11,9	5,1	4,4	18,9	18,9	16,0
Pérdida	0,00	0,16	0,47	0,82	0,35	0,34	1,14	1,11	0,98

Litología: Las mayores recuperaciones en calcopirita, se producen en el Pórfido Diorítico (PDI) y el CMET (Figura 6.59.). Las brechas en general poseen recuperaciones intermedias del 90% y el Pórfido Diorítico Grueso tiene las menores recuperaciones.

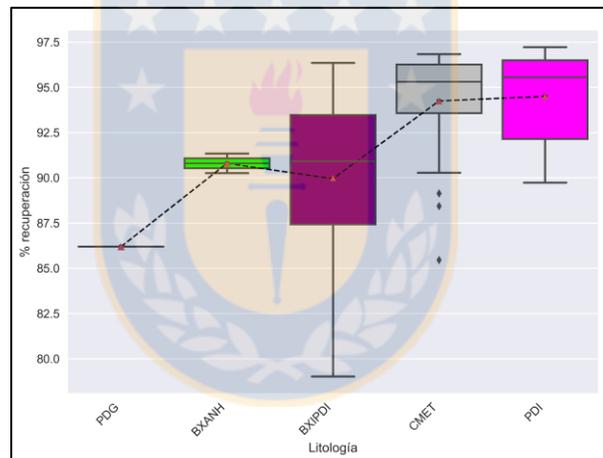


Figura 6.59: Recuperación de calcopirita por unidad litológica para el proyecto Diamante.

6.2.6.2 BORNITA

Grado de liberación: La mayor recuperación se produce gracias a las partículas libres, seguido de los intervalos]90-80],]80-70],]60-50],]10-0] y]70-60] (Figura 6.60-a). Hay ciertos *picks* leves en los grados de liberación intermedios y ocluidos, no obstante, la mayoría permanece bajo el 10% de recuperación, para la mayoría de los datos. Un 90% de recuperación se obtiene tomando en cuenta los grados de liberación mayores al 10% (Figura 6.60-b).

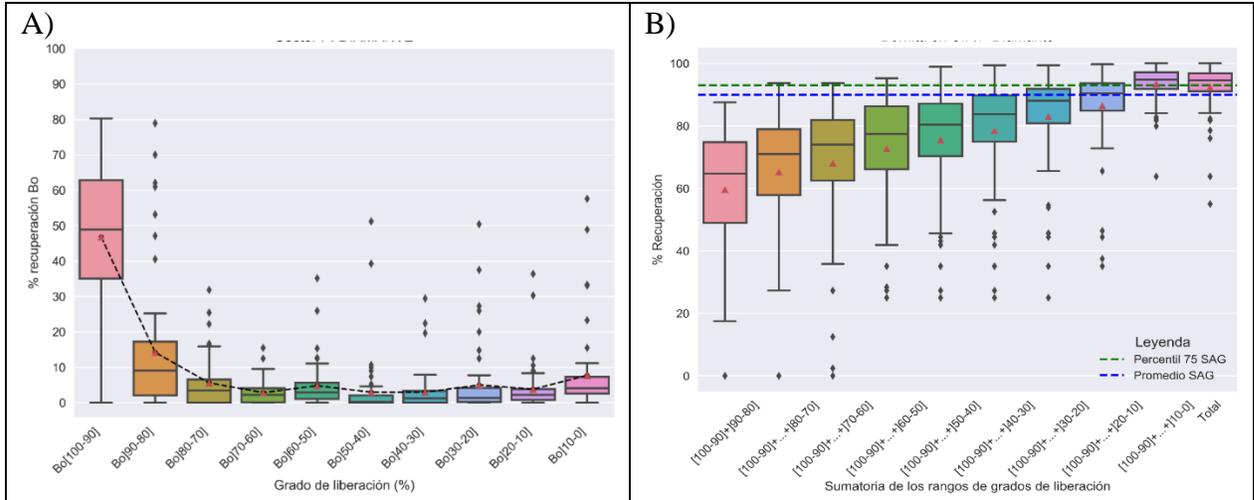


Figura 6.60: Grados de liberación de bornita para el proyecto Diamante. A) Recuperación versus grado de liberación. B) Sumatoria de los rangos de grado de liberación para obtener una recuperación sobre el 90%. de bornita.

Las pérdidas están relacionadas a las partículas ocluidas (<20%) y las completamente libres (Tabla 6.40.). Los pequeños *picks*, se deben a que ingresó en la alimentación un porcentaje mayor en dichos intervalos, asociado a nulas pérdidas.

Tabla 6.40: Representatividad de los rangos de grado de liberación de bornita para el proyecto Diamante y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación.

% Liberación % Representatividad	Bo[100-90]	Bo[90-80]	Bo[80-70]	Bo[70-60]	Bo[60-50]	Bo[50-40]	Bo[40-30]	Bo[30-20]	Bo[20-10]	Bo[10-0]
Cabeza	49,4	9,2	3,7	2,3	3,0	0,2	1,3	1,5	2,6	6,2
Concentrado	53,7	8,7	5,6	3,8	3,6	1,8	2,3	2,0	2,4	5,0
Cola	9,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,4	40,5
Pérdida	0,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14	2,40

Asociación mineral: La bornita en el sector Diamante, se recupera con asociaciones de otros sulfuros de cobre, partículas complejas y piritita (Figura 6.61.). El resto de las fases minerales prácticamente no se recuperan. Lo anterior se explica porque son las únicas entradas que se perciben en la alimentación con cero pérdidas en la cola, a excepción de las partículas complejas, la cual posee un 3,48% del total de alimentación (Tabla 6.41.). Los filosilicatos no registran pérdidas relevantes y sus concentraciones en la alimentación son muy bajas.

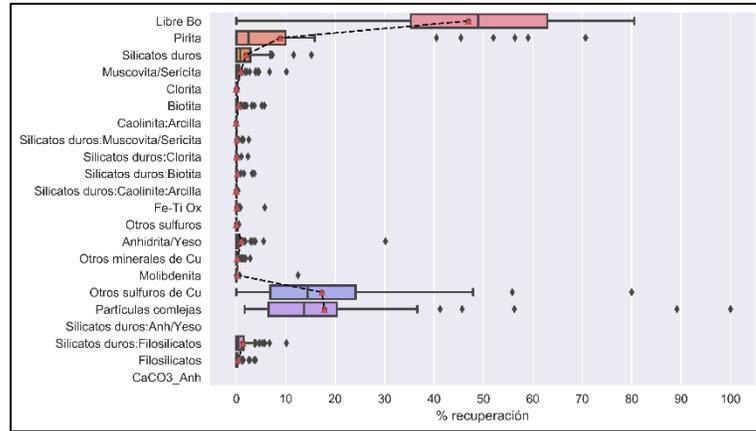


Figura 6.61: Recuperaciones por asociaciones minerales para bornita en el sector Esmeralda.

Tabla 6.41: Representatividad de la asociación mineral de bornita para el proyecto Diamante y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación.

Asociación mineral % Representatividad	Bo Libre	Bo: Pirita	Bo: Silicatos duros	Bo: Fe-TiOx.	Bo: Otros sulfuros	Bo: Anhidrita/yeso	Bo: Otros minerales de Cu	Bo: Molibdenita	Bo: Otros sulfuros de Cu	Bo: Partículas complejas	Bo: Silicatos duros anh/yeso	Bo: Silicatos duros: Filosilicatos	Bo: Filosilicatos	Bo: CaCO ₃ _anh
Cabeza	49,4	2,3	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,4	18,1	0,0	0,4	0,0	0,0
Concentrado	53,7	2,0	2,0	0,2	0,0	0,5	0,0	0,0	9,6	17,9	0,0	3,2	0,8	0,0
Cola	9,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	69,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Pérdida	0,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,48	0,00	0,00	0,00	0,00

Tamaño: Las fracciones finas, bajo los 38 µm tienen recuperaciones más elevadas que el resto. Le siguen los tamaños [75-38] µm y por último las partículas gruesas con recuperaciones muy cercanas a cero (Figura 6.62-a). En general, los intervalos de tamaño para la mayoría de los datos no superan el 20% de recuperación por sí solas, sin embargo, considerando hasta el rango [75-53] (menor a mayor tamaño), es posible tener recuperaciones mayores al 90% (Figura 6.62-b).

Las fracciones intermedias a gruesas (>75 µm) no se registran en las muestras de cabeza, explicando las nulas recuperaciones (Tabla 6.42.). Por otra parte, las pérdidas recién comienzan a aparecer bajo el tamaño de 38 µm, por lo que las fracciones intermedias poseen baja recuperación por no tener concentraciones elevadas en la alimentación, a diferencia de las partículas finas.

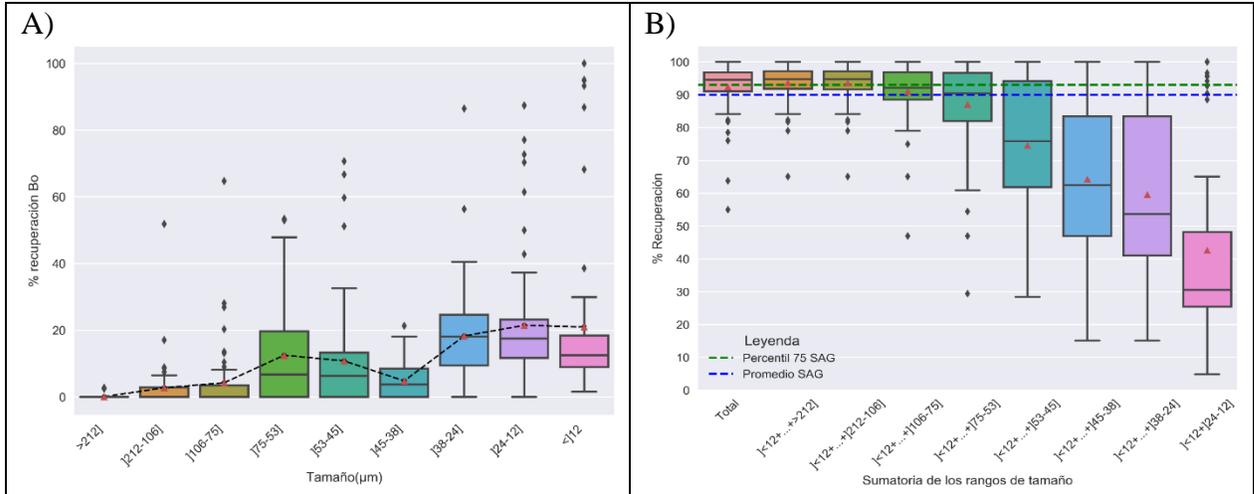


Figura 6.62: Tamaños de bornita para el sector Esmeralda. A) Recuperación de bornita por tamaño. B) Sumatoria de los rangos de tamaño para obtener una recuperación sobre el 90% de bornita.

Tabla 6.42: Representatividad de los rangos de tamaño de bornita para el proyecto Diamante y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación.

Tamaño (µm) % Representatividad	Bo>212]	Bo]212-106]	Bo]106-75]	Bo]75-53]	Bo]53-45]	Bo]45-38]	Bo]38-24]	Bo]24-12]	Bo<12
Cabeza	0,0	0,0	0,0	11,4	7,3	3,3	18,5	18,9	13,1
Concentrado	0,0	0,0	0,0	14,1	7,8	9,5	19,5	21,2	19,3
Cola	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,9	12,6	19,3
Pérdida	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,58	1,00	1,18

Litología: Las litologías tienen recuperaciones similares entre sí, las cuales bordean el 90%. Al igual que la calcopirita el PDI tiene mejores obtenciones, no obstante, para este caso, la BXIPDI posee una recuperación mayor que el CMET (Figura 6.63.).

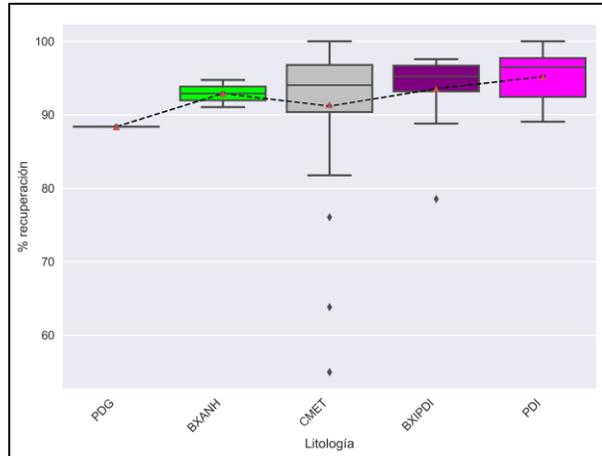


Figura 6.63: Recuperación de bornita por unidad litológica para el proyecto Diamante.

6.2.7 PROYECTO EXTENSIÓN SUR ESMERALDA

6.2.7.1 CALCOPIRITA

Grado de liberación: Las partículas libres poseen un 60% de recuperación promedio, destacándose por sobre el resto, las cuales no sobrepasan el 10% para la mayoría de sus datos (Figura 6.64-a). Los intervalos bajo el 90% de liberación son relativamente planos, con un leve aumento hacia las partículas ocluidas y hacia las partículas libres. Extensión Sur Esmeralda, necesita considerar todos los intervalos de liberación, para tener recuperaciones sobre el 90% (Figura 6.64-b).

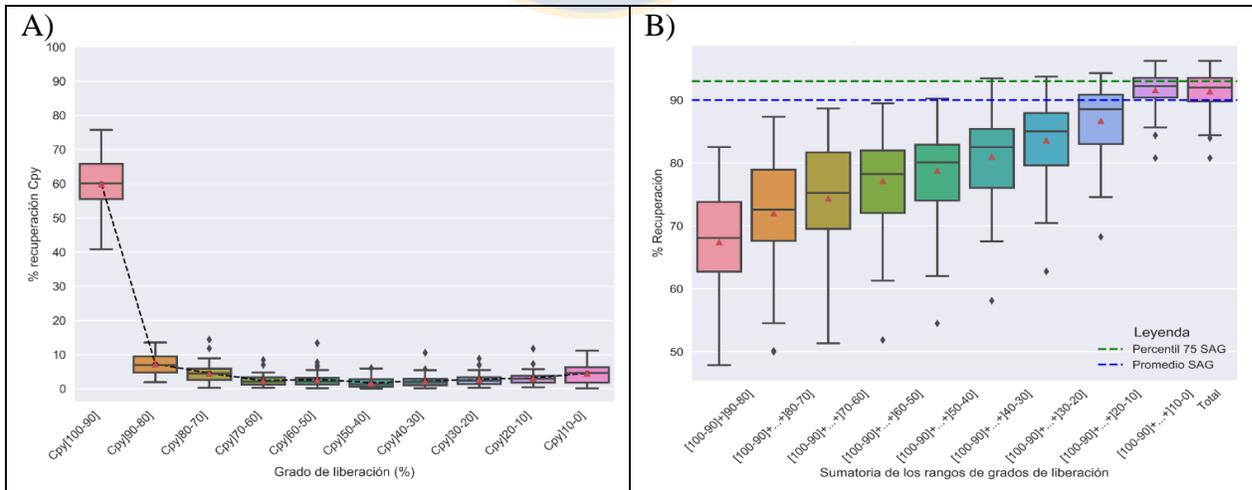


Figura 6.64: Grados de liberación de calcopirita para el proyecto Extensión Sur Esmeralda. A) Recuperación versus grado de liberación. B) Sumatoria de los rangos de grado de liberación para obtener una recuperación sobre el 90%.de calcopirita.

La mayoría de los intervalos de grados de liberación (<90%) no sobrepasan un 10% en representatividad con respecto al total de alimentación, siendo las partículas libres la mayor concentración (61,9%) (Tabla 6.43.). Las partículas ocluidas ([10-0]) poseen un leve aumento en comparación con los otros rangos de liberación, sin embargo, sus pérdidas son mayores, reduciendo su recuperación. Sobre el 60% de liberación, no se registran pérdidas en las colas, a excepción de las partículas libres (0,96%). Bajo el 60% las concentraciones en las colas aumentan progresivamente hacia grados de liberación menores.

Tabla 6.43: Representatividad de los rangos de grado de liberación de calcopirita para el proyecto Extensión Sur Esmeralda y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación.

% Liberación % Representatividad	Cpy[100-90]	Cpy[90-80]	Cpy[80-70]	Cpy[70-60]	Cpy[60-50]	Cpy[50-40]	Cpy[40-30]	Cpy[30-20]	Cpy[20-10]	Cpy[10-0]
Cabeza	61,9	7,2	4,5	2,1	2,3	1,4	2,2	2,7	4,0	8,4
Concentrado	68,9	8,0	4,8	3,0	2,9	1,8	1,7	2,2	2,8	3,8
Cola	9,5	0,0	0,0	0,1	0,4	0,4	1,2	3,1	14,3	59,5
Pérdida	0,96	0,00	0,00	0,01	0,04	0,04	0,16	0,29	1,30	5,15

Asociación mineral: Las asociaciones que acompañan a la calcopirita se concentran en las partículas complejas, silicatos duros con filosilicatos, filosilicatos y pirita (Figura 6.65-a). La muscovita-sericita, es la fase mineral que acompaña en mayores proporciones a la calcopirita, en las recuperaciones, tanto para su estado solo como acompañada de silicatos duros (Figura 6.65-b). A diferencia de la mayoría de los sectores anteriores, la clorita posee mayores obtenciones que la biotita y en último lugar las caolinitas-arcillas.

Esta distribución observada en el gráfico de la Figura 6.65-a, se produce por las mayores proporciones en la alimentación de estas fases minerales y la baja pérdida asociada (Tabla 6.44.). Las concentraciones del resto de los minerales son despreciables. La mayor pérdida se produce con las partículas complejas, representando un 60% del relave.

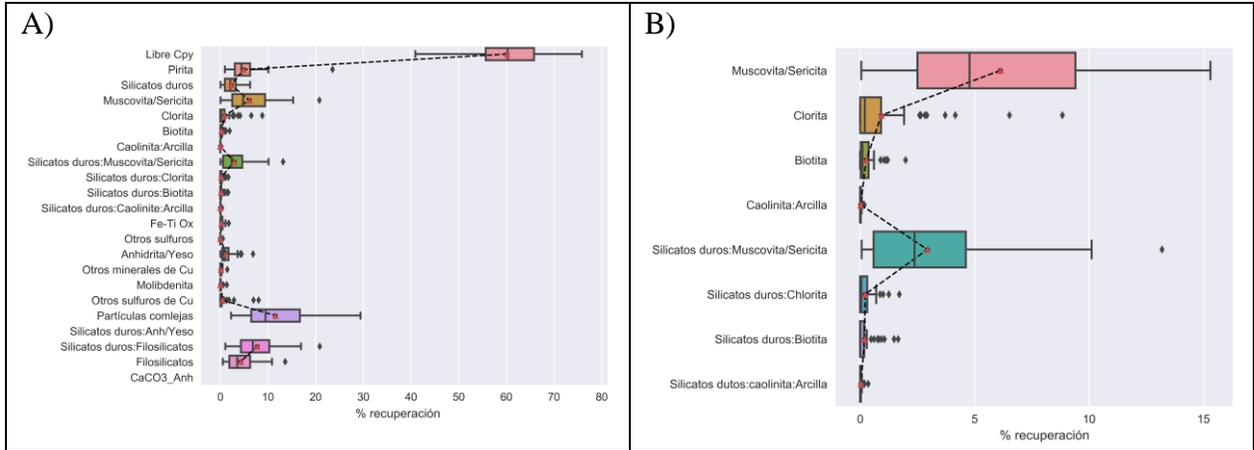


Figura 6.65: Recuperaciones por asociaciones minerales para calcopirita en el proyecto Extensión Sur Esmeralda. A) Total de fases minerales presentes. B) Asociación con filosilicatos.

Tabla 6.44: Representatividad de la asociación mineral de calcopirita para el proyecto Extensión Sur Esmeralda y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación.

Asociación mineral % Representatividad	Cpy Libre	Cpy: Pirita	Cpy: Silicatos duros	Cpy: Fe-TiOx.	Cpy: Otros sulfuros	Cpy: Anhidrita/yeso	Cpy: Otros minerales de Cu	Cpy: Molibdenita	Cpy: Otros sulfuros de Cu	Cpy: Partículas complejas	Cpy: Silicatos duros anh/yeso	Cpy: Silicatos duros: Filosilicatos	Cpy: Filosilicatos	Cpy: CaCO ₃ _anh
Cabeza	61,9	4,8	2,3	0,1	0,0	0,9	0,1	0,0	0,1	15,4	0,0	6,8	3,5	0,0
Concentrado	68,9	4,2	1,6	0,3	0,0	1,0	0,1	0,0	0,1	10,8	0,0	8,9	2,5	0,0
Cola	9,5	1,2	1,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	60,0	0,0	2,5	12,8	0,0
Pérdida	0,96	0,10	0,15	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	5,26	0,0	0,23	0,97	0,0

Con respecto a los filosilicatos, la alimentación y cola exhiben que en las fases mayoritarias hubo un gran *input* y bajas cantidades en el relave respectivamente (Tabla 6.45.). Las cloritas, a pesar de que ingresaron pequeñas cantidades, no se registraron pérdidas, recuperándose casi en su totalidad.

Tabla 6.45: Representatividad de la asociación mineral de filosilicatos con calcopirita para el proyecto Extensión Sur Esmeralda y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación.

Asociación mineral % Representatividad	Cpy: Muscovita/Sericita	Cpy: Chlorita	Cpy: Biotita	Cpy: Caolinita: Arcillas	Cpy: Silicatos duros: Muscovita/Sericita	Cpy: Silicatos duros: Chlorita	Cpy: Silicatos duros: Biotita	Cpy: Silicatos duros: Caolinita: Arcillas
Cabeza	5,1	0,2	0,1	0,0	3,3	0,1	0,0	0,0
Concentrado	8,2	0,3	0,3	0,0	1,8	0,0	0,0	0,0
Cola	1,7	0,0	0,0	0,0	12,8	0,0	0,0	0,0
Pérdida	0,16	0,00	0,00	0,00	0,95	0,00	0,00	0,00

Tamaño: Las partículas finas (<38 μm) tienen mejores recuperaciones que el resto de los tamaños, y estos tienden a disminuir su recuperación con el tamaño (Figura 6.66-a). De igual forma, hacia los extremos de los tamaños gruesos, las recuperaciones disminuyen considerablemente hasta llegar a cero en el intervalo de >212 μm. Los rangos de [53-38] μm producen un quiebre considerable en la obtención mineral comparadas con el resto. Con el intervalo [212-106] μm, sumado a todos los demás tamaños inferiores, es posible obtener recuperaciones sobre el 90% de recuperación (Figura 6.66-b). Las recuperaciones se asocian a mayores concentraciones en la alimentación, siendo estas en mayor cantidad en las partículas finas (Tabla 6.46.). Los intervalos [38-24] μm y [24-12] μm tienen entradas similares, pero esta última, las pérdidas son mayores.

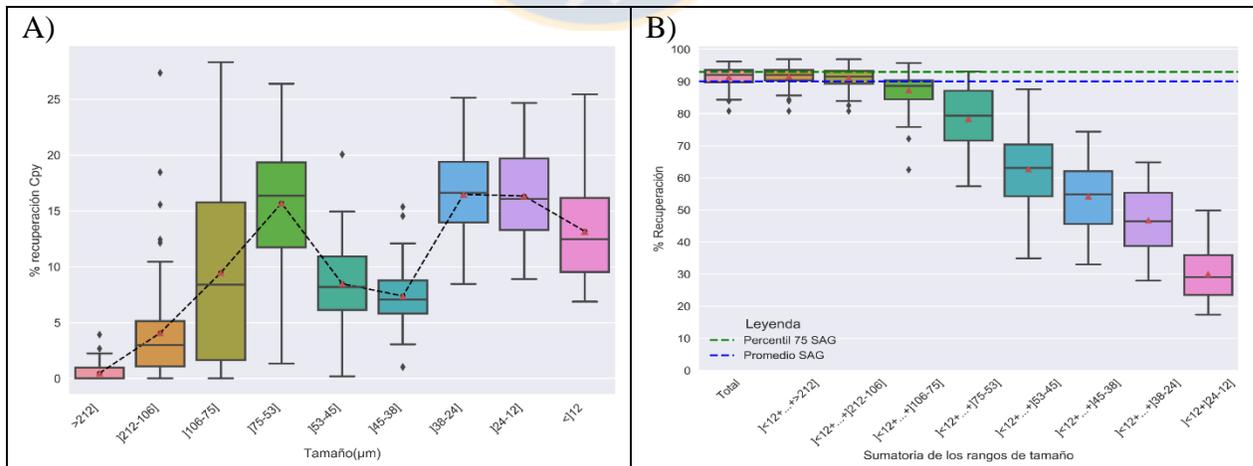


Figura 6.66: Tamaños de calcopirita para el sector Extensión Sur Esmeralda. A) Recuperación de calcopirita por tamaño. B) Sumatoria de los rangos de tamaño para obtener una recuperación sobre el 90% de calcopirita.

Tabla 6.46: Representatividad de los rangos de tamaño de calcopirita para el proyecto Extensión Sur Esmeralda y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación.

Tamaño (µm) % Representatividad	Cpy>212]	Cpy]212-106]	Cpy]106-75]	Cpy]75-53]	Cpy]53-45]	Cpy]45-38]	Cpy]38-24]	Cpy]24-12]	Cpy<12
Cabeza	0,0	3,1	7,8	17,5	9,0	7,6	18,1	18,0	14,1
Concentrado	0,0	0,0	3,1	17,7	9,1	8,8	19,0	18,3	17,3
Cola	0,0	0,0	4,4	10,1	5,0	5,5	18,0	23,2	17,6
Pérdida	0,00	0,00	0,37	1,11	0,53	0,52	1,57	2,22	1,55

Litología: La Brecha ígnea de Pórfido Diorítico sobresale en recuperaciones por el resto de las unidades litológicas, representando aproximadamente un 94% (Figura 6.67.). El resto de las litologías, bordean entre un 90-92% de recuperación para la mediana, siendo el CMET, el que posee la menor (89%).

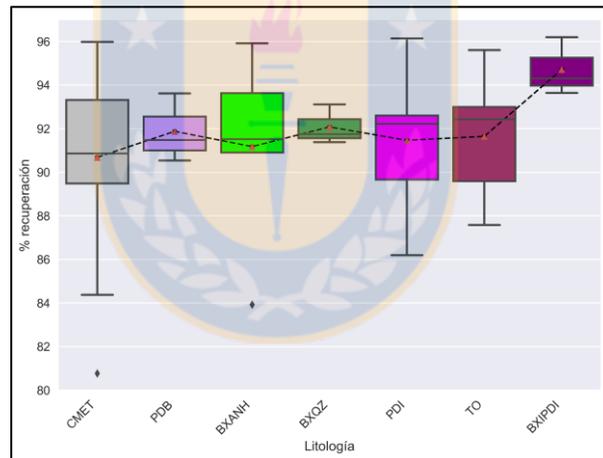


Figura 6.67: Recuperación de calcopirita por unidad litológica para el proyecto Extensión Sur Esmeralda.

6.2.7.2 BORNITA

Grado de liberación: Las únicas recuperaciones considerables se producen en las partículas ocluidas ([10-0]), debido a que en el resto la mayoría de sus datos se encuentran cercanos al 0% de recuperación (Figura 6.68-a). Lo anterior genera que para alcanzar el 90% de recuperación, se necesitan considerar todos los intervalos, haciendo el cambio más significativo el rango ocluido (Figura 6.68-b).

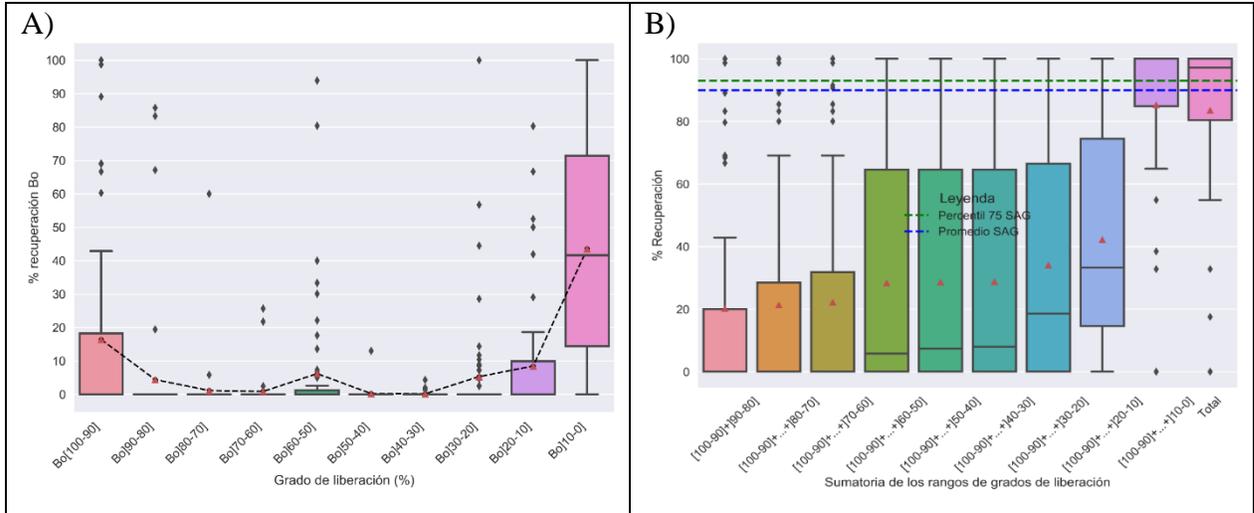


Figura 6.68: Grados de liberación de bornita para el proyecto Extensión Sur Esmeralda. A) Recuperación versus grado de liberación. B) Sumatoria de los rangos de grado de liberación para obtener una recuperación sobre el 90% de bornita.

La distribución del grado de liberación, se produce porque no hay ingresos considerables en los otros intervalos de grados de liberación que no sea las partículas completamente ocluidas (Tabla 6.47.). Además, este último rango no produce pérdidas, recuperándose en su totalidad.

Tabla 6.47: Representatividad de los rangos de grado de liberación de bornita para el proyecto Extensión Sur Esmeralda y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación.

% Liberación / % Representatividad	Bo[100-90]	Bo[90-80]	Bo[80-70]	Bo[70-60]	Bo[60-50]	Bo[50-40]	Bo[40-30]	Bo[30-20]	Bo[20-10]	Bo[10-0]
Cabeza	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	59,3
Concentrado	20,8	0,0	0,0	0,0	2,4	0,0	0,0	1,1	1,1	33,0
Cola	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Pérdida	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Asociación mineral: Las bornitas obtenidas se encuentran acompañadas por otros sulfuros de cobre y partículas complejas (Figura 6.69.). El resto de las fases minerales se podrían considerar despreciables en proporción. Las partículas libres se obtienen en cierta medida, pero la mayoría de sus datos se encuentran en 0%. Las bornitas asociadas a estos minerales no se encuentran en los relaves, indicando que no es un problema de asociación mineral, sino que simplemente no ingresaron en concentraciones importantes para ser recuperadas (Tabla 6.48.).

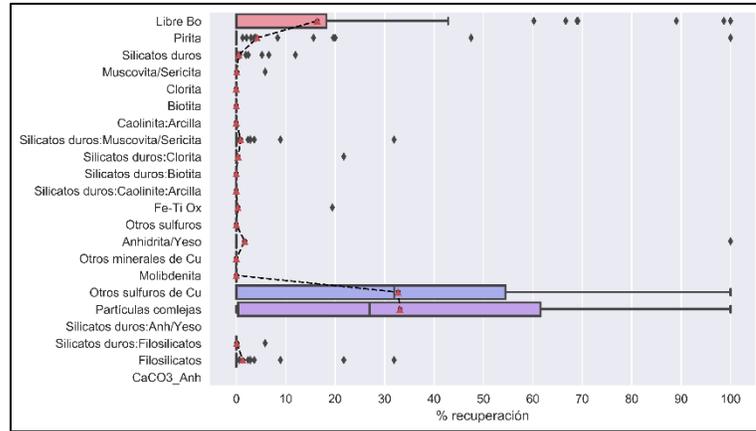


Figura 6.69: Recuperaciones por asociaciones minerales para bornita en el proyecto Extensión Sur Esmeralda.

Tabla 6.48: Representatividad de la asociación mineral de bornita para el proyecto Extensión Sur Esmeralda y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación.

% Representatividad Asociación mineral	Bo Libre	Bo: Pirita	Bo: Silicatos duros	Bo: Fe-TiOx.	Bo: Otros sulfuros	Bo: Anhidrita/yeso	Bo: Otros minerales de Cu	Bo: Molibdenita	Bo: Otros sulfuros de Cu	Bo: Partículas complejas	Bo: Silicatos duros anh/yeso	Bo: Silicatos duros: Filosilicatos	Bo: Filosilicatos	Bo: CaCO ₃ _anh
Cabeza	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	32,0	31,9	0,0	0,0	0,0	0,0
Concentrado	18,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	22,6	25,4	0,0	0,0	0,0	0,0
Cola	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Pérdida	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tamaño: Las recuperaciones se efectúan en las partículas muy finas <12 µm con un 80% y además no se generan pérdidas (Figura 6.70-a). Es por esto que solo con la sumatoria de los dos primeros intervalos de tamaño (menor a mayor) es posible llegar sobre el 90% de recuperación (Figura 6.70-b). Lo anterior se ratifica con la Tabla 6.49., en la cual las recuperaciones en dichos tamaños, es producto de que no hubo ingreso en la alimentación en otras fracciones.

Litología: En general no hay una predominancia de recuperación por litologías, manteniéndose cercano al 100% de obtención para todas las unidades (Figura 6.71.).

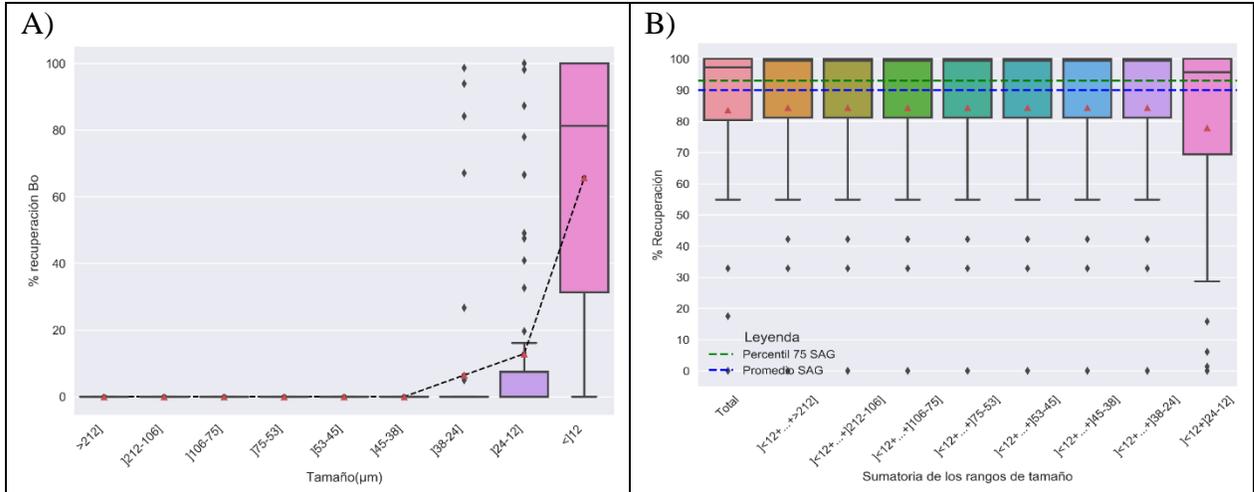


Figura 6.70: Tamaños de bornita para el proyecto Extensión Sur Esmeralda. A) Recuperación de bornita por tamaño. B) Sumatoria de los rangos de tamaño para obtener una recuperación sobre el 90% de bornita.

Tabla 6.49: Representatividad de los rangos de tamaño de bornita para el proyecto Extensión Sur Esmeralda y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación.

Tamaño (µm) % Representatividad	Bo>212]	Bo]212-106]	Bo]106-75]	Bo]75-53]	Bo]53-45]	Bo]45-38]	Bo]38-24]	Bo]24-12]	Bo<12
Cabeza	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Concentrado	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Cola	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Pérdida	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

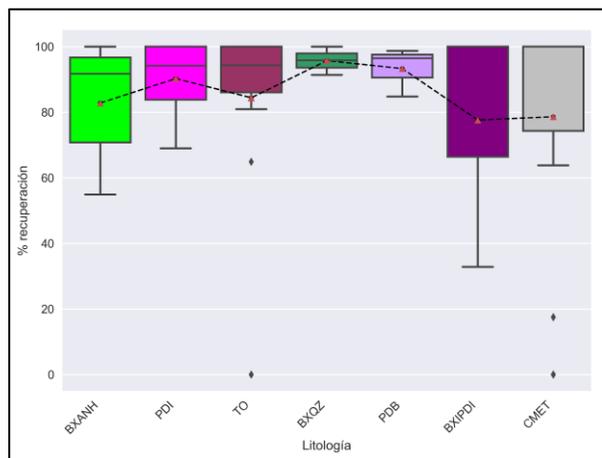


Figura 6.71: Recuperación de bornita por unidad litológica para el proyecto Extensión Sur Esmeralda.

6.2.8 SECTOR PRODUCTIVO DIABLO REGIMIENTO

6.2.8.1 CALCOPIRITA

Grado de liberación: Existe un 58% de calcopirita que se recupera completamente libre, porcentaje que está muy por encima de los otros valores de grado de liberación, los cuales no superan el 10% por sí solos (Figura 6.72-a). Existe cierta tendencia a mayores recuperaciones a mayor grado de liberación, no obstante, por debajo del 60% tiende a formarse un patrón plano. Las recuperaciones para este sector son bajas y solamente con todos los rangos de grados de liberación se alcanza una recuperación para la mediana del 90%, aunque, para el penúltimo rango (de mayor a menor grado de liberación) se acerca bastante a dicho valor (Figura 6.72-b).

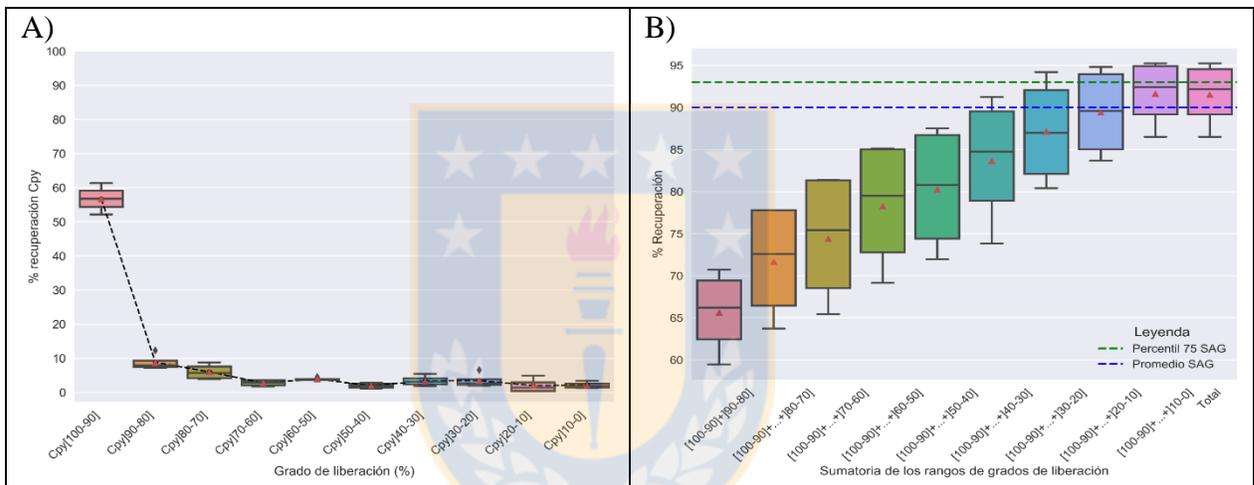


Figura 6.72: Grados de liberación de calcopirita para el sector Diablo Regimiento. A) Recuperación versus grado de liberación. B) Sumatoria de los rangos de grado de liberación para obtener una recuperación sobre el 90%.de calcopirita.

El mayor porcentaje de pérdida se produce en las partículas ocluidas (<20%) con un 6,84% con respecto al total de alimentación (Tabla 6.50.). Otro porcentaje importante ocurre en las partículas libres, representado con un 0,65%. La alimentación se encuentra dominada con las liberaciones completamente y parcialmente libres (>70%) y con las partículas ocluidas (<20%). El porcentaje total de pérdida para el 50% de las muestras es de un 7,84% del total de la alimentación.

Asociación mineral: Las partículas complejas se recuperan en mayor proporción con respecto al resto de las fases minerales, sin considerar la calcopirita libre (Figura 6.73.). Los silicatos duros:filosilicatos y filosilicatos tienen recuperaciones bajas pero significativas si se consideran las otras asociaciones que son cercanas a cero o inexistentes en el sector. Diablo

Regimiento no cuenta con información del tipo de filosilicatos, por lo que no es posible saber su injerencia específica.

Tabla 6.50: Representatividad de la asociación mineral de calcopirita para el sector Diablo Regimiento y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación.

% Liberación % Representatividad										
	Cpy]100-90]	Cpy]90-80]	Cpy]80-70]	Cpy]70-60]	Cpy]60-50]	Cpy]50-40]	Cpy]40-30]	Cpy]30-20]	Cpy]20-10]	Cpy]10-0]
Cabeza	57,3	8,2	5,7	2,9	3,9	1,9	3,3	2,8	4,0	7,1
Concentrado	57,6	7,9	6,0	3,5	4,3	2,3	3,1	3,0	4,7	5,3
Cola	6,6	0,8	0,1	0,4	1,3	0,1	0,1	3,1	22,2	57,1
Pérdida	0,65	0,09	0,01	0,03	0,09	0,01	0,01	0,27	1,34	5,50

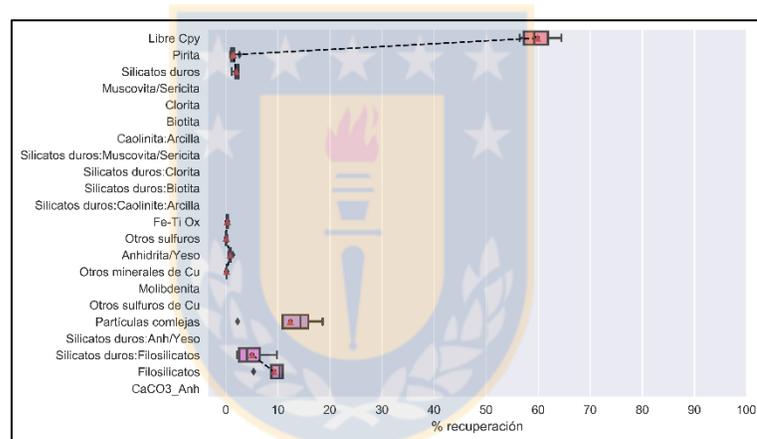


Figura 6.73: Recuperaciones por asociaciones minerales para calcopirita en el sector Diablo Regimiento.

La alimentación se concentra con las fases minerales de filosilicatos, partículas complejas, y partículas libres, lo que se asocia en cierta parte a las pérdidas más elevadas (Tabla 6.51.). Las asociaciones con molibdenita, otros sulfuros de cobre, silicatos duros:anhidrita/yeso y carbonatos de calcio/anhidrita no reportaron ingreso en la alimentación, por lo que no registran recuperaciones explicando la ausencia en el gráfico de la Figura 6.73.

Tabla 6.51: Representatividad de los rangos de grado de liberación de calcopirita para el sector Diablo Regimiento y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación.

Asociación mineral % Representatividad	Cpy Libre	Cpy: Pirita	Cpy: Silicatos duros	Cpy: Fe-TiOx.	Cpy: Otros sulfuros	Cpy: Anhidrita/yeso	Cpy: Otros minerales de Cu	Cpy: Molibdenita	Cpy: Otros sulfuros de Cu	Cpy: Partículas complejas	Cpy: Silicatos duros anh/yeso	Cpy: Silicatos duros: Filosilicatos	Cpy: Filosilicatos	Cpy: CaCO ₃ _anh
Cabeza	59,7	1,3	2,3	0,3	0,1	0,8	0,2	-	-	18,2	-	4,9	10,6	-
Concentrado	57,6	3,1	2,0	0,2	0,1	1,9	0,1	-	-	20,9	-	3,5	6,7	-
Cola	6,6	0,2	1,1	0,0	0,0	0,1	0,0	-	-	77,7	-	10,6	2,4	-
Pérdida	0,65	0,02	0,12	0,00	0,00	0,01	0,00	-	-	6,16	-	0,90	0,25	-

Tamaño: Las recuperaciones por este parámetro se concentra en los tamaños de [75-23] μm , con el quiebre en el rango de [53-38] μm , observado también en los sectores anteriores (Figura 6.74-a). Hacia las fracciones gruesas o finas las recuperaciones disminuyen siguiendo la tendencia teórica. Para obtener al menos un 90% de recuperación, es necesario considerar siete rangos de tamaño, es decir hasta los tamaños [212-106] μm (de menor a mayor tamaño) (Figura 6.74-b).

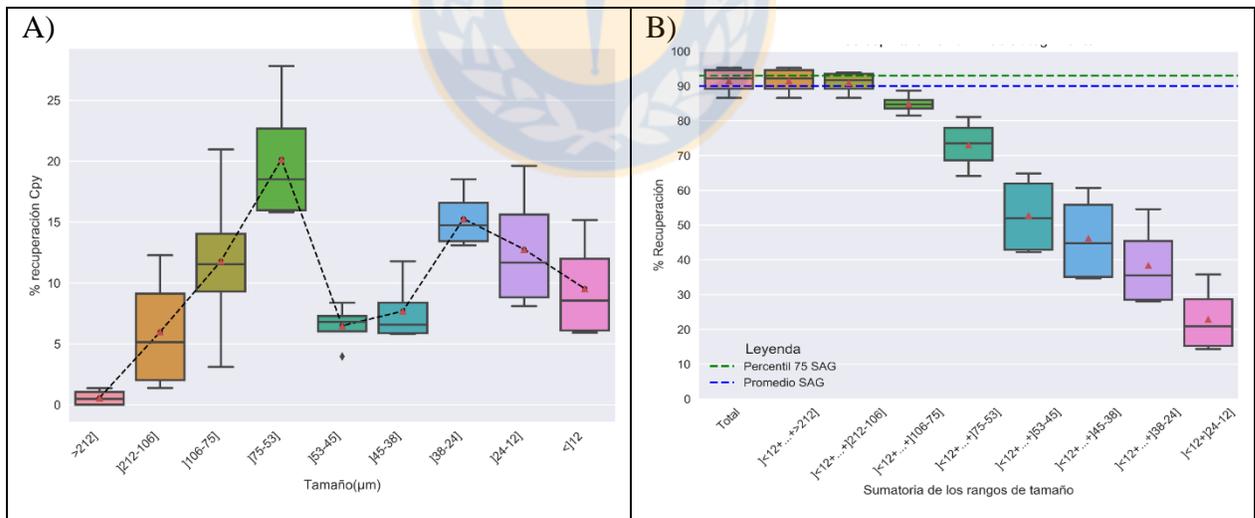


Figura 6.74: Tamaños de calcopirita para el sector Diablo Regimiento. A) Recuperación de calcopirita por tamaño. B) Sumatoria de los rangos de tamaño para obtener una recuperación sobre el 90% de calcopirita.

La mayoría de los datos del rango de tamaños gruesos (>212 μm) no exhibe una pérdida, a pesar de que se registra cierta cantidad en la alimentación (Tabla 6.52.). Las bajas recuperaciones

se deben entonces a la baja concentración que ingresa en la alimentación en estas fracciones. El tamaño que ingresa con mayor representatividad es]75-53] μm y la pérdida asociada a este rango no es la mayor, implicando una buena recuperación. La mayor pérdida se produce en las fracciones menores a los 38 μm , con un 5,25% del total de alimentación.

Tabla 6.52: Representatividad de los rangos de tamaño de calcopirita para el sector Diablo Regimiento y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación.

Tamaño (μm) % Representatividad	Cpy>212]	Cpy]212-106]	Cpy]106-75]	Cpy]75-53]	Cpy]53-45]	Cpy]45-38]	Cpy]38-24]	Cpy]24-12]	Cpy<12
Cabeza	0,5	5,8	11,8	19,8	7,0	7,7	15,9	14,0	11,2
Concentrado	0,0	0,0	0,0	16,1	9,0	9,6	19,5	19,5	24,3
Cola	0,0	9,5	3,4	10,9	7,0	9,2	14,5	23,0	21,8
Pérdida	0,00	0,46	0,18	0,83	0,38	0,53	1,12	2,06	2,07

Litología: Las muestras de este sector, se constituyen de las unidades Complejo Máfico El Teniente (CMET), Brecha Braden de Sericita (BBS) y Brecha de Anhidrita (BXANH), en la cual, esta última, tiene la mayor recuperación de calcopirita, seguido del BBS, no obstante, estos últimos tienen una baja representatividad de datos (Figura 6.75.).

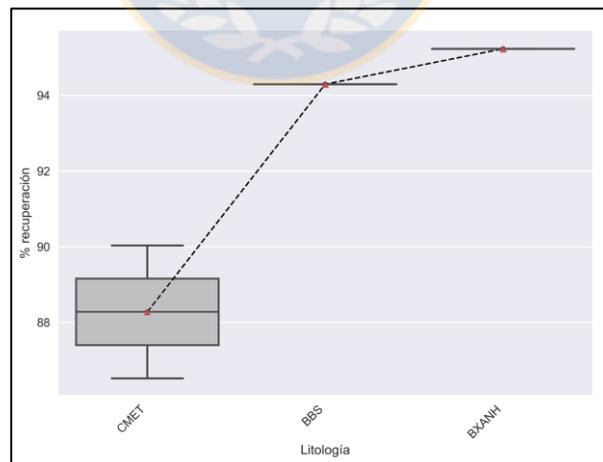


Figura 6.75: Recuperación de calcopirita por unidad litológica para el sector Diablo Regimiento.

6.2.8.2 BORNITA

Grado de liberación: Las recuperaciones con más distribución conciernen a los grados de liberación más elevados (a partir del rango]70-60]), no obstante, sus medianas son bastante bajas no superando el 10% para los rangos de]90-60] (Figura 6.76-a). Por otra parte, para las partículas ocluidas (<10%) la distribución es más acotada, pero una recuperación mayor para más del 50% de los datos. Si bien, las recuperaciones son relativamente bajas, con los rangos de [100-60] es posible llegar a recuperaciones de 90% para el 50% de los valores. Posteriormente permanecen constantes hasta alcanzar el último grado de liberación (Figura 6.76-b). Esto se debe a que los datos se concentran en el extremo de mayor grado de liberación, llegando rápidamente al promedio de recuperación del SAG.

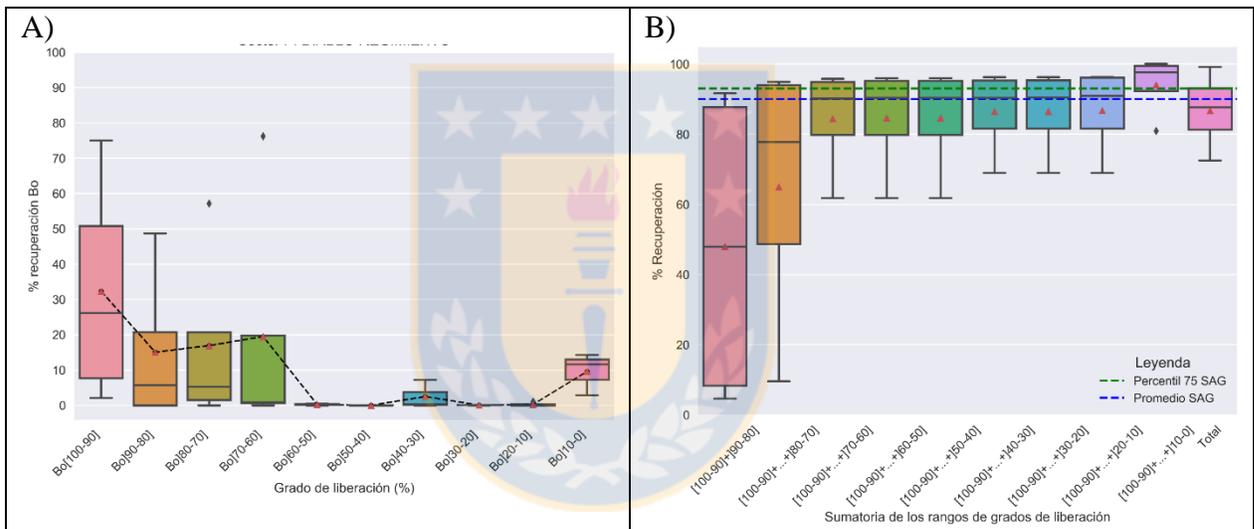


Figura 6.76: Grados de liberación de bornita para el sector Diablo Regimiento. A) Recuperación *versus* grado de liberación. B) Sumatoria de los rangos de grado de liberación para obtener una recuperación sobre el 90%.de bornita.

Los grados de liberación reportados en la alimentación, de manera significativa, son los rangos de [100-60] y]10-0] (Tabla 6.53.). Obtenciones en otros rangos siguen ocurriendo, pero no de forma importante, tomando en consideración el total de la data. Las pérdidas no siguen esta distribución, centrándose en los extremos, es decir, en las partículas libres y ocluidas con un 0,87% y 1,49% respectivamente, y el resto, a pesar de ingresar bornitas con ciertos grados de liberación se recuperan en su mayor medida. El total de pérdida para esta fase corresponde a un 12,39% del total de alimentación.

Tabla 6.54: Representatividad de los rangos de grado de liberación de bornita para el sector Diablo Regimiento y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación.

Asociación mineral % Representatividad	Bo Libre	Bo: Pirita	Bo: Silicatos duros	Bo: Fe-TiOx.	Bo: Otros sulfuros	Bo: Anhidrita/yeso	Bo: Otros minerales de Cu	Bo: Molibdenita	Bo: Otros sulfuros de Cu	Bo: Partículas complejas	Bo: Silicatos duros anh/yeso	Bo: Silicatos duros: Filosilicatos	Bo: Filosilicatos	Bo: CaCO ₃ _anh
Cabeza	48,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	48,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Concentrado	58,2	2,7	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	30,4	0,0	0,0	0,0	0,0
Cola	11,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	78,8	0,0	0,0	3,0	0,0
Pérdida	0,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,15	0,00	0,00	0,08	0,00

Tamaño: Más del 50% de los datos del tamaño <12 μm tiene una recuperación de 68%, imponiéndose con respecto al resto de los tamaños (Figura 6.78-a). Hacia fracciones más finas aumenta las recuperaciones a diferencia de otros sectores, no obstante, los rangos de]106-75] μm , de igual forma, existe un incremento, pero muy por debajo de la fracción muy fina. A pesar de poseer una alta recuperación la fracción <12 μm , la sumatoria de los rangos no permiten obtener una recuperación sobre el 90% para la mitad de sus datos (Figura 6.78-b), manteniéndose constante en un máximo de un 88% de recuperación.

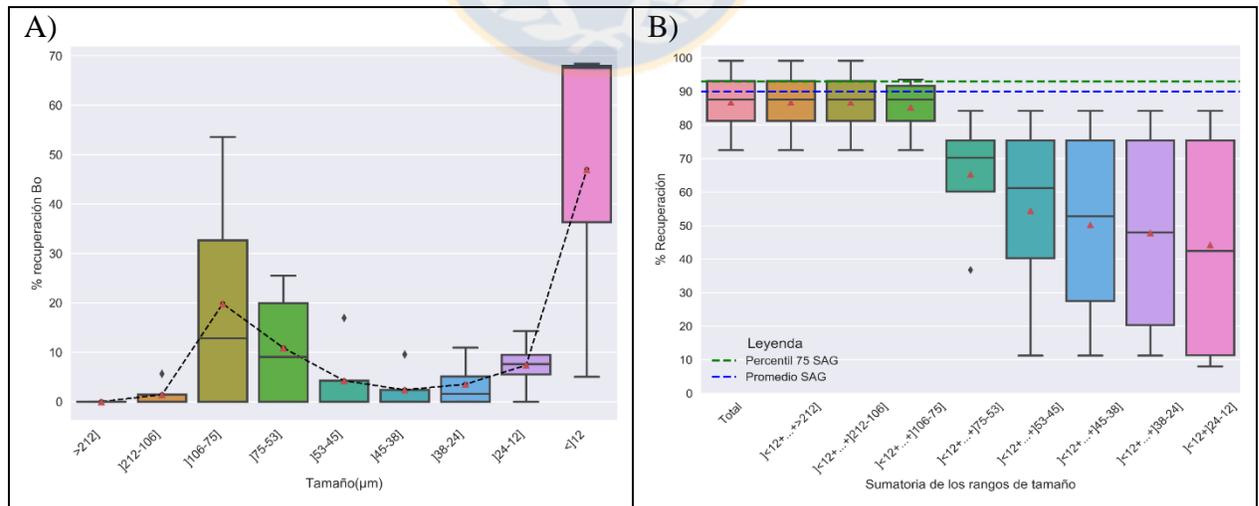


Figura 6.78: Tamaños de bornita para el sector Diablo Regimiento. A) Recuperación de bornita por tamaño. B) Sumatoria de los rangos de tamaño para obtener una recuperación sobre el 90% de bornita.

Los rangos de]106-75] μm tienen una recuperación alta, con respecto a las circundantes, debido a que la pérdida es mínima. La alimentación refleja que las partículas finas entran en mayor proporción, concentrándose gran cantidad de esta y perdiéndose solo un 9,14% del total de alimentación (Tabla 6.55.), explicando la distribución observada en el gráfico de la Figura 6.78-a.

Tabla 6.55: Representatividad de los rangos de tamaño de bornita para el sector Diablo Regimiento y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación.

Tamaño (μm) % Representatividad	Bo>212]	Bo]212-106]	Bo]106-75]	Bo]75-53]	Bo]53-45]	Bo]45-38]	Bo]38-24]	Bo]24-12]	Bo<12
Cabeza	0,0	0,0	12,8	9,0	0,0	0,0	2,1	8,1	45,6
Concentrado	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	16,5	6,4	56,6
Cola	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,8	3,8	74,3
Pérdida	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	0,09	9,14

Litología: El orden en términos de recuperaciones, son iguales a las de la fase de calcopirita, predominando la BXANH, BBS y finalmente el CMET (Figura 6.79.).

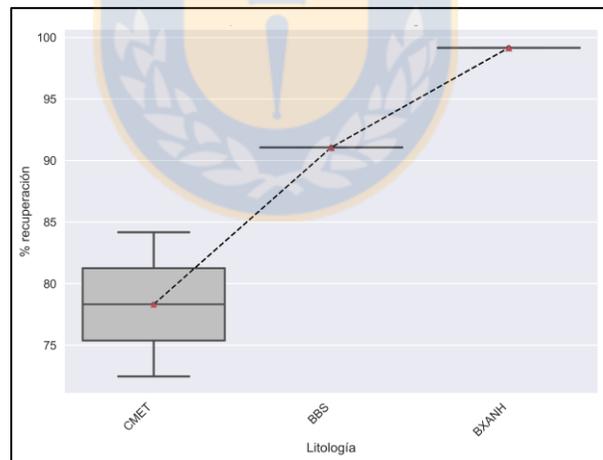


Figura 6.79: Recuperación de bornita por unidad litológica para el sector Diablo Regimiento.

6.2.9 SECTOR PRODUCTIVO PACÍFICO SUPERIOR

6.2.9.1 CALCOPIRITA

Grado de liberación: Pacífico Superior no refleja la típica tendencia de mayor grado de liberación, mayor recuperación, debido a que existe un *pick* en el rango de]80-70] por sobre los otros porcentajes y al mismo tiempo, las partículas parcialmente ocluidas a ocluidas registran una leve alza con respecto al resto de los grados de liberación (Figura 6.80-a). Las recuperaciones más altas son asignadas a las partículas libres y al rango de]80-70], con un 50% y 18% respectivamente. Considerando los ocho primeros rangos (mayor a menor grado de liberación) se logra una recuperación para la mediana de un 90% (Figura 6.80-b)

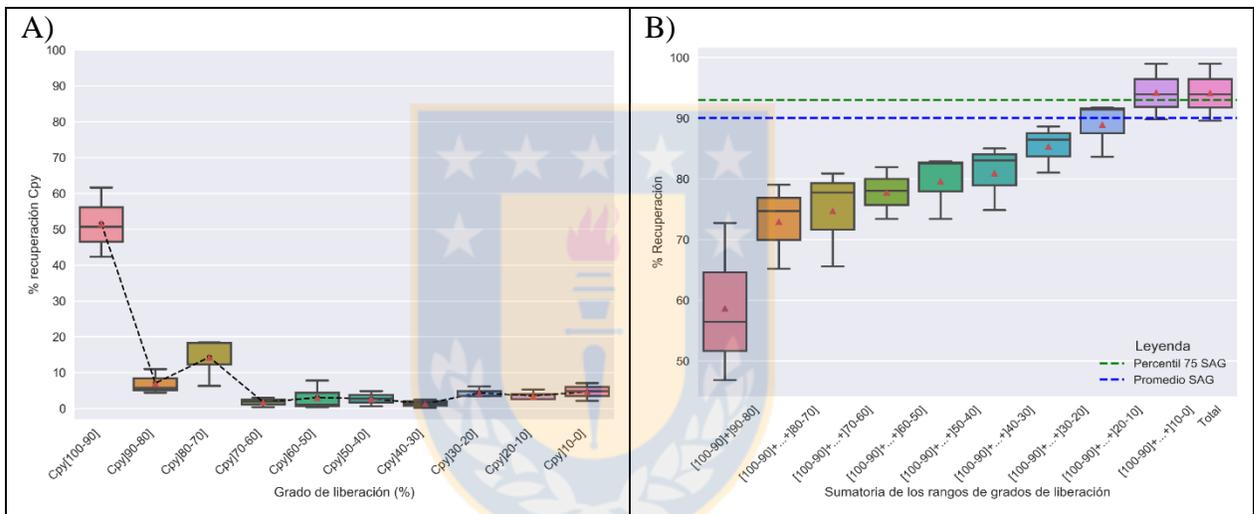


Figura 6.80: Grados de liberación de calcopirita para el sector Pacífico Superior. A) Recuperación *versus* grado de liberación. B) Sumatoria de los rangos de grado de liberación para obtener una recuperación sobre el 90%.de calcopirita.

El *pick* en el grado de liberación]80-70] se debe a que entra una cierta cantidad (mayor que los rangos adyacentes) en la alimentación y no se produce pérdida en este rango (Tabla 6.56.). Hacia las partículas con menos grado de liberación se ocasiona un pequeño aumento en las concentraciones de la cabeza, originando la acentuación observada en la Figura 6.80-a. Hay un 0,38% del total de alimentación que se pierde como partícula libre y el resto de las pérdidas se registra en las calcopiritas parcialmente ocluidas y ocluidas. Por otra parte, las facies parcialmente liberadas no se observa una pérdida para dichos rangos. La pérdida global para esta fase mineral es de un 6,10%.

Tabla 6.56: Representatividad de la asociación mineral de calcopirita para el sector Pacífico Superior y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación.

% Liberación % Representatividad	Cpy[100-90]	Cpy[90-80]	Cpy[80-70]	Cpy[70-60]	Cpy[60-50]	Cpy[50-40]	Cpy[40-30]	Cpy[30-20]	Cpy[20-10]	Cpy[10-0]
Cabeza	50,7	5,8	18,2	1,9	1,1	0,7	1,6	4,4	4,4	8,0
Concentrado	63,4	6,2	5,9	4,8	5,7	1,6	3,4	3,0	3,4	4,7
Cola	4,4	0,0	0,0	0,0	2,5	1,6	1,6	2,8	2,9	81,2
Pérdida	0,38	0,00	0,00	0,00	0,12	0,10	0,10	0,29	0,07	2,71

Asociación mineral: Si bien, las partículas complejas, filosilicatos y silicatos duros:filosilicatos tienen recuperaciones relevantes, las partículas libres predominan en la recuperación (Figura 6.81.). Las cantidades para las especies de filosilicatos, corresponden a una sola muestra, debido a que el resto no contaban con dicha información, por lo que no sería representativo expresarlas.

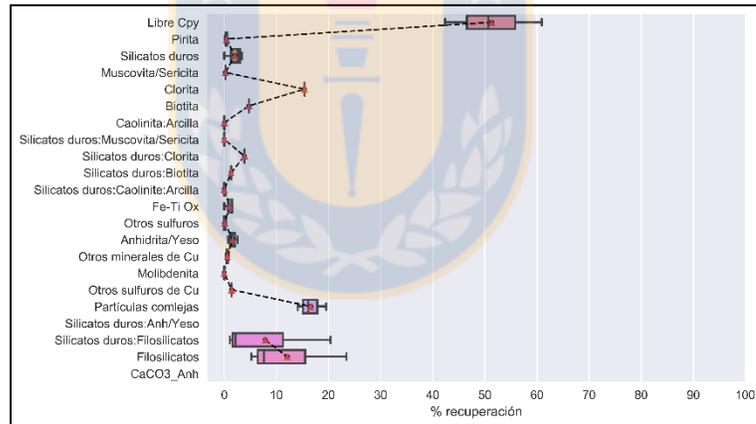


Figura 6.81: Recuperaciones por asociaciones minerales para calcopirita en el sector Pacífico Superior.

A pesar de que en la alimentación se registran varias facies minerales, las pérdidas solo se observan en las partículas complejas, silicatos duros:filosilicatos, silicatos duros y partículas libres (Tabla 6.57.). Es importante destacar que la calcopirita asociada a pirita y a filosilicatos no produce pérdida para este sector. La recuperación mayor según asociación mineral corresponde a las partículas complejas y ésta, además se condice con la mayor pérdida de un 5,24% del total de alimentación.

Tabla 6.57: Representatividad de los rangos de grado de liberación de calcopirita para el sector Pacífico Superior y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación.

Asociación mineral % Representatividad	Cpy Libre	Cpy: Pirita	Cpy: Silicatos duros	Cpy: Fe-TiOx.	Cpy: Otros sulfuros	Cpy: Anhidrita/yeso	Cpy: Otros minerales de Cu	Cpy: Molibdenita	Cpy: Otros sulfuros de Cu	Cpy: Partículas complejas	Cpy: Silicatos duros anh/yeso	Cpy: Silicatos duros: Filosilicatos	Cpy: Filosilicatos	Cpy: CaCO ₃ _anh
Cabeza	50,7	0,6	2,7	1,5	0,0	1,6	0,5	0,0	0,0	21,4	0,0	2,7	7,6	0,0
Concentrado	63,4	1,4	3,0	0,3	0,0	1,8	0,2	0,0	0,0	24,1	0,0	1,9	3,9	0,0
Cola	4,4	0,1	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	85,8	0,0	2,5	0,1	0,0
Pérdida	0,38	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,24	0,00	0,15	0,00	0,00

Tamaño: Las fracciones gruesas presentan baja recuperación al igual que el quiebre en los rangos observados anteriormente del [53-38] μm (Figura 6.82-a). El tamaño con mayor recuperación concierne al rango de [75-53] μm , seguido del [106-75] μm . Las partículas <38 μm poseen recuperaciones similares entre un 10-15%. De forma comparativa, una recuperación similar al promedio del SAG, se alcanza con la sumatoria de 8 de 9 rangos (menor a mayor tamaño), indicando que son necesarias, al menos, todas las partículas pertenecientes a los tamaños mencionados (Figura 6.82-b).

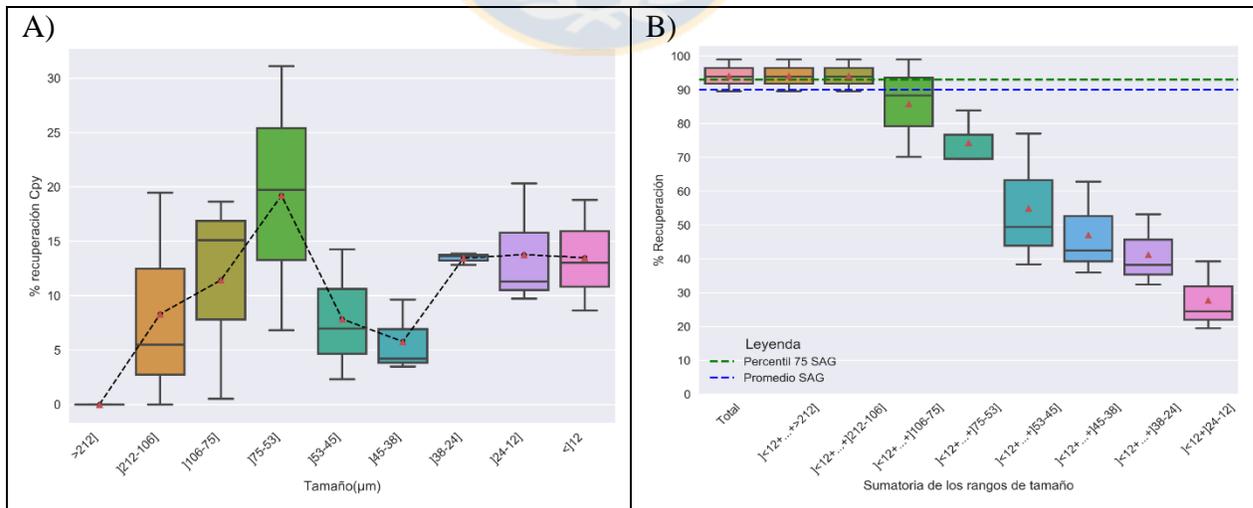


Figura 6.82: Tamaños de calcopirita para el sector Pacífico Superior. A) Recuperación de calcopirita por tamaño. B) Sumatoria de los rangos de tamaño para obtener una recuperación sobre el 90% de calcopirita.

Sobre el tamaño de 53 μm (y menor a 212 μm) las pérdidas son muy bajas con respecto al total de alimentación, incluso llegando a cero para el rango de]106-75] μm (Tabla 6.58). Los tamaños menores a 38 μm registran las mayores pérdidas, aunque, de todas maneras, ingresa en la alimentación una cantidad considerable.

Tabla 6.58: Representatividad de los rangos de tamaño de calcopirita para el sector Pacífico Superior y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación.

Tamaño (μm) % Representatividad	Cpy>212]	Cpy]212-106]	Cpy]106-75]	Cpy]75-53]	Cpy]53-45]	Cpy]45-38]	Cpy]38-24]	Cpy]24-12]	Cpy<12
Cabeza	0,0	6,3	15,1	22,1	7,2	4,3	14,0	13,0	13,9
Concentrado	0,0	0,0	0,0	16,0	6,0	7,3	22,0	22,7	35,8
Cola	0,0	0,0	0,0	8,1	3,2	5,9	6,7	27,7	26,8
Pérdida	0,00	0,00	0,00	0,84	0,20	0,10	0,58	0,60	0,61

Litología: Debido a la baja cantidad de muestras en este sector, no es posible observar una distribución según diagramas de cajas, no obstante, las 3 muestras corresponden a 3 litologías diferentes, las cuales, en orden creciente en recuperación, son Brecha de Anhidrita (BXANH), Brecha Braden de Sericita (BBS) y el Complejo Máfico El Teniente (CMET) (Figura 6.83).

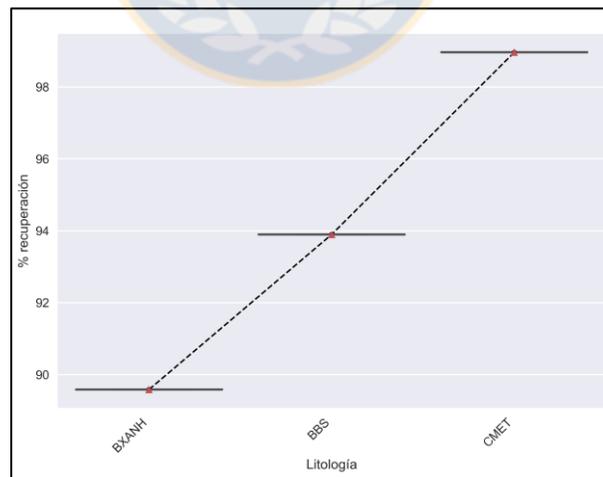


Figura 6.83: Recuperación de calcopirita por unidad litológica para el sector Pacífico Superior.

6.2.9.2 BORNITA

Grado de liberación: La distribución de los rangos tiende a comportarse con la tendencia de mayor grado de liberación, mayor recuperación, no obstante, presenta un leve *pick* en el rango]30-20] (Figura 6.84-a). Bajo el 80% de liberación, las recuperaciones no superan el 10% por sí sola y se concentran alrededor del 5%. Las mayores recuperaciones son de las partículas libres con un 65% para la mediana de los datos. Comparativamente, se necesitan todos los rangos de recuperación para obtener porcentajes de recuperación similares al promedio de la planta SAG, equivalente al 90% (Figura 6.84-b).

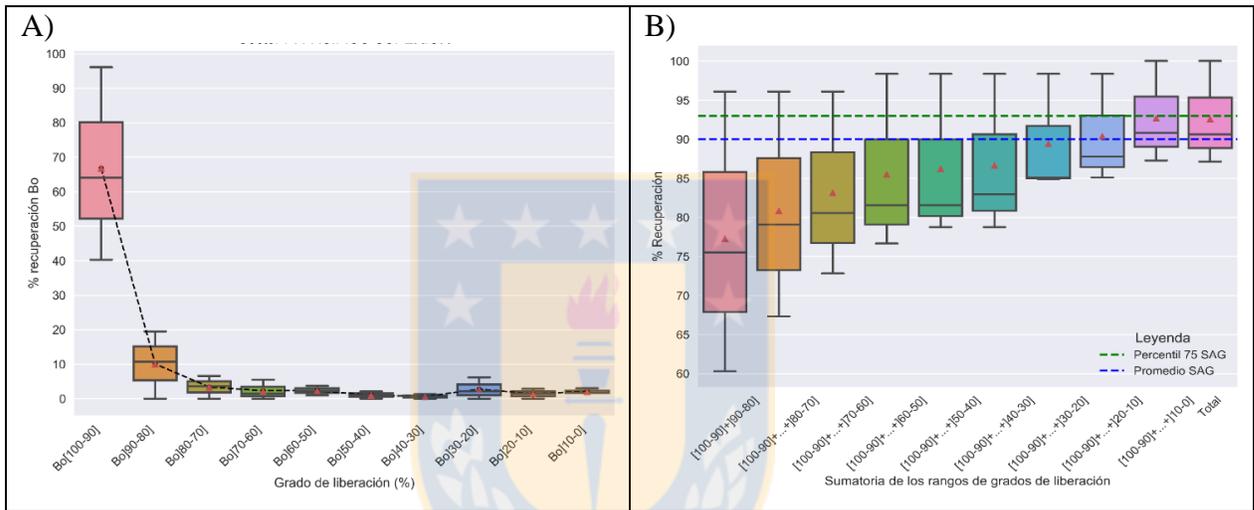


Figura 6.84: Grados de liberación de bornita para el sector Pacífico Superior. A) Recuperación *versus* grado de liberación. B) Sumatoria de los rangos de grado de liberación para obtener una recuperación sobre el 90% de bornita.

La mayor cantidad de bornita que entra en la alimentación, es como partícula libre, pese a esto, es también el rango que posee la mayor pérdida, con casi un 4% con respecto al total de alimentación (Tabla 6.59.). Las partículas parcialmente ocluidas (]30-20]) ostentan la menor pérdida, aclarando el *pick* en dicho intervalo, en el gráfico de la Figura 6.84-a.

Asociación mineral: Las obtenciones de bornita se encuentran asociados a las partículas complejas, otros sulfuros de cobre y piritita (Figura 6.85.). Los filosilicatos no superan el 1% de recuperación y la asociación de silicatos duros con arcillas no fue registrada en las muestras estudiadas.

Tabla 6.59: Representatividad de los rangos de grado de liberación de bornita para el sector Pacífico Superior y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación.

% Liberación % Representatividad	Bo[100-90]	Bo[90-80]	Bo[80-70]	Bo[70-60]	Bo[60-50]	Bo[50-40]	Bo[40-30]	Bo[30-20]	Bo[20-10]	Bo[10-0]
Cabeza	69,4	11,1	3,9	1,6	2,3	0,6	0,6	2,4	1,9	3,7
Concentrado	68,3	12,0	5,2	3,0	4,9	1,0	2,2	1,2	1,3	1,3
Cola	35,6	2,8	18,3	1,6	4,7	2,7	6,8	1,0	8,9	17,6
Pérdida	3,97	0,32	1,76	0,18	0,47	0,34	0,73	0,12	1,09	2,15

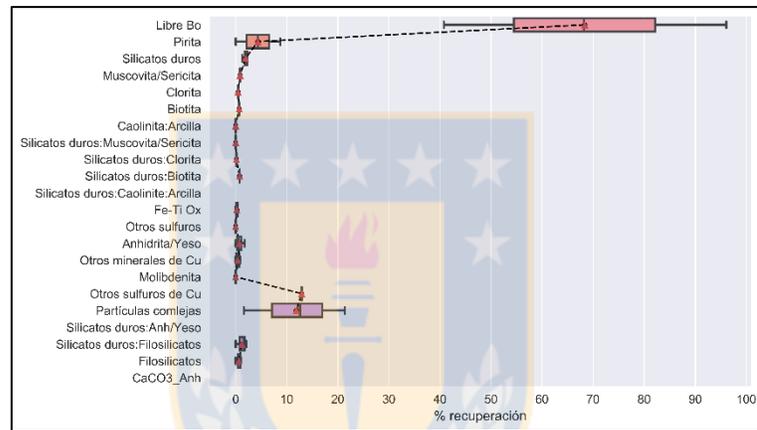


Figura 6.85: Recuperaciones por asociaciones minerales para bornita en el sector Pacífico Superior.

La mayor pérdida se encuentra relacionada a las partículas complejas con un 5% del total de alimentación (Tabla 6.60.). Menos de un 1% de la bornita se va en el relave con pirita, al igual que el resto de las asociaciones, excepto con otros sulfuros de cobre que representa un 2,2%. Como se había mencionado anteriormente, las bornitas libres se pierden casi en un 4%, por lo que estaría asociado a problemas de tamaño.

Tamaño: Las distribuciones de los tamaños tiende a seguir valores elevados a fracciones finas-intermedias, no obstante, se produce el quiebre negativo en el intervalo de $[45-38] \mu\text{m}$ y al menos el 50% de los datos del tamaño $[53-45] \mu\text{m}$ están por debajo del 10% en recuperación (Figura 6-86-a). Cabe destacar que las obtenciones de las fracciones finas están por sobre las intermedias a gruesas. El gráfico de la Figura 6.86-b, revela que para obtener recuperaciones por sobre al 90%, equivalente al promedio SAG, se deben considerar al menos 7 rangos de tamaño (menor a mayor tamaño).

Tabla 6.60: Representatividad de la asociación mineral de bornita para el sector Pacífico Superior y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación.

Asociación mineral % Representatividad	Bo Libre	Bo: Pirita	Bo: Silicatos duros	Bo: Fe-TiOx.	Bo: Otros sulfuros	Bo: Anhidrita/yeso	Bo: Otros minerales de Cu	Bo: Molibdenita	Bo: Otros sulfuros de Cu	Bo: Partículas complejas	Bo: Silicatos duros anh/yeso	Bo: Silicatos duros: Filosilicatos	Bo: Filosilicatos	Bo: CaCO ₃ _anh
Cabeza	72,9	4,4	2,3	0,3	0,0	0,6	0,4	0,0	15,2	19,7	0,0	1,8	0,9	0,0
Concentrado	68,3	2,5	1,1	0,5	0,0	1,1	0,6	0,0	12,2	16,3	0,0	0,0	1,1	0,0
Cola	35,6	0,7	1,2	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	23,7	43,2	0,0	5,0	2,4	0,0
Pérdida	3,97	0,09	0,13	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	2,23	5,01	0,00	0,49	0,30	0,00

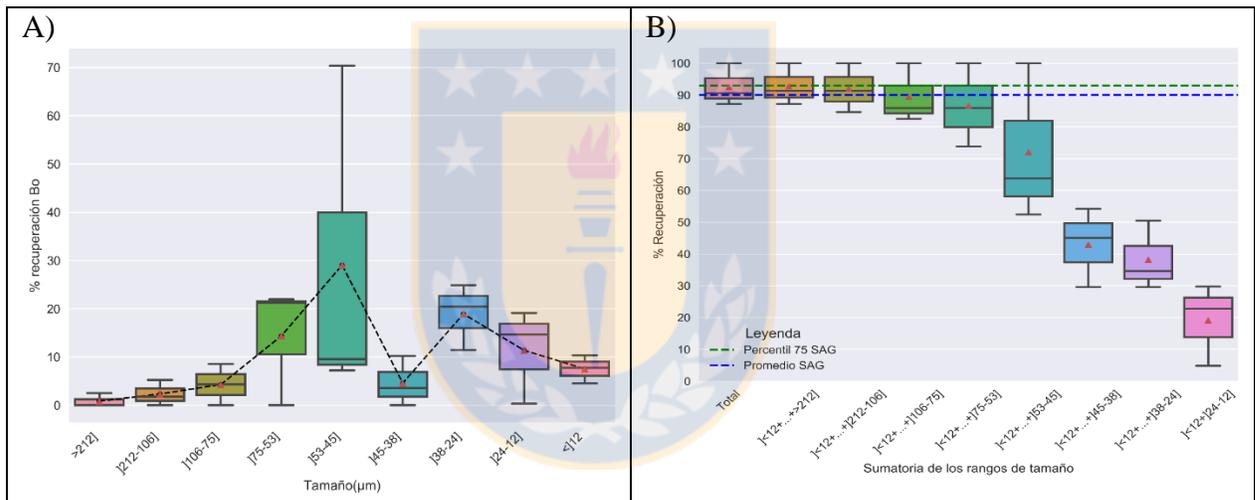


Figura 6.86: Tamaños de bornita para el sector Pacífico Superior. A) Recuperación de bornita por tamaño. B) Sumatoria de los rangos de tamaño para obtener una recuperación sobre el 90% de bornita.

Bajo el tamaño de 75 μm los *inputs* de alimentación son elevados comparados con las fracciones más gruesas, destacando los rangos de [75-53] μm y [38-24] μm, lo cual explica la tendencia observada en el gráfico de la Figura 6.86-a (Tabla 6.61). El quiebre en el intervalo [45-38] se produce por la baja concentración en la cabeza, sumado a pérdidas sobre el 1%.

Litología: A diferencia de la calcopirita, el sector Pacífico Superior, tiene una mayor recuperación de bornita para la Brecha Braden de Sericita (BBS) y luego para el CMET (Figura 6.87.).

Tabla 6.61: Representatividad de los rangos de tamaño de bornita para el sector Pacífico Superior y porcentaje de pérdidas con respecto al total de alimentación.

Tamaño (µm) % Representatividad	Bo>212]	Bo]212-106]	Bo]106-75]	Bo]75-53]	Bo]53-45]	Bo]45-38]	Bo]38-24]	Bo]24-12]	Bo<12
Cabeza	0,0	4,5	1,3	22,8	9,5	4,7	23,0	17,0	8,6
Concentrado	0,0	0,0	0,0	4,5	6,6	10,5	26,4	23,6	20,1
Cola	0,0	11,1	0,0	10,8	19,7	12,8	19,7	12,8	3,6
Pérdida	0,00	1,04	0,0	1,01	2,21	1,20	2,21	1,20	0,34

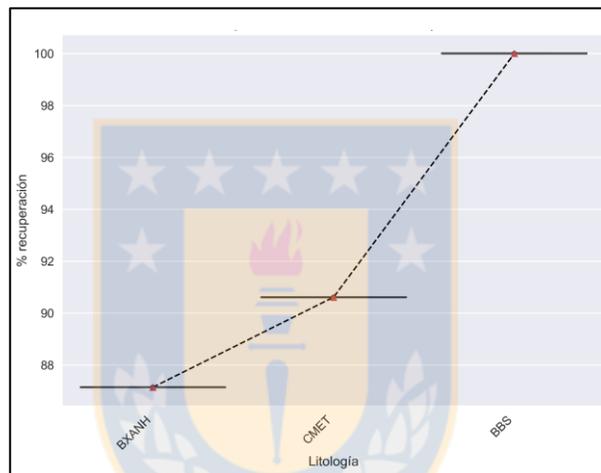


Figura 6.87: Recuperación de bornita por unidad litológica para el sector Pacífico Superior.

6.3 ANÁLISIS ESPACIAL DE ZONAS DE RECUPERACIÓN MINERAL

Ciertos sectores de la División El Teniente constatan elevadas recuperaciones de las menas de Cu. Para comprender las características en común que tienen las zonas de alta recuperación, además de los factores que hacen que un sector posea una baja obtención, se plotearon las muestras de calcopirita y bornita en un modelo del yacimiento, utilizando el programa de modelamiento 3D *Leapfrog Geo*. Para esto, se debió establecer rangos de recuperación mineral, que diferencien una alta recuperación, de una baja. Estos se determinaron mediante una estadística general de poblaciones, que contempló histogramas y gráficos cuantil-cuantil (*QQPlot*) (Figura 6.88).

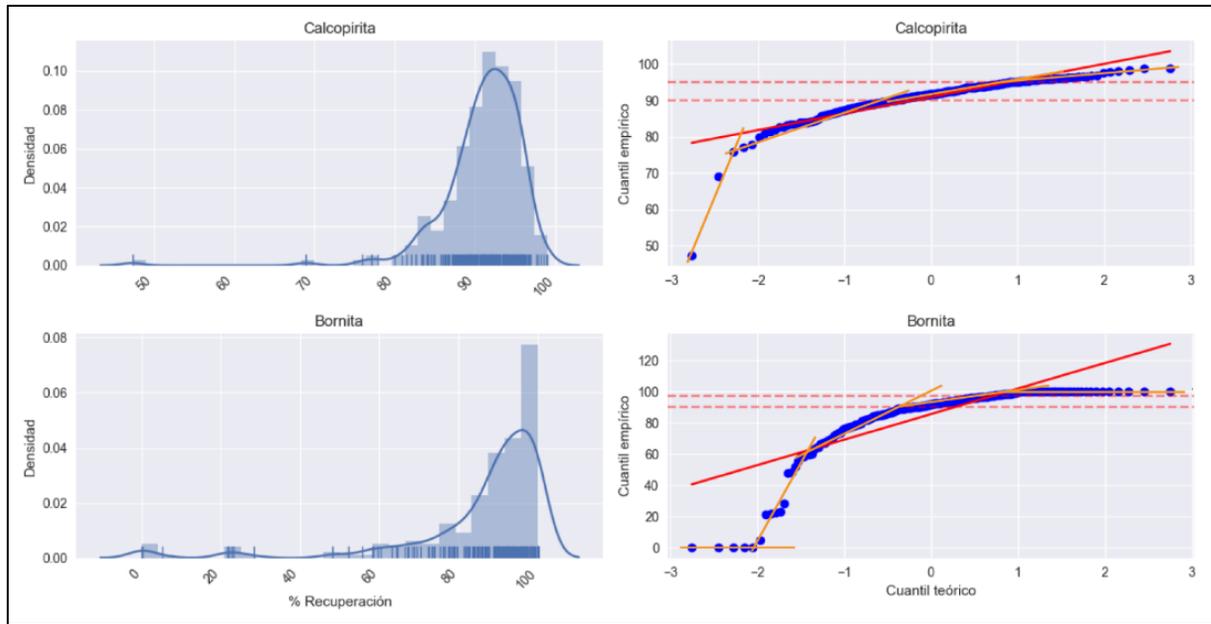


Figura 6.88: Gráficos de densidad (izquierda) y *QQPlot* (derecha) para las fases de calcopirita y bornita. Líneas punteadas rojas corresponden a los rangos determinados. Líneas naranjas representan cambios de pendientes.

Los rangos seleccionados, tanto para la calcopirita, como para la bornita (Tabla 6.62.), fueron establecidos por quiebres de pendientes, que consideren una cantidad de data representativa y que sean coherentes con rangos de recuperación en planta establecidos en el Capítulo 5. Sobre la base de las especificaciones anteriores, se desestimaron quiebres en recuperaciones muy bajas, por no apuntar al objetivo de estudio.

Tabla 6.62: Clasificación de los rangos de recuperación mineral.

Mineral	Rango	Clasificación
Calcopirita	[0-90]	Baja recuperación
]90-95]	Media recuperación
]95-100]	Alta recuperación:
Bornita	[0-89]	Baja recuperación
]89-96]	Media recuperación
]96-100]	Alta recuperación:

Especialmente la calcopirita evidencia una zona de alta recuperación en el sector norte (Dacita y Recursos Norte) y en la zona sur este (Diamante) (Figura 6.89.). Además, existen cuerpos menores de alta recuperación en la porción sur (Extensión Sur Esmeralda) y oeste (Pacífico Superior). Las zonas de baja recuperación son bastante acotadas al borde externo de RENO y al borde interno de Esmeralda y Extensión sur Esmeralda (comparaciones con respecto a la pipa).

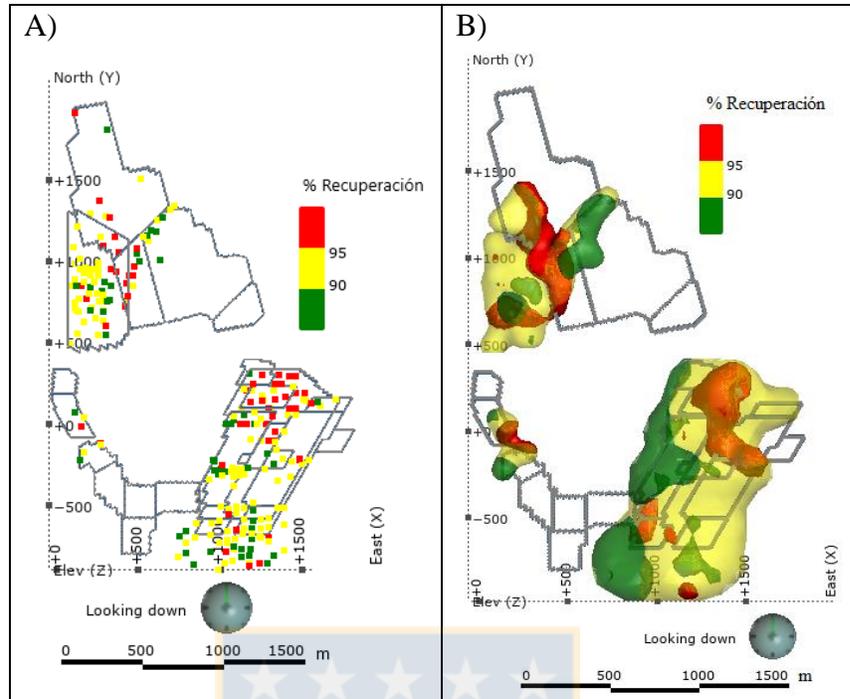


Figura 6.89: Distribución espacial de las recuperaciones de calcopirita. A) Muestras según recuperación. **B)** volumen interpolado de las muestras según recuperación.

Por otra parte, con la distribución de bornita se reconocen cuerpos de alta recuperación en el proyecto Andesita y en la porción sur este del yacimiento (Diamante, Esmeralda y Extensión Sur Esmeralda) (Figura 6.90.). A diferencia de la calcopirita, el sector de Dacita y Recursos Norte, los cuerpos de alta recuperación no son tan representativos. Es importante destacar que existe cierta estratificación en la recuperación, donde hacia zonas más profundas aumenta la recuperación.

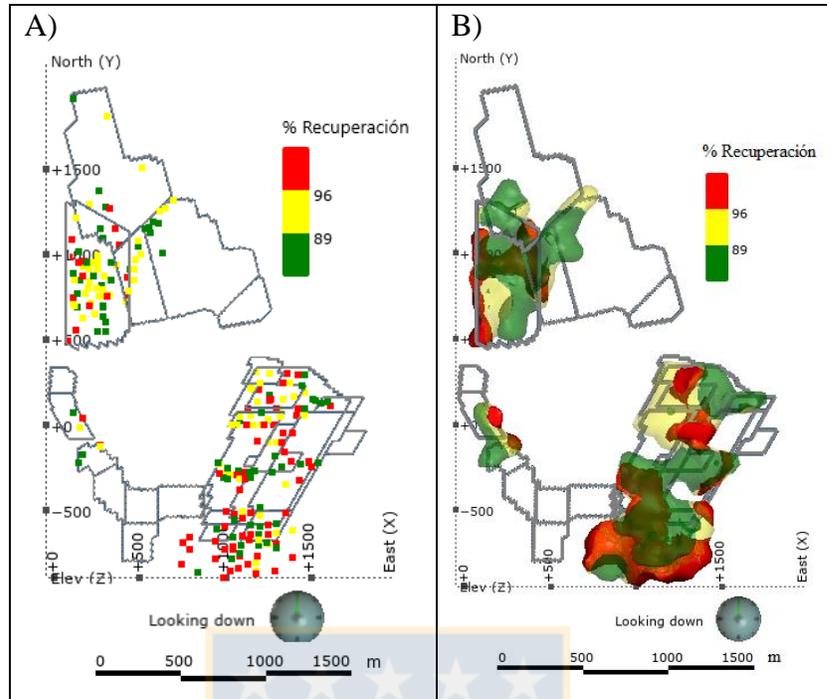


Figura 6.90: Distribución espacial de las recuperaciones de bornita. A) Muestras según recuperación. B) volumen interpolado de las muestras según recuperación.

6.4 ANÁLISIS ESPACIAL DE LAS ALTERACIONES Y LITOLOGÍAS

6.4.1 GENERALIDADES

En la División El Teniente, recientemente se ha elaborado el primer modelo de alteración del yacimiento. Este modelo comprende las representatividades de las diferentes etapas de alteración que han ocurrido en el depósito, confeccionado a partir de la relación y pervasividad de alteración de vetillas tardimagnéticas, principales y tardías.

Para el caso de estudio, se realizó un análisis descriptivo de los sectores productivo/proyecto, con el propósito de comprender y asociar ciertas características geometalúrgicas con las alteraciones hidrotermales. Se consideró los volúmenes de alteración con alta presencia o predominancia, producto de la metodología del mapeo desarrollado por la DET, la cual comprende un *background* de alteración TM, que se le disminuye su representatividad, según se superponen eventos de alteración más tardíos (HP y HT). Por este motivo, un alto porcentaje de cierta alteración implica ausencia de otras, permitiendo distinguir la influencia de una alteración en una zona específica.

La Figura 6.91. muestra las diferentes alteraciones hidrotermales de alta predominancia que afectan a los sectores estudiados.

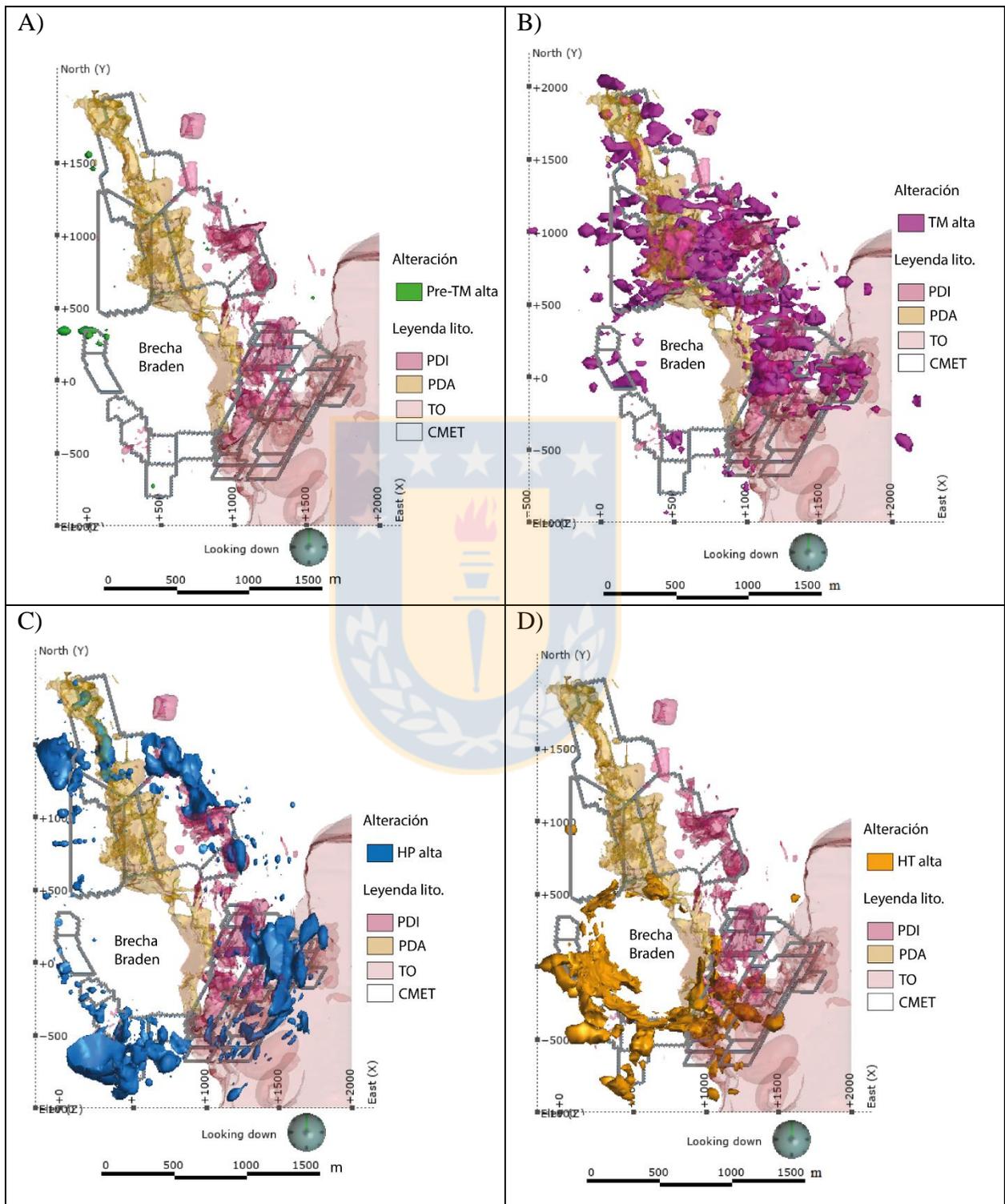


Figura 6.91: Alteraciones de alta intensidad y litologías dominantes en el yacimiento. A) Alteración Pre-TM. B) Alteración TM. C) Alteración HP. D) Alteración HT.

Como se describió en el Capítulo 2., el primer evento de alteración corresponde a la Pre-Tardimagnética o Pre-TM, que se caracteriza por una alteración de magnetita-cuarzo-anhidrita-actinolita-plagioclasa cálcica \pm epidota, la cual varía de forma pervasiva a controlada por vetillas en asociación con vetillas de magnetita. Esta alteración es bastante acotada y registrada en sondajes de forma incipiente en términos de volumen, ocurriendo principalmente en el CMET (Figura 6.91-a).

La segunda alteración en ocurrir, es la Tardimagnética (TM), caracterizada por una alteración potásica en venillas (cuarzo, biotita, feldespato potásico y anhidrita), en forma masiva (pertitización en intrusivos y biotización en andesitas) y biotización del Complejo Máfico. Se encuentra relacionada con la consolidación de los intrusivos. Esta alteración tiene una mayor representatividad que la anterior (Pre-TM), concentrada en la porción este de la Brecha Braden, con una dirección NW-SE, siguiendo el *trend* de los pórfidos (Figura 6.91-b).

La alteración Hidrotermal Principal corresponde a una alteración fílica desarrollada a partir de vetillas de sulfuros, generando halos de alteración de cuarzo, sericita y clorita de ancho variable, y se encuentra relacionado a la reacción de fluidos tardimagnéticos con aguas meteóricas. La mayor parte del yacimiento, está siendo afectado por este evento, pero la porción con más alta representatividad, se encuentra en los extremos del depósito de forma concéntrica a la Brecha Braden (Figura 6.91-c). Afecta indistintamente a pórfidos como al CMET.

La última etapa de alteración es la Hidrotermal Tardía (HT), la cual al igual que la HP se expresa como una alteración fílica, pero ésta afecta a los clastos de la Brecha de Turmalina y como halos de vetillas. Se desarrolla a partir de la Brecha Braden, extendiéndose a unos 100-150 m en una zona concéntrica a esta. En esta etapa, también se incluye la Alteración Póstuma, que genera una alteración de sericita y calcita, restringida a la Brecha Braden, en vetillas de baja frecuencia o afectando a la matriz de los clastos de esta. En general se relaciona a los fluidos hidrotermales asociados al desarrollo del complejo de Brecha Braden y afecta principalmente al CMET (Figura 6.91-d).

Al relacionar las zonas de recuperación de calcopirita y bornita con las litologías de forma espacial, existe una clara correspondencia en los volúmenes de alta recuperación de calcopirita con los pórfidos dacíticos y dioríticos (Figura 6.92-a), mientras que las altas recuperaciones de bornita se alojan en mayor proporción al CMET y en la Tonalita (Figura 6.92-b). Por otra parte, los núcleos

de baja recuperación de calcopirita bordean la Brecha Braden en la porción sur este y en la zona norte están asociadas al CMET. Las de bornita afecta sin distinción al CMET y a los pórfidos.

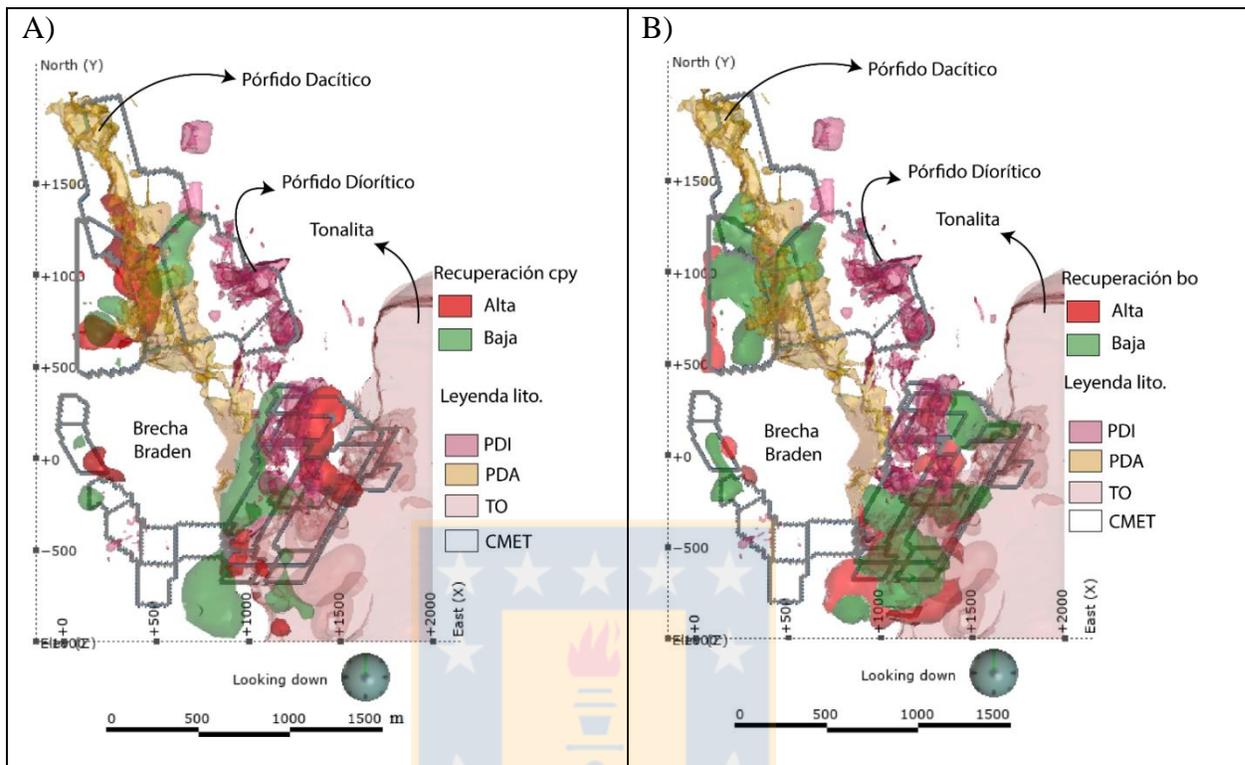


Figura 6.92: Zonas de alta y baja recuperación relacionados a litologías en el yacimiento. A) Volúmenes de recuperaciones para calcopirita. B) Volúmenes de recuperaciones para bornita.

6.4.2 ZONA NORTE

El sector norte se encuentra dominado por las alteraciones TM y HP, no obstante, las zonas de recuperación de calcopirita del presente estudio, no se encuentran influenciadas en gran medida por las alteraciones de alta representatividad. En la Figura 6.93-a se aprecia que la mayoría de las muestras (discos) tienen color negro, indicando que el muestreo de dichos tramos de testigo arrojó que no poseen grados de intensidad elevados, y solo algunas ubicadas en las porciones de baja recuperación de calcopirita tienen evidencias de una alteración pervasiva (Figura 6.93-b). Si bien, en la Figura 6.91-c la alteración TM evidencia que está cubriendo parte de los sectores donde se encuentran los volúmenes, ésta se encuentra rodeándolos, por encima o por debajo de estos.

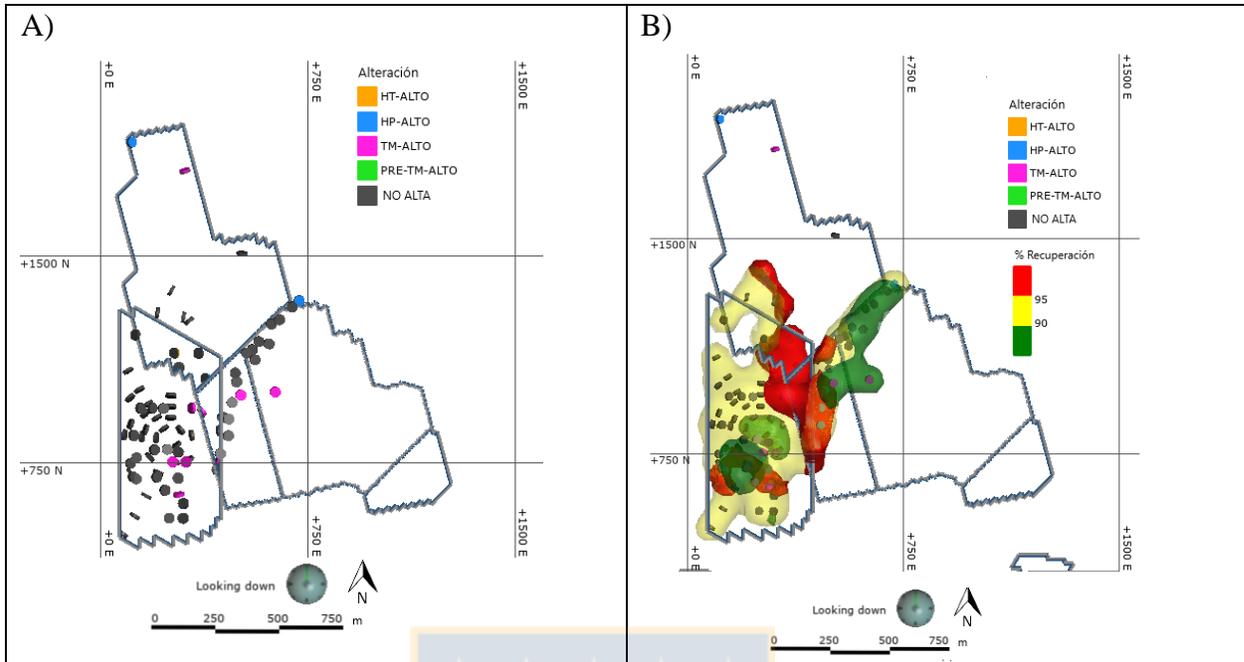


Figura 6.93: Alteraciones del sector norte del yacimiento (calcopirita). A) Alteración por muestra B) Zonas de calcopirita superpuesta a las alteraciones.

De igual forma, las zonas de baja recuperación de bornita, se encuentran influenciadas con algunas muestras con alteración intensa (Figura 6.94.). Pese a lo anterior, en RENO hay una muestra con HP alto, donde existe un leve incremento en la recuperación de esta fase.

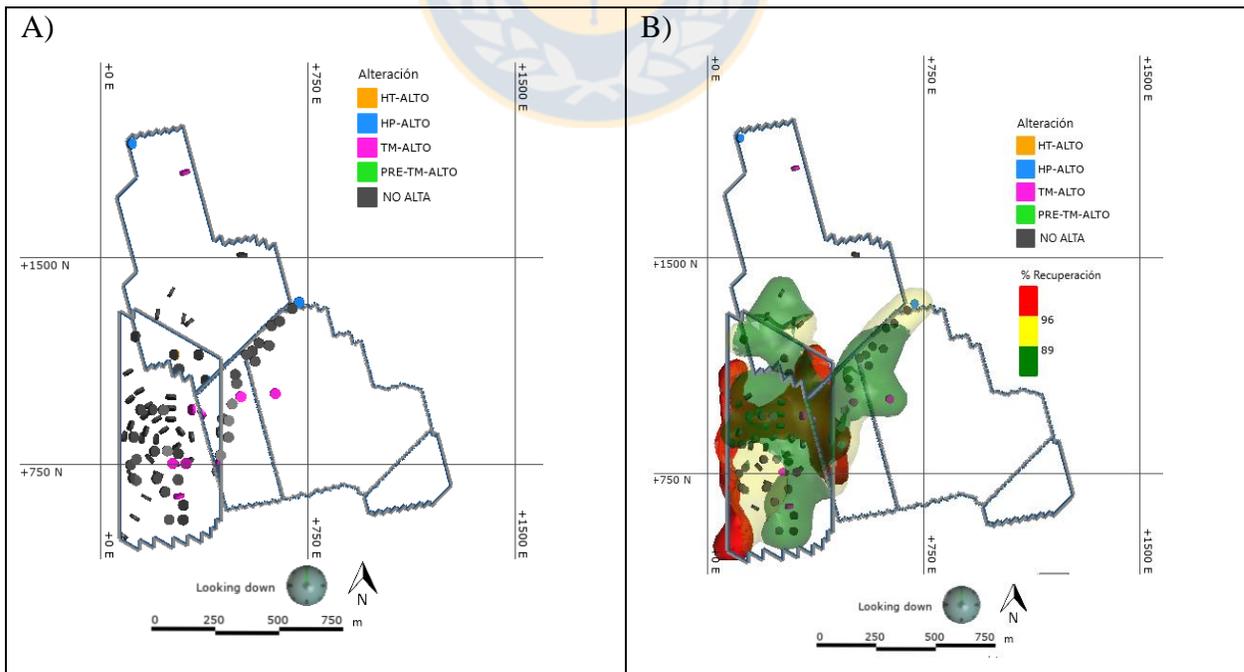


Figura 6.94: Alteraciones del sector norte del yacimiento (bornita). A) Alteración por muestra B) Zonas de bornita superpuesta a las alteraciones.

6.4.3 ZONA SUR ESTE

La porción sur este del yacimiento tiene un predominio de la alteración HP, y una sectorización de las alteraciones TM y HT. La primera (TM) está dominando en la zona norte de Esmeralda y Diamante afectando indistintamente unidades como CMET y PDI. Por otra parte, HT ejerce una mayor influencia en la zona sur de Esmeralda y de Extensión Sur Esmeralda. El evento HP, si bien es mayor en proporción, se encuentra ubicado en extremo este de los sectores. Las muestras estudiadas en su mayoría no poseen representatividades elevadas de alteración (Figura 6.95-a) y a simple vista las zonas de recuperación de calcopirita no exhiben cierto patrón con las alteraciones (Figura 6.95-b). No obstante, es destacable que las zonas de alta recuperación no poseen grados de alteración intensos ni intermedios, mientras que las de baja recuperación tienden a dominar las alteraciones HT y HP moderada (Figura.6.96.).

La bornita, por su parte, también constata que las zonas de alta recuperación no poseen altas intensidades de alteraciones y las de baja recuperación tienden a presentar algunas muestras con HP y HT (Figura 6.97.).

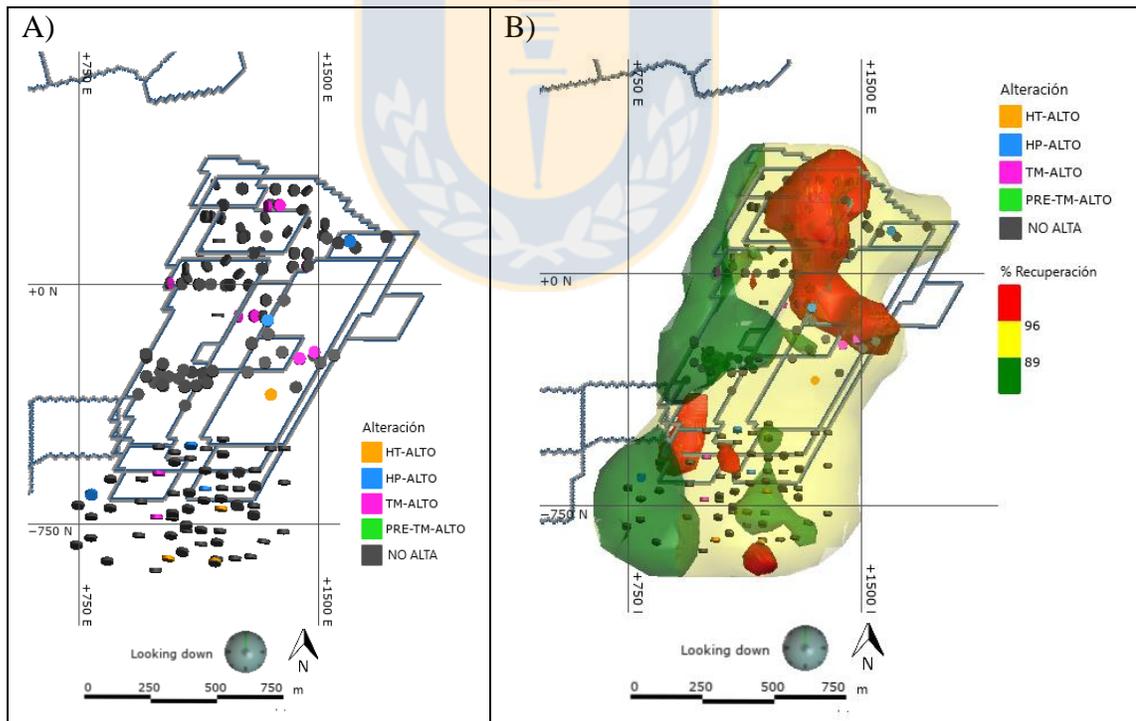


Figura 6.95: Alteraciones del sector sureste del yacimiento (calcopirita). A) Alteración por muestra
B) Zonas de calcopirita superpuesta a las alteraciones.

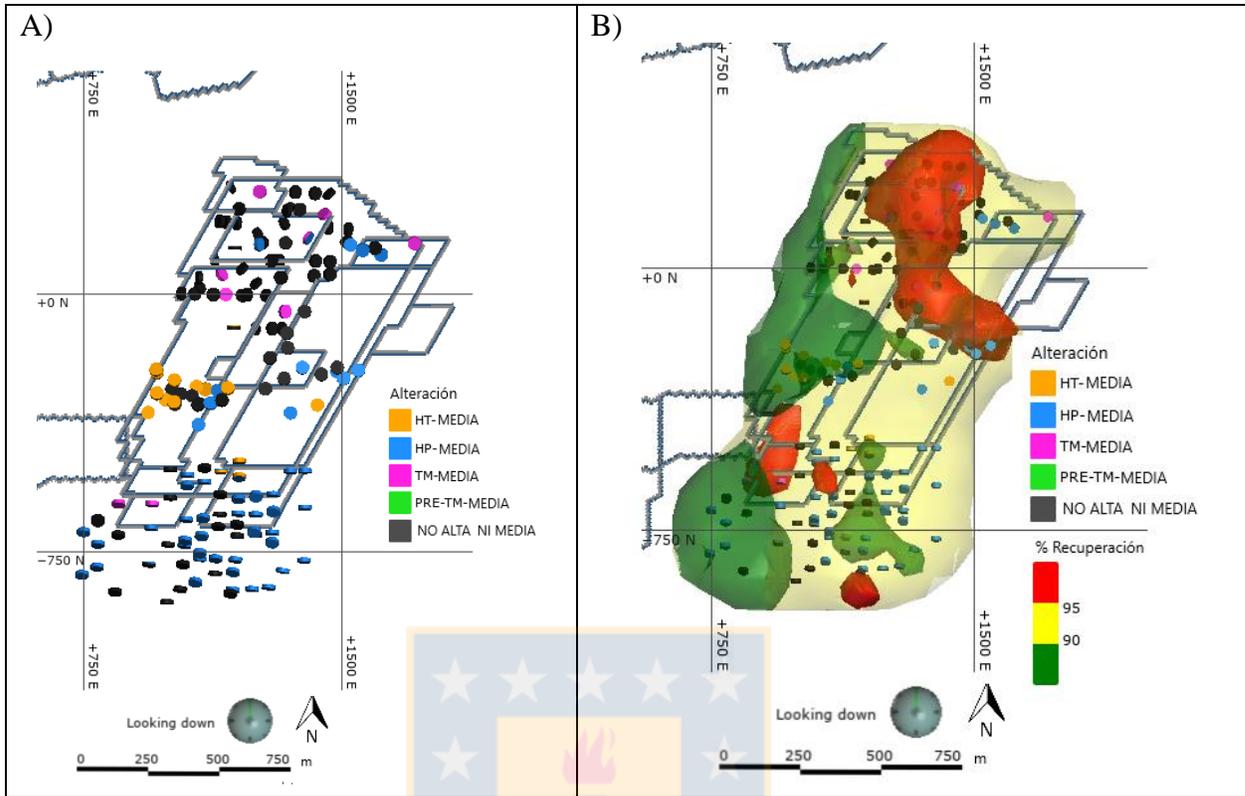


Figura 6.96: Alteración media del sector sureste del yacimiento. A) Alteración por muestra. B) Zonas de calcopirita superpuesta a las alteraciones.

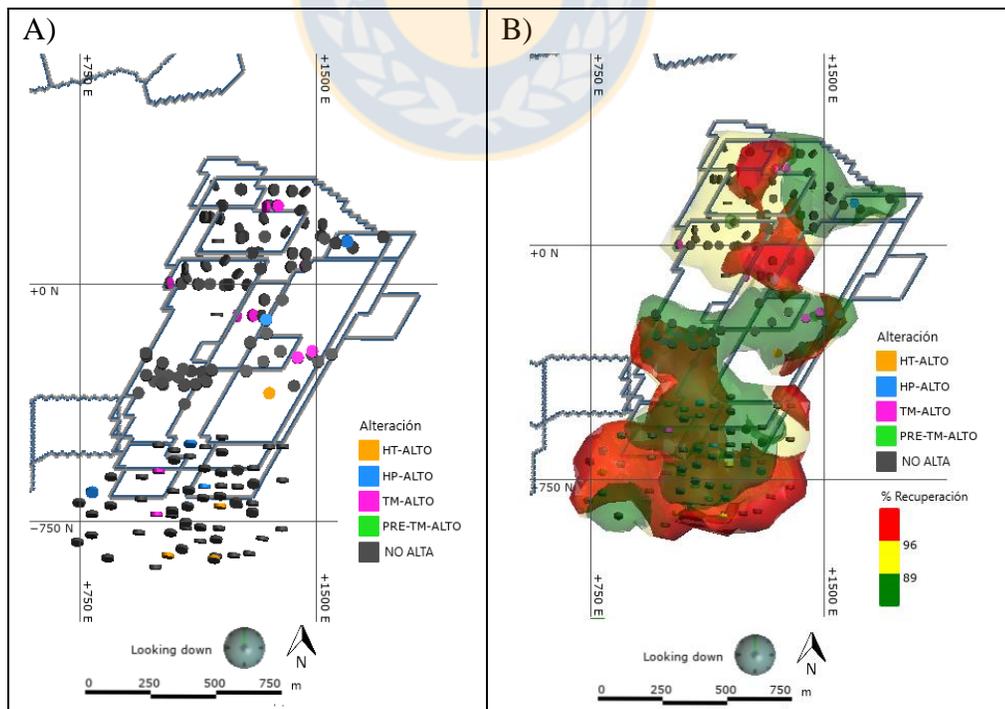


Figura 6.97: Alteraciones del sector sureste del yacimiento (bornita). A) Alteración por muestra B) Zonas de bornita superpuesta a las alteraciones.

6.4.4 ZONA OESTE

Las muestras de los sectores Pacífico Superior y Diablo Regimiento se encuentran próximas a la Brecha Braden, por lo que la alteración HT es la dominante. Pese a que la zona de alta recuperación de calcopirita está más cerca de la pipa, estas no están siendo afectadas en específico por alguna alteración (Figura 6.98-a). Por otra parte, las muestras que efectivamente registran evidencias de una alteración alta de HT, disminuyen sus recuperaciones, excepto para dos muestras en Diablo Regimiento, indicando que existen otros factores que controlan las recuperaciones (Figura 6.98-b).

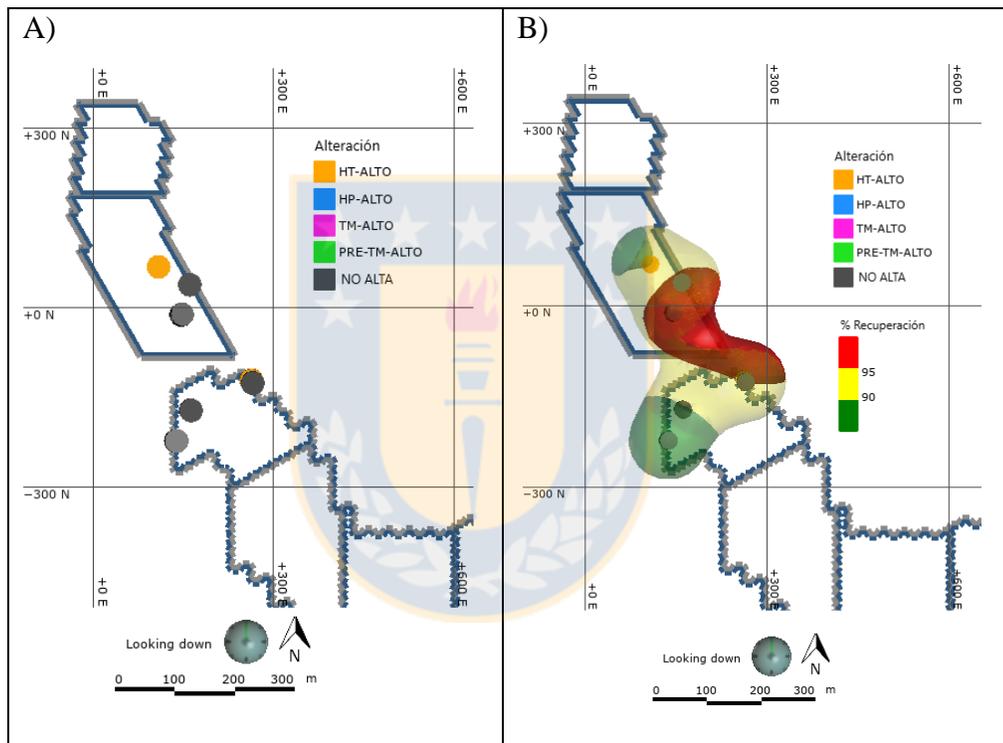


Figura 6.98: Alteraciones del sector oeste del yacimiento (calcopirita). A) Alteración por muestra B) Zonas de calcopirita superpuesta a las alteraciones.

La bornita se comporta de forma similar a la calcopirita, en donde las altas recuperaciones están próximas a la pipa, y no está siendo afectada por alteraciones de alta predominancia. A medida que nos alejamos de la Brecha Braden las recuperaciones tienden a disminuir y ser afectadas por la alteración HT (Figura 6.99.).

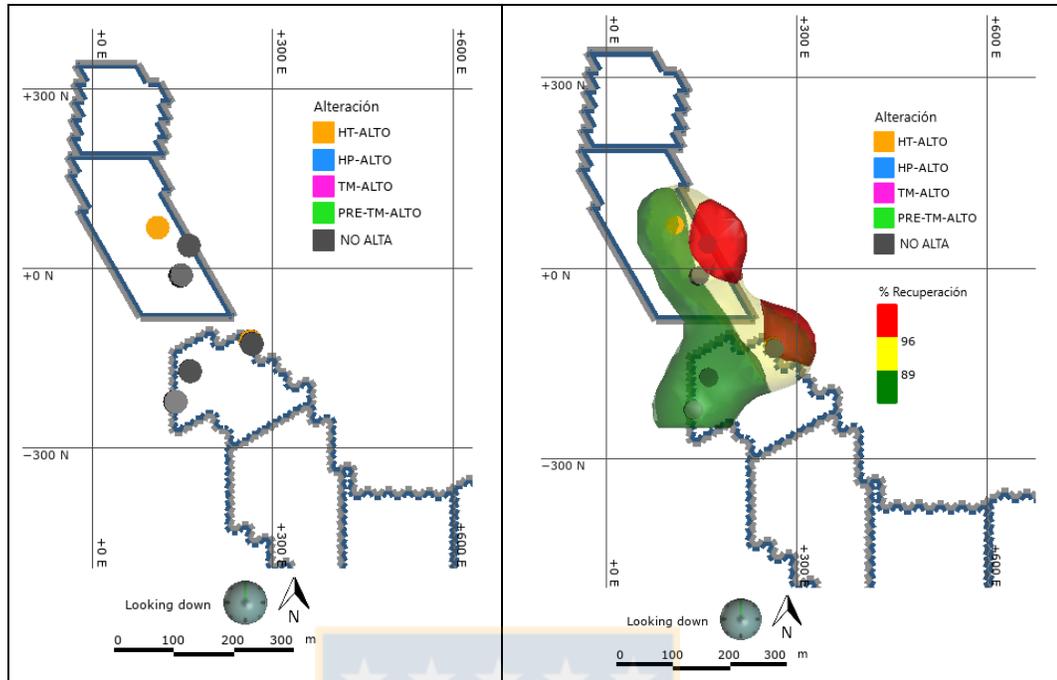


Figura 6.99: Alteraciones del sector oeste del yacimiento (bornita). A) Alteración por muestra B) Zonas de bornita superpuesta a las alteraciones.

7 DISCUSIONES

Al integrar la información de los sectores productivos y el análisis espacial de las zonas de altas recuperaciones se permitió definir sobre la base de los parámetros estudiados, las variables que están generando una alta recuperación de calcopirita y bornita en el yacimiento.

Los núcleos rojos de alta recuperación de calcopirita, poseen en la alimentación concentraciones elevadas de partículas completamente libre, comparadas con las zonas de baja recuperación. Esto indica, que ingresar al sistema más partículas libres, tiene un impacto directo en la recuperación mineral (Figura 7.1-a.). Las pérdidas de las muestras con recuperación mineral baja, siempre están por encima de las altas recuperaciones, inclusive en las partículas libres, a pesar de haber ingresado menos cantidad (Figura 7.1-b.). En consecuencia, existe otro parámetro (tamaño) que está favoreciendo el proceso de flotación. En la alimentación, existe una mayor concentración de partículas ocluidas para las muestras de baja recuperación, provocando una mayor pérdida en las colas.

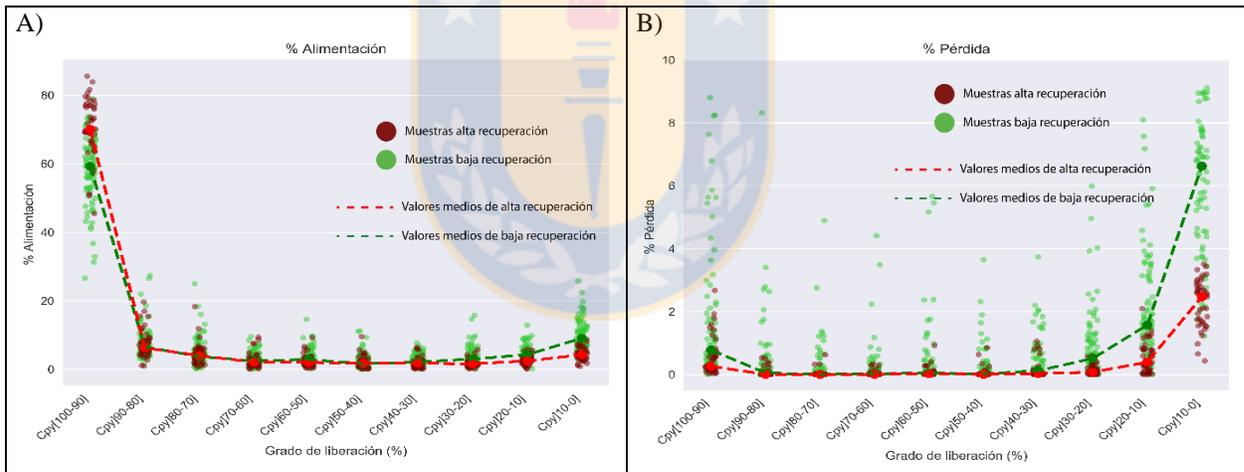


Figura 7.1: Diagrama de líneas comparativas entre recuperaciones altas y bajas de calcopirita por grado de liberación. A) % alimentación de rangos de liberación. B) % Pérdida en rangos de liberación, con respecto al total de alimentación.

La asociación mineral en las zonas de baja recuperación tiene una concentración elevada de partículas complejas, silicatos duros con filosilicatos y silicatos en la alimentación (Figura 7.2-a.). Lo anterior, genera una correlación directa con la concentración registrada en las colas en estas mismas fases minerales, implicando que a mayor contenido de estas partículas asociadas a calcopirita, se generarán mayores pérdidas en el proceso de flotación (Figura 7.2-b.). El resto de los minerales, no ejercen un efecto negativo relevante. La composición mineralógica de las

partículas complejas corresponde esencialmente a silicatos duros (cuarzo, feldespato K) y filosilicatos (muscovita-sericita, biotita y clorita), por lo que estas fases, finalmente están interfiriendo a la recuperación de especies (Figura 7.3.).

Al observar los granos de las zonas de alta recuperación y las de baja, se distingue una diferencia en los tamaños de alimentación, siendo mayores en la primera. Las fracciones de calcopirita de la cabeza también son más grandes, llegando a los 100-150 μm , las cuales son recuperadas a pesar de estar asociadas a partículas complejas. Las colas de las zonas de alta recuperación se concentran partículas bajo los 25 μm , constatando que dichas calcopiritas tienen bajo potencial de ser recuperadas, aun así estuvieran liberadas. Tanto en la cabeza, como en los relaves de las zonas de baja recuperación, las partículas de calcopirita son muy pequeñas (<12 μm), teniendo como resultado una muy baja probabilidad de ser recuperadas, al igual que en las zonas de alta. Como consecuencia de esto, si bien la asociación mineral con partículas complejas no permite recuperar partículas de calcopirita, si estas estuvieran liberadas tampoco serían recuperadas, por ser de tamaños muy finos, sugiriendo que la ponderación del parámetro de tamaño tiene una mayor influencia.

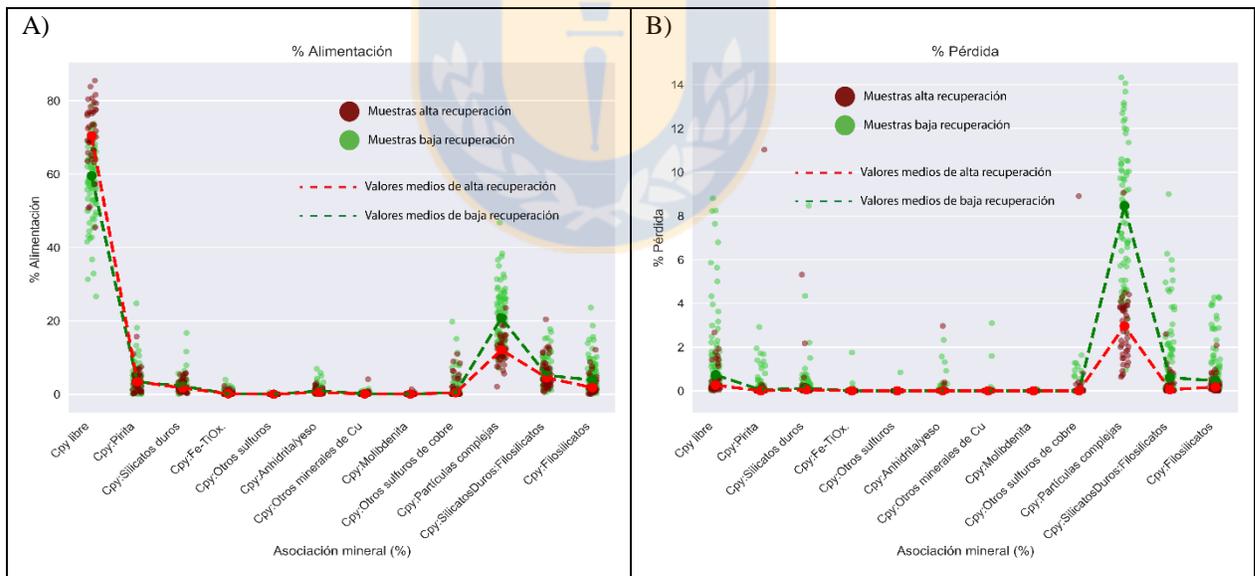


Figura 7.2: Diagrama de líneas comparativas entre las recuperaciones altas y bajas de calcopirita por asociación mineral. A) % alimentación de minerales de asociación. B) % Pérdida en minerales de asociación, con respecto al total de alimentación.

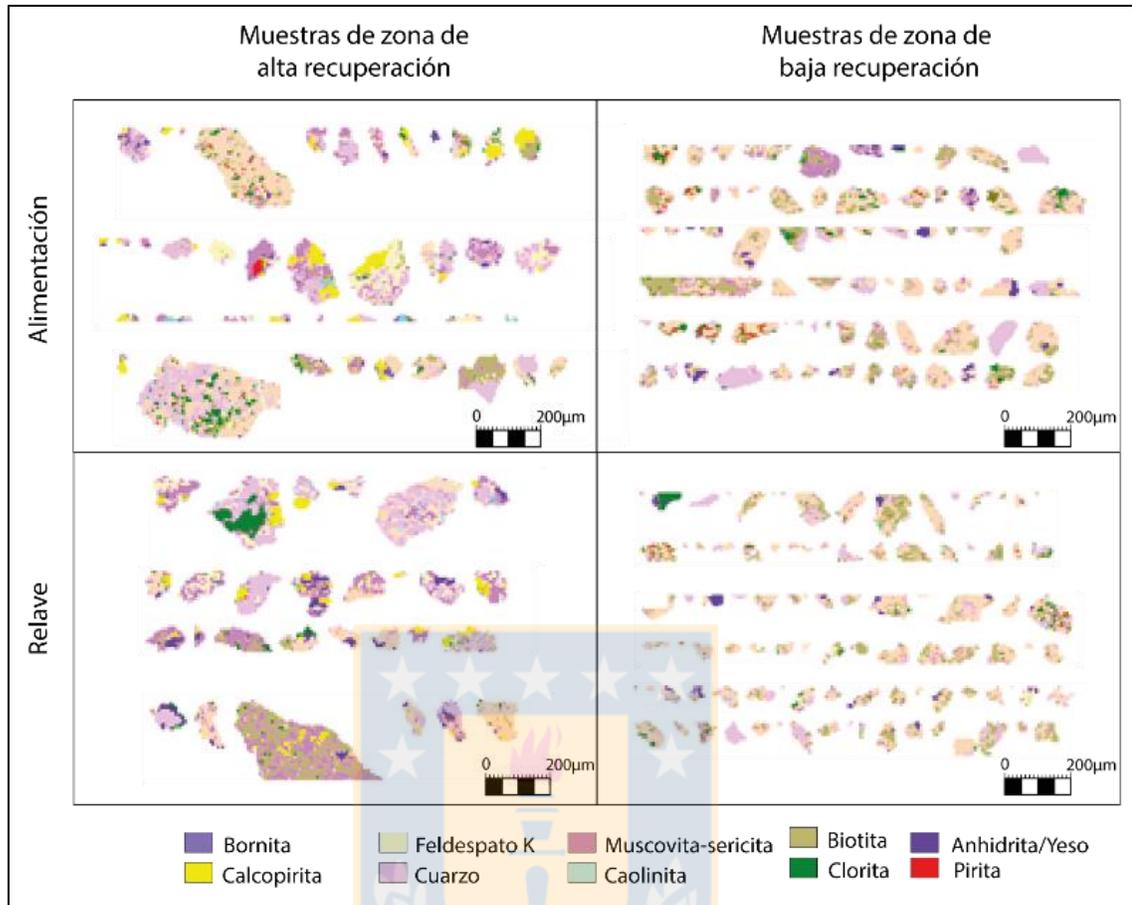


Figura 7.3: Imágenes QEMSCAN® de asociación mineral de calcopirita con partículas complejas para zonas de alta y baja recuperación.

Los gráficos de la Figura 7.4., permiten discernir que las pérdidas por tamaño se hacen muy relevantes en las zonas de baja recuperación, existiendo una gran brecha, comparada con la zona de alta. Las concentraciones en las colas de los tamaños menores a $38\ \mu\text{m}$ se incrementan notoriamente en ambos sectores, revelando que son los rangos de recuperación menos destacados. Sobre los $53\ \mu\text{m}$ ($[53-75[\mu\text{m})$) correspondería al rango óptimo y más eficiente de recuperación por tener las pérdidas más bajas. Por su parte, el intervalo de $[53-38] \mu\text{m}$, posee pérdidas muy bajas, por haber ingresado en baja proporción en la alimentación, explicando los quiebres negativos observados en la mayoría de los sectores de la DET. Sin embargo, existe un claro quiebre de recuperación en el tamaño de $38\ \mu\text{m}$, en donde, sobre este valor la obtención de calcopirita se vuelve favorable, a diferencia de las partículas que se hayan por debajo de este valor.

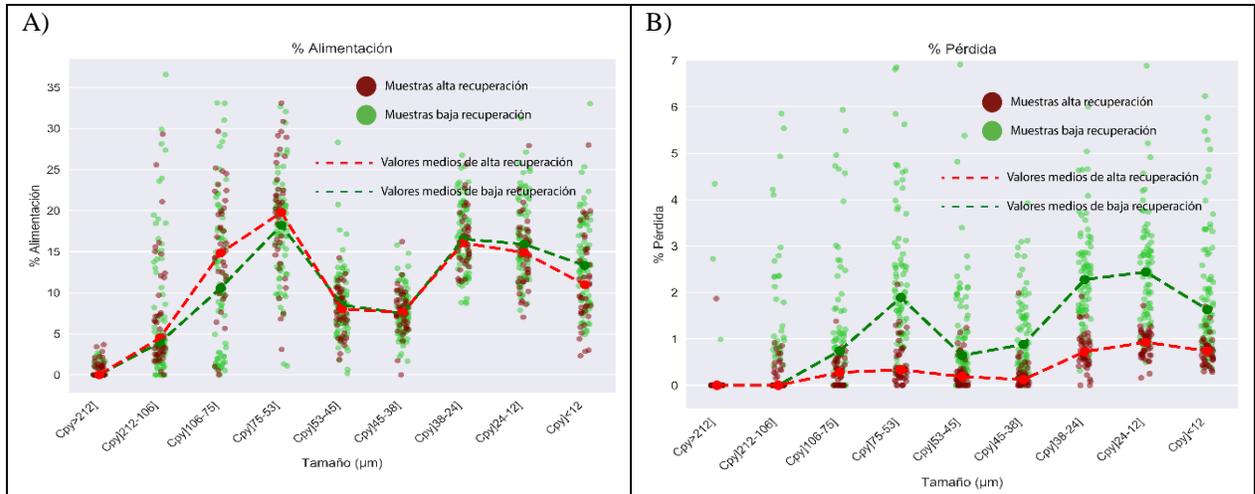


Figura 7.4: Diagrama de líneas comparativas entre las recuperaciones altas y bajas de calcopirita por tamaño.

A) % alimentación por tamaño. B) % Pérdida por tamaño con respecto al total de alimentación.

Como resultado de lo anteriormente señalado, los parámetros óptimos para alcanzar una potencial alta recuperación de calcopirita para los casos estudiados, incluyendo la tendencia de la mayoría de los sectores productivos/proyectos de la División El Teniente, se resumen en la Figura 7.5. Además, se agregan los intervalos que generan las mayores pérdidas, las cuales producen las bajas recuperaciones reportadas previamente.

Las partículas del mineral de interés, con grados de liberación sobre un el 80% sería el intervalo predilecto por poseer el quiebre más representativo, aunque sobre el 60%, en general las pérdidas son muy bajas (Figura 7.5-a). En la mayoría de los sectores, las partículas completamente ocluidas, poseen cierta recuperación, y específicamente el proyecto Extensión Sur Esmeralda se acentúa levemente este caso. Lo anterior se produce cuando granos de calcopirita se encuentran asociados a otros sulfuros de cobre como tetraedrita-tennantita (Microfotografía 7.1-a) o asociado a una partícula compleja cuyos minerales tienen otros sulfuros parcialmente liberados, cuya lateralidad permiten flotar el grano entero (Fotomicrografía 7.1-b, c, d).

Las asociaciones de calcopirita con otras fases minerales no ejercen un impacto negativo al momento de recuperarlas o perderlas, excepto las que están con otras partículas complejas (Figura 7.5-b.). No obstante, como se observó en la Figura 7.3., estas, inevitablemente tendrían un potencial bajo de recuperación si estuvieran libres, por poseer tamaños muy pequeños. Al observar la tendencia de la mayoría de los sectores, sigue habiendo recuperaciones bajo los 38 µm y en algunos casos como Recursos Norte o Extensión Sur Esmeralda, incluso sobrepasan las recuperaciones de tamaños superiores. Estos casos estarían relacionados, ya sean por calcopiritas libres muy finas

(Fotomicrografía 7.2-a) o por calcopiritas que se encuentran ocluidas en fases minerales de otros sulfuros de cobre (bornita o tetraedrita-tennantita), que favorecen la flotación de esta fracción (Fotomicrografía 7.1-b, c, d). Sin embargo, si estuviesen de otra forma su potencial de recuperación es casi nulo y es por esto que el tamaño con mayor probabilidad de ser recuperado es sobre los $38\mu\text{m}$ ([212-38] μm) (Figura 7.5-c.).

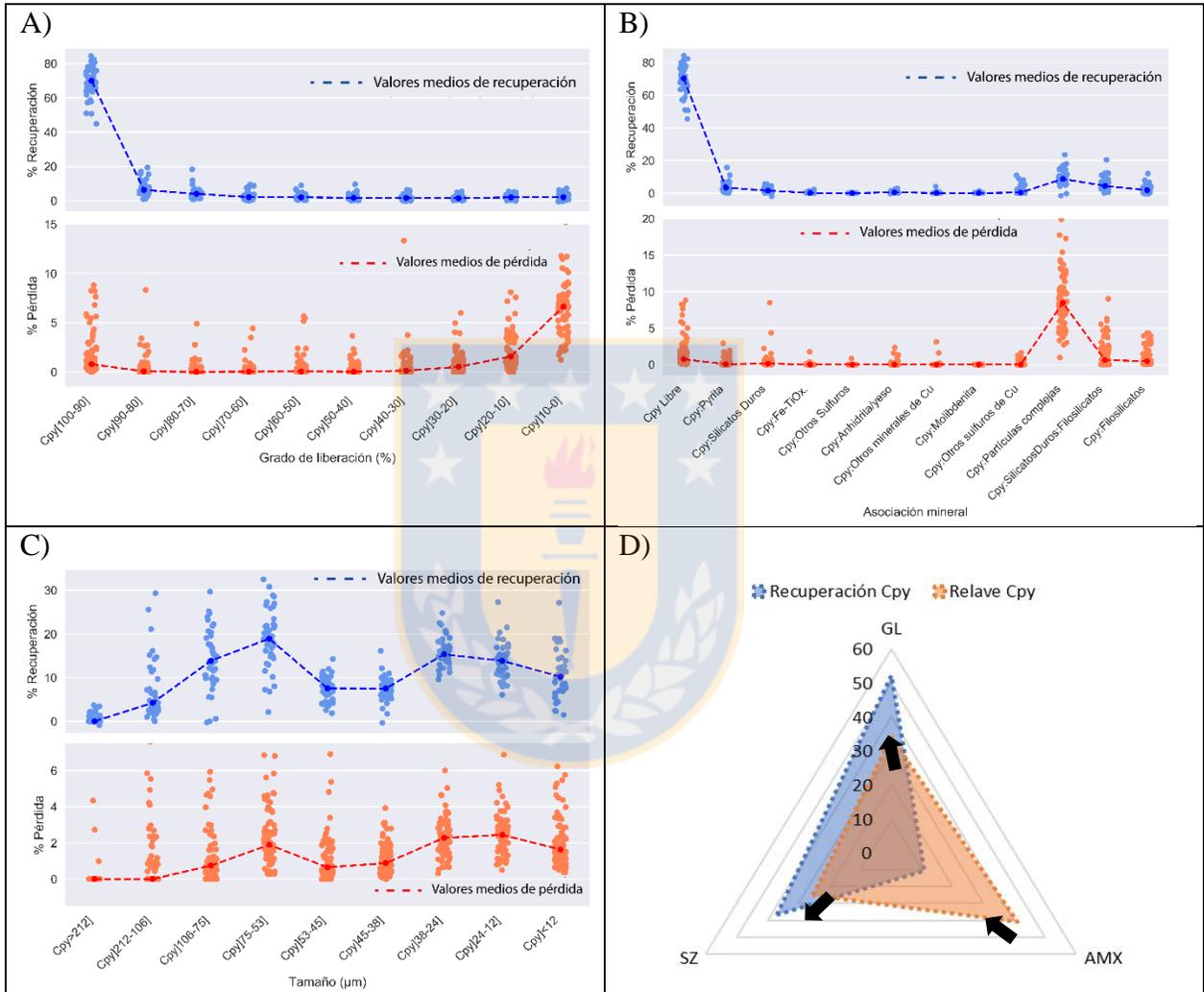
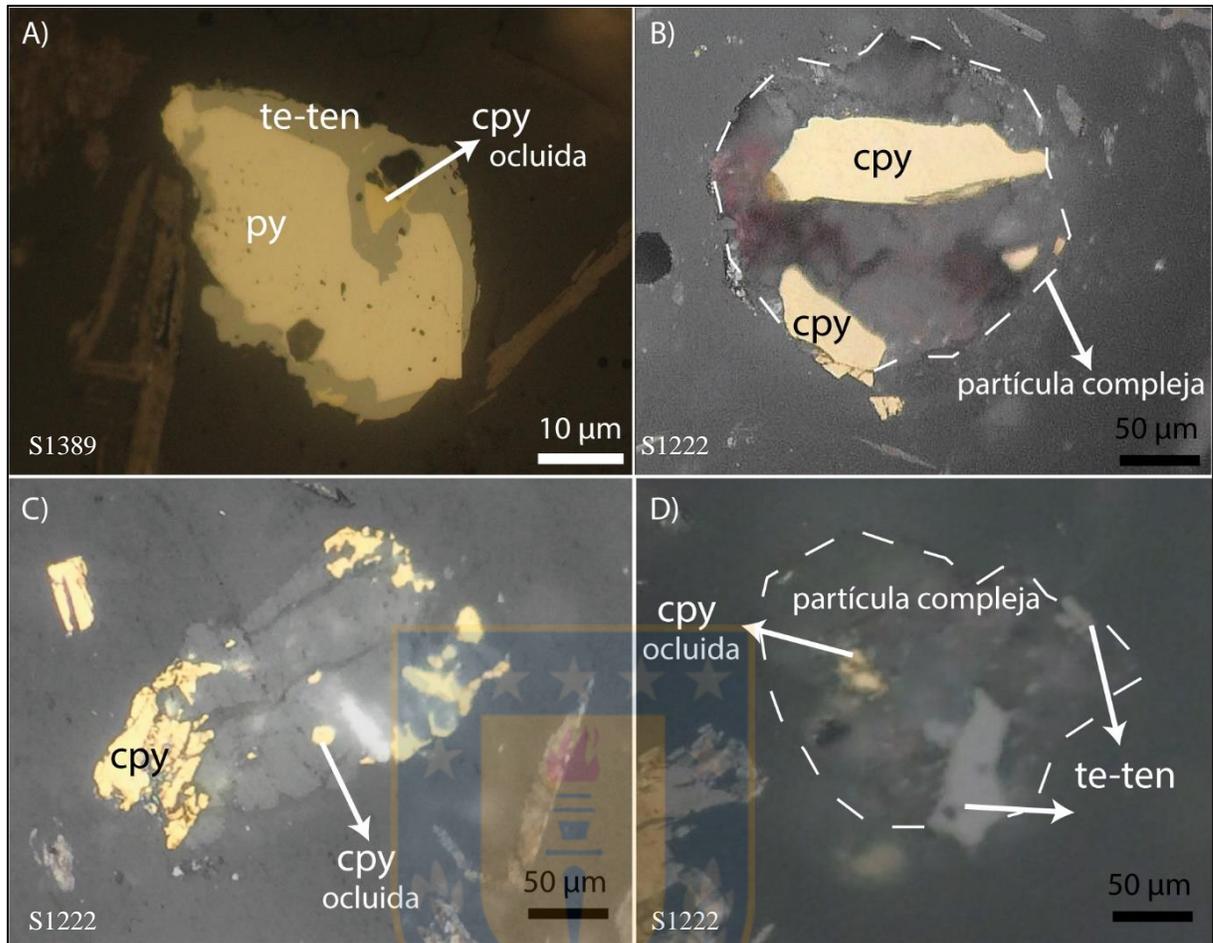


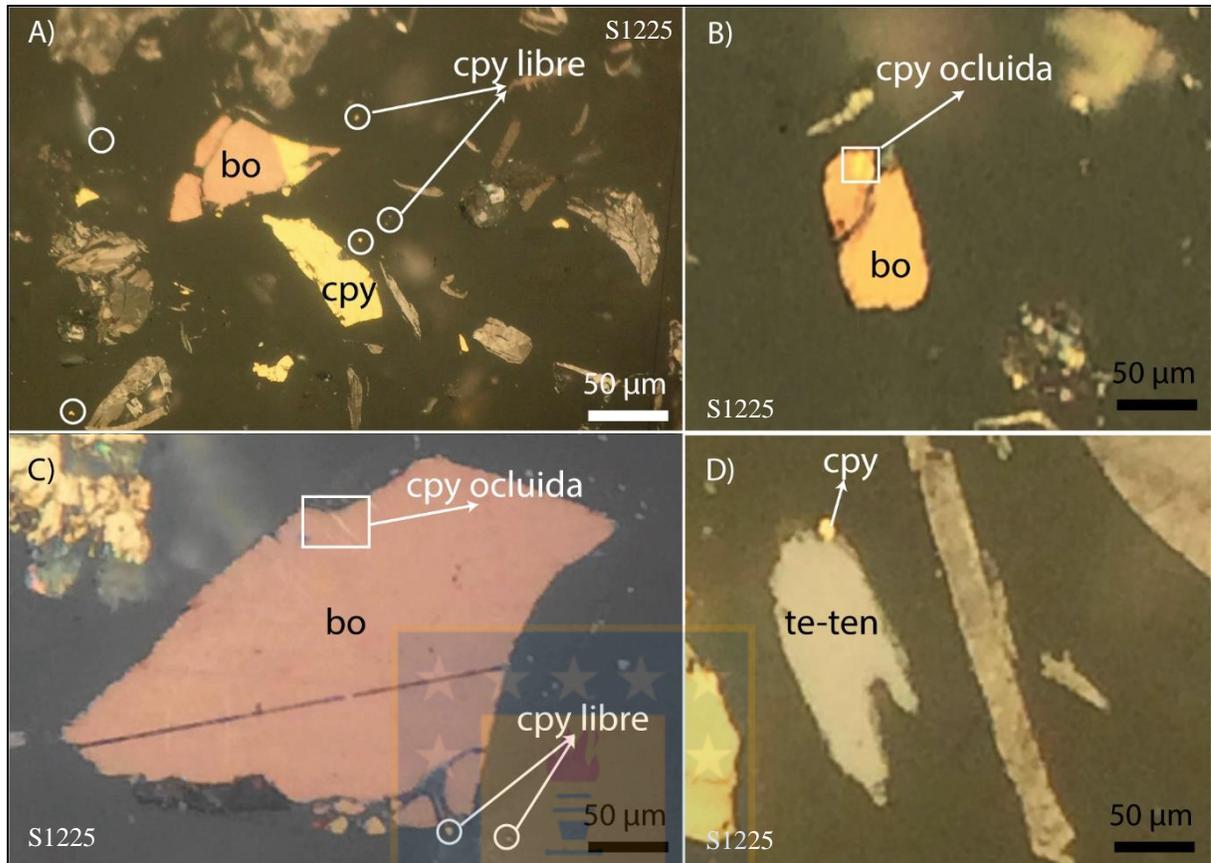
Figura 7.5: Diagramas resumen de parámetros con mayor potencial de recuperación y pérdidas de calcopirita.

A) Grado de liberación de calcopirita. B) Asociación mineral de calcopirita. C) Tamaño de calcopirita.

D) Influencia de parámetros en la recuperación y pérdida.



Fotomicrografía 7.1: Ejemplos de altas recuperaciones de calcopirita ocluida en muestras de concentrado *rougher*. A) Calcopirita (cpy) ocluida en tetraedrita-tennantita (te-ten) y en pirita (py). B) Granos de calcopirita (cpy) ocluidos y parcialmente ocluidos en una partícula compleja. C) Granos de calcopirita (cpy) ocluidos en una partícula con granos de calcopirita parcialmente liberados. D) Grano de calcopirita ocluida en una partícula compleja junto con una tetraedrita-tennantita (te-ten) parcialmente liberada.



Fotomicrografía 7.2: Ejemplos de altas recuperaciones de calcopirita fina en muestra de concentrado *rougher*. A) Calcopiritas (cpy) libres de tamaños muy finos. B) Calcopirita (cpy) fina ocluida en bornita (bo). C) Inclusión de calcopirita (cpy) en bornita (bo). D) Grano de calcopirita parcialmente liberado en tetradrita-tennantita.

Como consecuencia de lo anterior, los parámetros que aportan una mayor cantidad de calcopirita en la recuperación son el grado de liberación y el tamaño, mientras que la asociación mineral por ser solamente las partículas complejas las cuales aportan, obtiene una menor influencia (Figura 7.5-d.). Para las partículas que se van en los relaves, si bien la asociación mineral, expresa la mayor influencia, el verdadero parámetro que ejerce pérdida es el tamaño, debido a que como se mencionó anteriormente, las partículas ocluidas en estas fases tampoco se recuperarían por tamaño. Lo anterior genera que el área del triángulo de pérdidas se modifique y se reduzca en el vértice de asociación mineral y crezca en los otros (flechas negras). Además, una porción considerable de las partículas libres se pierde en los relaves por este mismo problema, y casi en todos los rangos se producen pérdidas asociadas a esta variable. En segundo lugar, pero casi en una misma proporción sería el grado de liberación y para finalizar la asociación mineral.

Las partículas libres de bornita en la alimentación, hacen la diferencia en términos de recuperación al entrar más cantidad en la cabeza (Figura 7.6-a.). Al igual que la calcopirita, las zonas de baja recuperación poseen una mayor pérdida, tanto en las partículas libres como ocluidas, mostrando que el tamaño es un factor decisivo, al menos para el rango >90% de liberación (Figura 7.6-b.). Las zonas de alta recuperación revelan que las pérdidas de bornita son prácticamente ceros, contrariamente a las zonas de baja recuperación, las cuales se elevan sobre un 7% con respecto al total que ingresó. Lo anterior constata que las partículas ocluidas obtenidas deben estar asociadas a una fase mineral que haya permitido tenerlas en los concentrados.

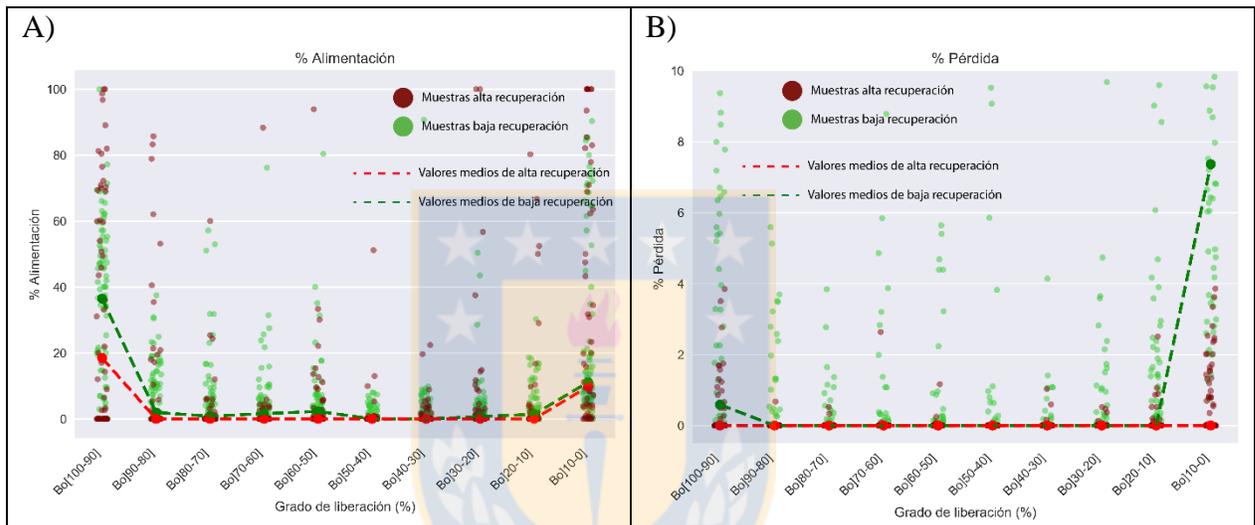


Figura 7.6: Diagrama de líneas comparativas entre las recuperaciones altas y bajas de bornita por grado de liberación. A) % alimentación de rangos de liberación. B) % Pérdida en rangos de liberación, con respecto al total de alimentación.

Al observar la Figura 7.7-a., se puede determinar que las partículas asociadas a otros sulfuros de cobre se recuperan completamente, no observándose en los relaves. Lo anterior sugiere que las bornitas ocluidas y recuperadas, mencionadas anteriormente, podrían estar asociadas a sulfuros como calcopirita, enargita-tennantita, calcosina o covelina-digenita, ilustrando que, en un proceso de flotación, las fases de cobre se potencian y se recuperan conjuntamente. Por otra parte, las partículas complejas afectan en gran medida en las concentraciones de las colas, específicamente para las zonas de baja recuperación, generando las únicas pérdidas (Figura 7.7-b.).

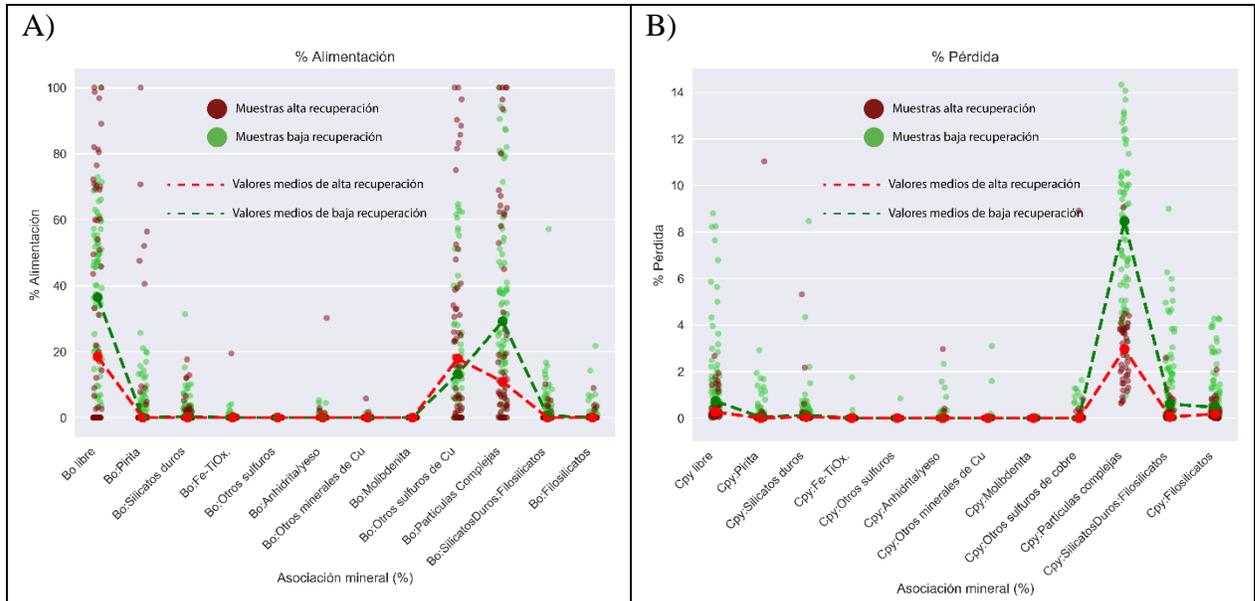


Figura 7.7: Diagrama de líneas comparativas entre las recuperaciones altas y bajas de calcopirita por asociación mineral. A) % alimentación de minerales de asociación. B) % Pérdida en minerales de asociación, con respecto al total de alimentación.

Con la Figura 7.8., se aprecia que las figuras complejas se componen también de silicatos duros (cuarzo y feldespato-K) y filosilicatos, pero en este caso en particular predomina la muscovita-sericita. Las bornitas de las muestras de las zonas de alta recuperación, asociadas a partículas complejas, son de tamaños muy finos ($<12 \mu\text{m}$), tanto en la alimentación (flechas negras, Figura 7.8.), como en el relave, la única diferencia es que las bornitas que se encuentran en las colas están en su mayoría ocluidas, mientras que las que se recuperaron se encontraban parcialmente liberadas. La pirita no ejerce un efecto negativo en el proceso, dado que no se encuentran en los relaves. La zona de baja recuperación, expone que efectivamente las bornitas ocluidas son las que se concentran en los relaves, asociadas a partículas complejas que se componen, gran parte por muscovita-sericita y cuarzo. Para la mayoría de los granos con algún sulfuro de cobre posicionado en los bordes fueron recuperados, indicando nuevamente que las fases sulfuradas de cobre, si están parcialmente liberadas, favorecen la recuperación permitiendo que el grano flote.

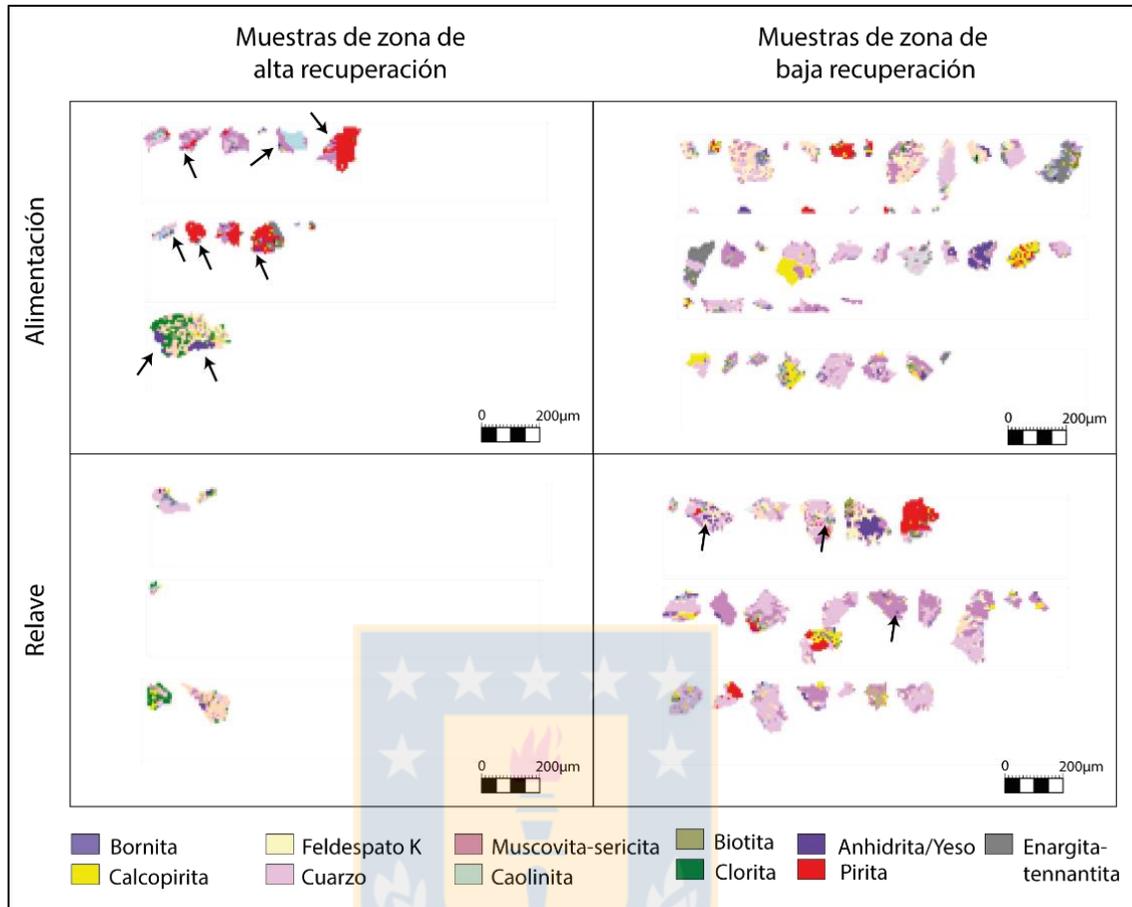


Figura 7.8: Imágenes QEMSCAN® de asociación mineral de bornita con partículas complejas para zonas de alta y baja recuperación. Flechas negras indican presencia de bornita de manera notoria.

Las concentraciones de alimentación en las zonas de baja recuperación, comienzan a ocurrir bajo los 45 μm , en cambio, las zonas de alta inician bajo los 38 μm , concentrándose en las fracciones muy finas (<12 μm), incluso por sobre los núcleos de baja (Figura 7.9-a.). Pese a lo anteriormente descrito, las únicas pérdidas se producen bajo los 38 μm , correspondiendo solo en las zonas de baja recuperación (Figura 7.9-b.). Para que ocurra este fenómeno, en que las zonas de alta recuperación no hayan tenido pérdidas notorias, necesariamente el único factor radicaría en mayores concentraciones de otros sulfuros de cobre en dichas porciones, haciendo que tanto las partículas ocluidas, como las que se encuentran asociadas se recuperen. Asimismo, las partículas muy finas y libres, no implicaría un evento negativo en la recuperación, porque la mayoría se encuentran en los concentrados, interpretándose que las pérdidas podrían ser simplemente por arrastre.

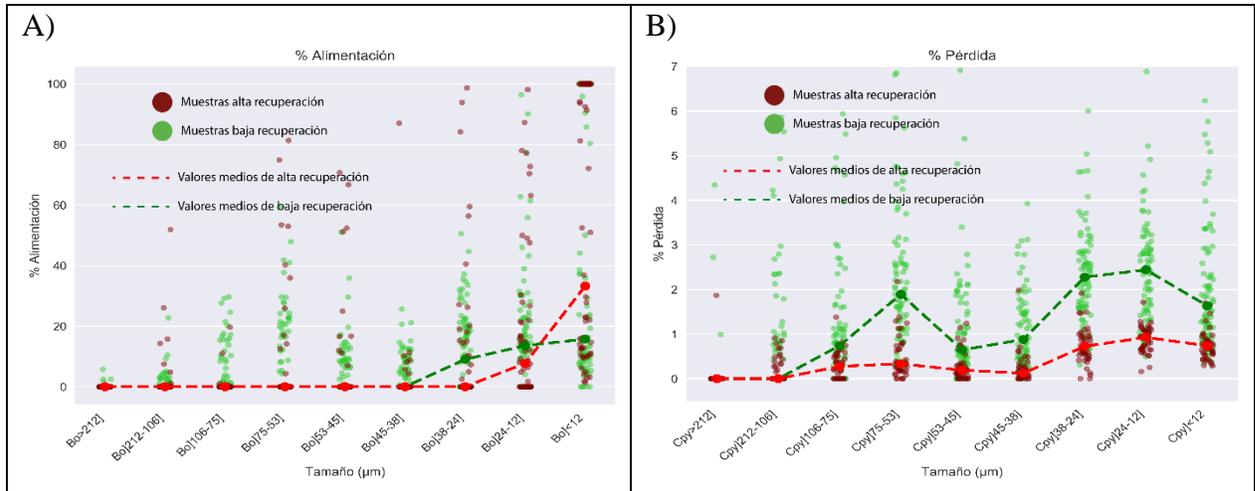


Figura 7.9. Diagrama de líneas comparativas entre las recuperaciones altas y bajas de bornita por tamaño. A) % alimentación por tamaño. B) % Pérdida por tamaño con respecto al total de alimentación.

La Figura 7.10., corresponde a un resumen de los parámetros óptimos de recuperación y posibles pérdidas que generan las bajas recuperaciones en el yacimiento para la fase mineral de bornita.

Los intervalos con un mayor potencial de recuperación para la bornita, son partículas con grado de liberación sobre el 80% (Figura 7.10-a), aunque existe un porcentaje considerable de bornitas ocluidas que se recuperan. Éstas están asociadas a otros sulfuros de cobre, las cuales favorecen el proceso. La Fotomicrografía 7.3-a revela que parte de las lecturas (QEMSCAN®) en este grado de liberación, son por asociaciones de reemplazo de calcosina en bornita, dejando relictos ocluidos o por bornitas que se encuentran rodeadas de calcopirita en una textura de intercrecimiento (Fotomicrografía 7.3-b, c). Otro porcentaje se debe a partículas complejas que poseen algún sulfuro de cobre parcialmente liberado que permite la flotación del grano entero (Fotomicrografía 7.3-d). Esta tendencia ocurre en gran parte de los sectores/proyectos como RENO, Andesita, Recursos Norte, Esmeralda, Extensión Sur Esmeralda y Diablo Regimiento.

El análisis de la asociación mineral (Figura 7.10-b) ratifica que las asociaciones con otros sulfuros de cobre no generan pérdidas, no así las partículas complejas, que a pesar que se recuperan, producen más pérdidas que ganancia mineral. Las principales asociaciones de la bornita son con calcopirita (Fotomicrografía 7.4-a) y con covelina-calcosina (Fotomicrografía 7.4-b, c), mientras que para la calcopirita es con bornita y tetraedrita-tennantita (Fotomicrografía 7.4-d).

El tamaño con mayor probabilidad de recuperación es bajo los 38 µm (Figura 7.10-c). Esto se produce porque gran parte de las bornitas, ingresan solo en esas fracciones, pero de igual forma,

se pierden casi en la misma proporción. Muestras de concentrado constatan que estas partículas se encuentran en estado libre (Fotomicrografía 7.5-a) o asociadas a partículas complejas, que al igual que en casos anteriores, flotan gracias a otras fases minerales parcialmente liberadas (Fotomicrografía 7.5-b).

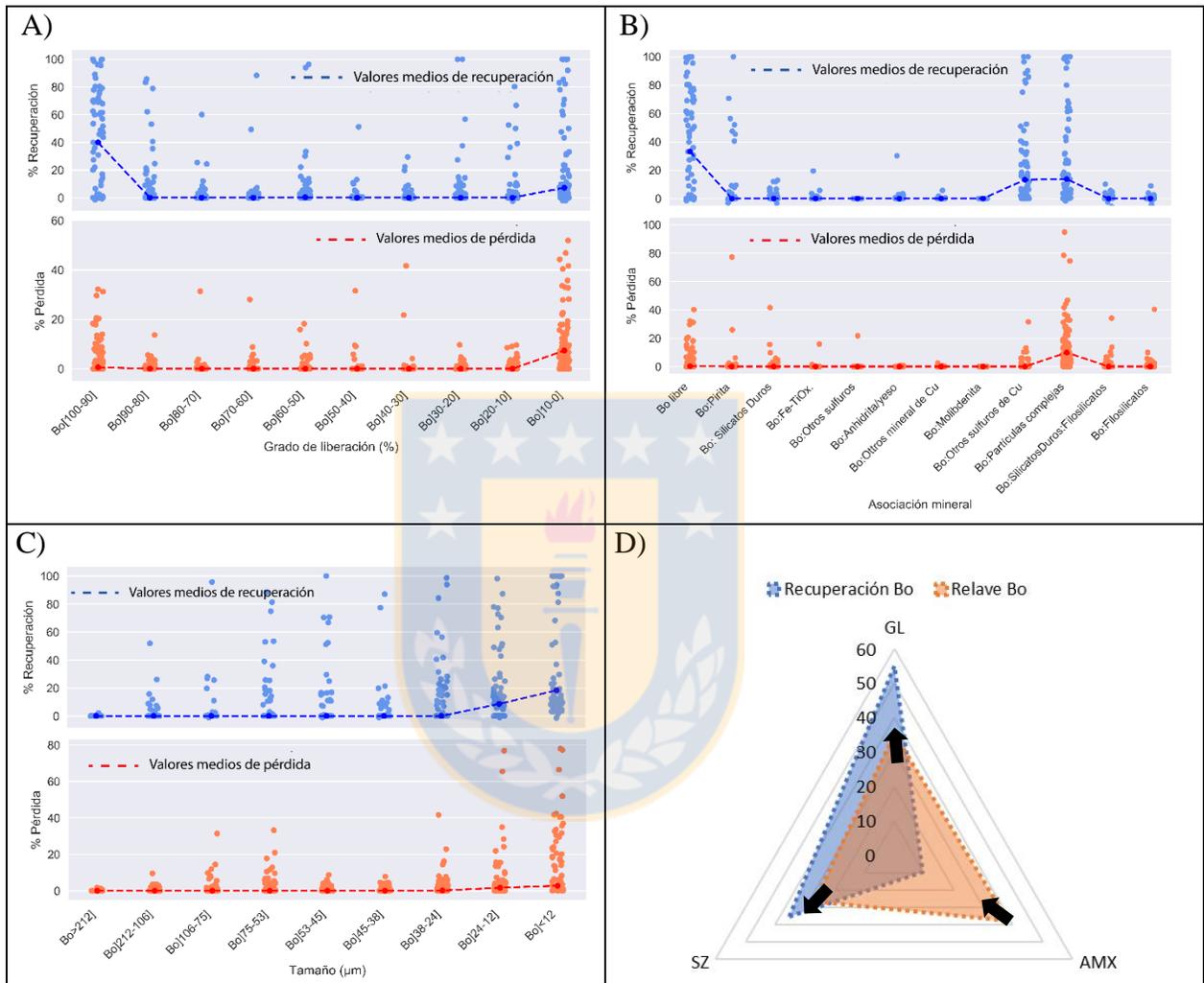
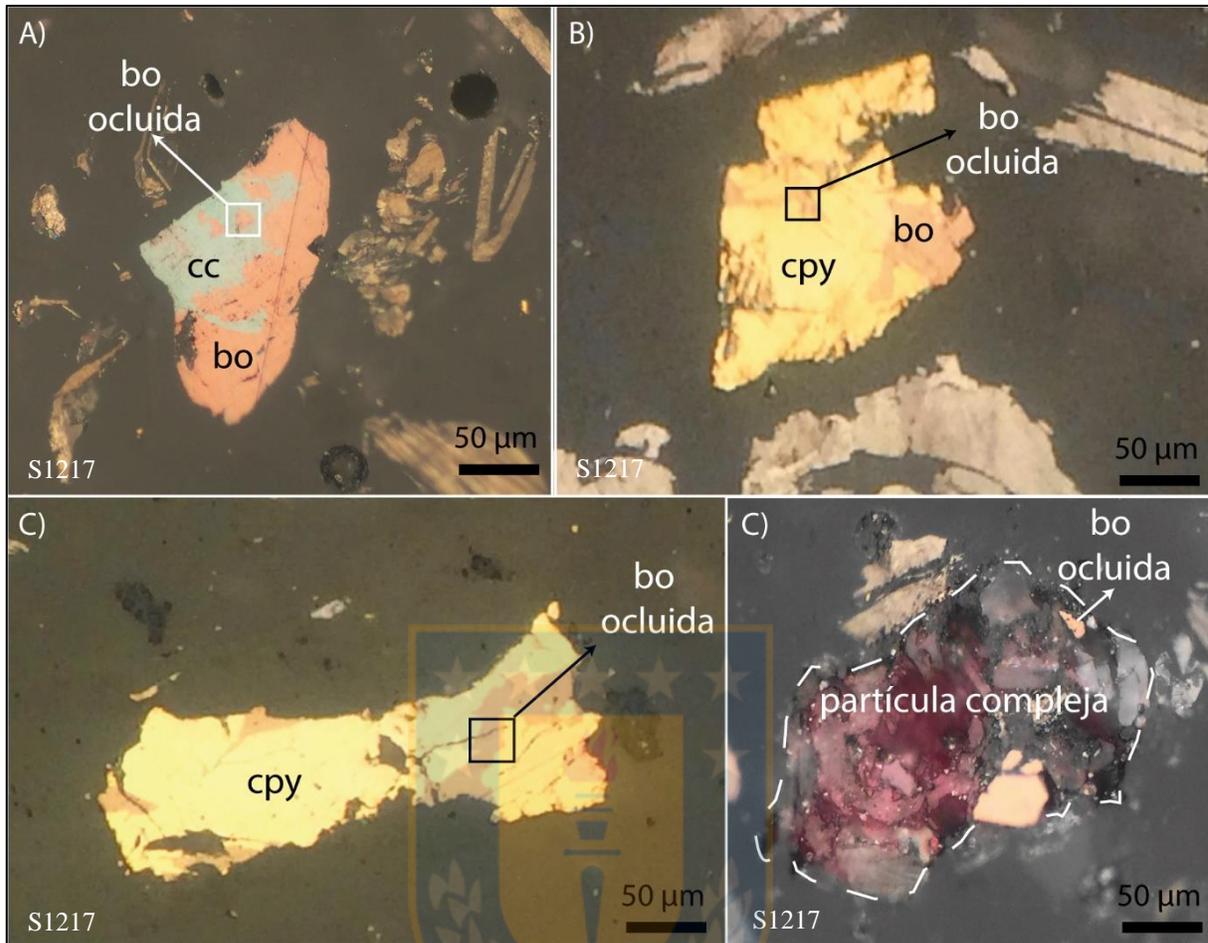
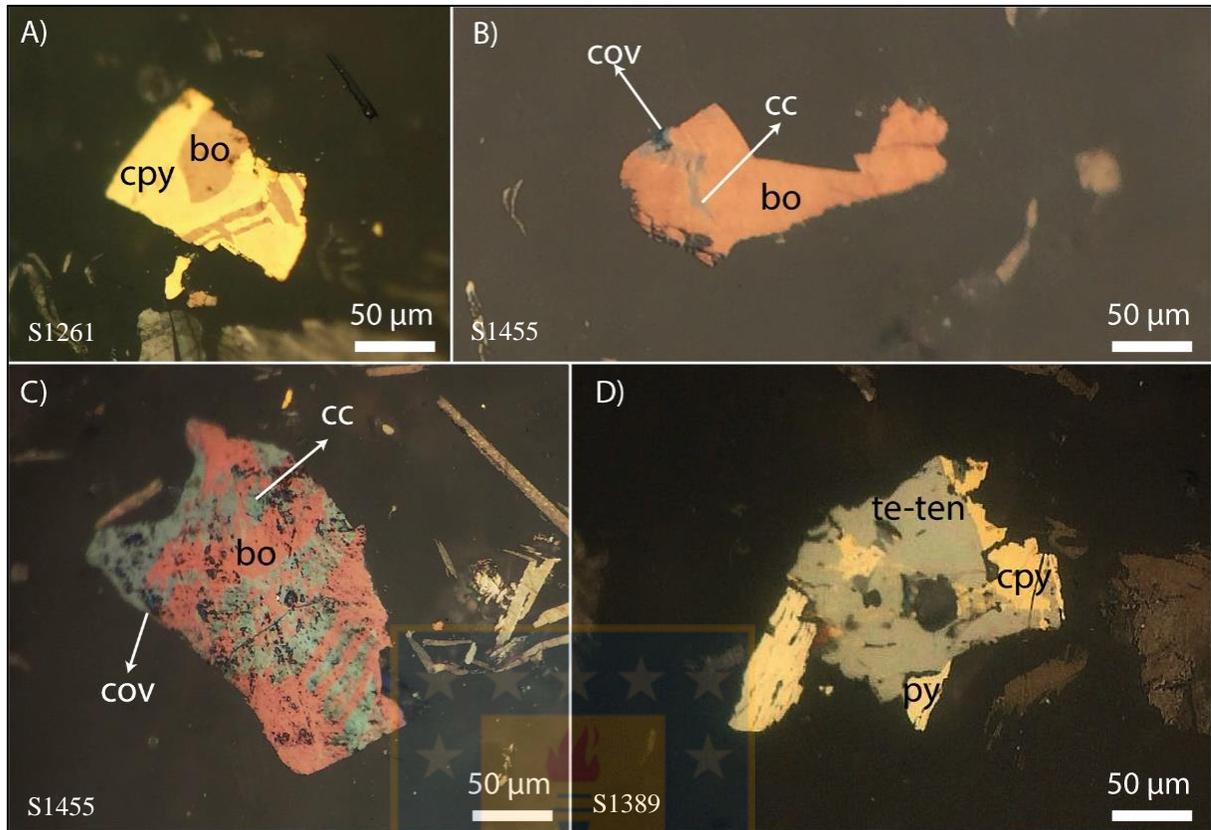


Figura 7.10: Diagramas resumen de parámetros con mayor potencial de recuperación y pérdidas de bornita.

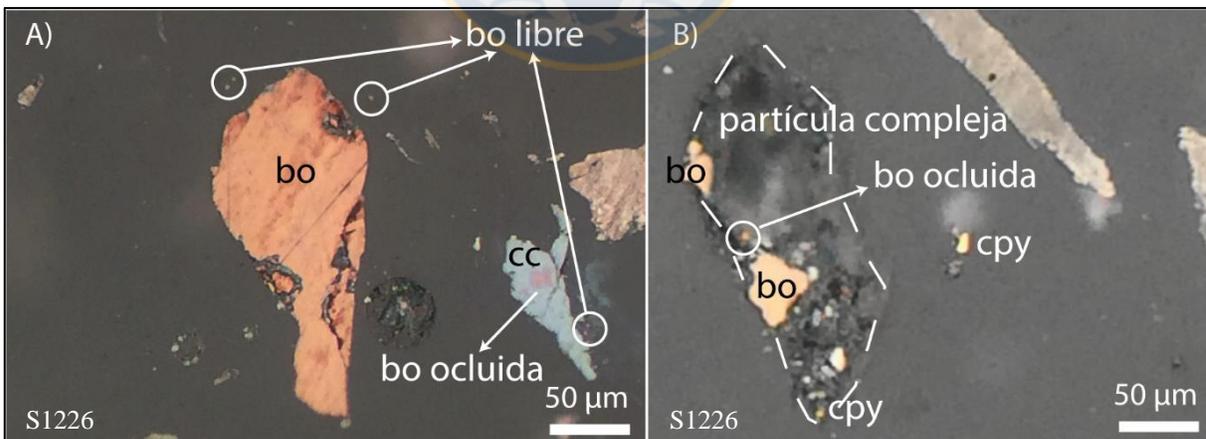
A) Grado de liberación de bornita. B) Asociación mineral de bornita. C) Tamaño de bornita. D) Influencia de parámetros en la recuperación y pérdida.



Fotomicrografía 7.3: Ejemplos de altas recuperaciones de bornita ocluida en muestra de concentrado *rougher*. A) Bornita (bo) ocluida en calcosina (cc). B) Granos de bornita (bo) ocluidos y parcialmente ocluidos en calcopirita (cpy). C) Bornita (bo) ocluida en una partícula de calcopirita (cpy). D) Grano de bornita ocluido en una partícula compleja junto otra partícula de bornita parcialmente liberada.



Fotomicrografía 7.4: Asociaciones con otros sulfuros de cobre en muestras de concentrado *rougher*. A) Bornita (bo) con calcopirita (cpy). B) y C) Bornita (bo) con calcosina (cc) y covelina (cov). D) Calcopirita con tetraedrita-tennantita (te-ten) y pirita (py).

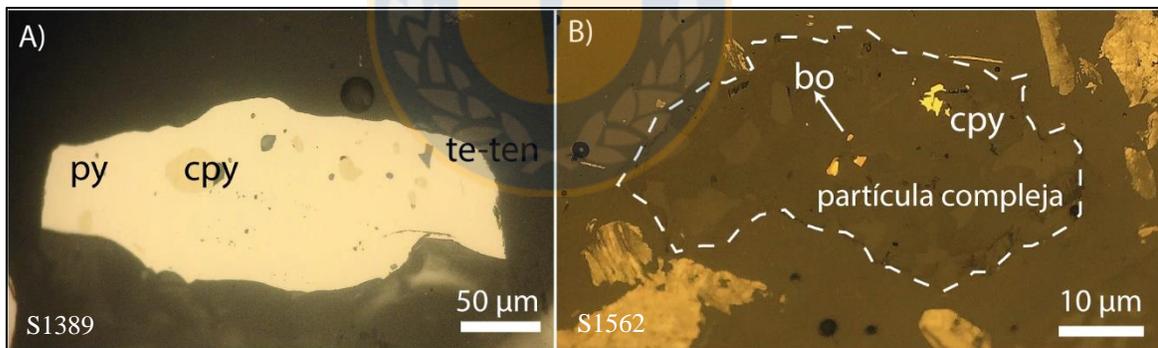


Fotomicrografía 7.5: Ejemplos de altas recuperaciones de bornita fina en muestra de concentrado *rougher*. A) Bornita (bo) libres de tamaños muy finos y bornita ocluida en calcosina (cc). B) Bornita (cpy) fina ocluida en partícula compleja.

Es por esto, que los parámetros más influyentes en la recuperación al igual que la calcopirita, son el grado de liberación y el tamaño (Figura 7.10-d). Si una partícula de bornita está

parcialmente ocluida, la única posibilidad de ser recuperada es por la asociación mineral con otro sulfuro de cobre (ej. calcopirita), mientras que si son de tamaños muy finos ($<12\ \mu\text{m}$), pero libres, igual se van al relave, y solo una baja proporción se recuperan, posiblemente por arrastre. De forma contraria, en las pérdidas el parámetro más influyente arroja que es la asociación mineral, sin embargo, esto es ocasionado por las partículas complejas, representando simplemente que la partícula de interés está ocluida y de tamaño muy fino como para ser recuperada, por lo que el grado de liberación y el tamaño son los decisivos e influyentes en las pérdidas. Lo anterior se ilustra con las flechas negras, donde el triángulo de influencia se reducirá en la variable asociación mineral y crecería en los otros (Figura 7.10-d).

En general, tanto para la bornita como para la calcopirita, el tipo de pérdida son las mismas. Muestras de relave comprueban que las partículas de interés se encuentran completamente ocluidas, ya sean en fases minerales (ej. pirita) (Fotomicrografía 7.6-a) o en partículas complejas (Fotomicrografía 7.6-b). Además, partículas finas liberadas también son identificadas en relaves. Lo anterior, se produce por un mecanismo de arrastre, que puede deberse a múltiples factores como burbujas con tamaños muy grandes que no permiten adherir partículas de interés de esta fracción (baja área superficial) y/o turbulencias en la pulpa, entre otras situaciones metalúrgicas.



Fotomicrografía 7.6: Ejemplos de pérdidas en muestras de relave. A) Calcopirita (cpy) y tetraedrita-tennantita (te-ten) ocluidas en pirita (py). B) Bornita (bo) y calcopirita (cpy) ocluidas en una partícula compleja.

Los volúmenes rojos de alta recuperación de calcopirita, ubicados principalmente en los sectores Dacita y Diamante, al compararlos con la litología, constatan cierta correlación con los intrusivos porfídicos como el PDA y el PDI respectivamente. De igual forma, la ausencia de las alteraciones HP-alta y HT-alta están correlacionadas con los núcleos de alta recuperación. El gráfico de la Figura 7.11., precisamente exhibe que las muestras que poseen una alta recuperación de calcopirita están relacionadas a una alta proporción de alteración TM, es decir, una ausencia de

eventos más tardíos como HP y HT, corroborando el modelo espacial anteriormente propuesto. En efecto, la mineralogía y ocurrencia aportada por los eventos de alteración más tardíos provocarían deficiencias en la recuperación, probablemente por aportar mayores minerales del grupo de filosilicatos (comparado con otras alteraciones), como muscovita-sericita, tamaños más finos y/o estilos de mineralización diferentes. Zúñiga (2018) en su memoria de título, realiza un estudio el cual relaciona la molibdenita tardímagmática con mejores recuperaciones comparadas con molibdenitas del evento hidrotermal tardío, entregando un antecedente importante en los controles de recuperación asociado a la alteración hidrotermal. La sugerencia propuesta en el presente escrito, necesita más estudios que ratifiquen lo estipulado, debido a que los controles de tamaño en la mineralogía metálica de cobre, asociado a un tipo de alteración, u ocurrencias diseminadas o en vetillas que generen dominios en el yacimiento, no se pueden constatar con los estudios de briquetas geometalúrgicas, por haber pasado por un proceso de conminución y selección previa.

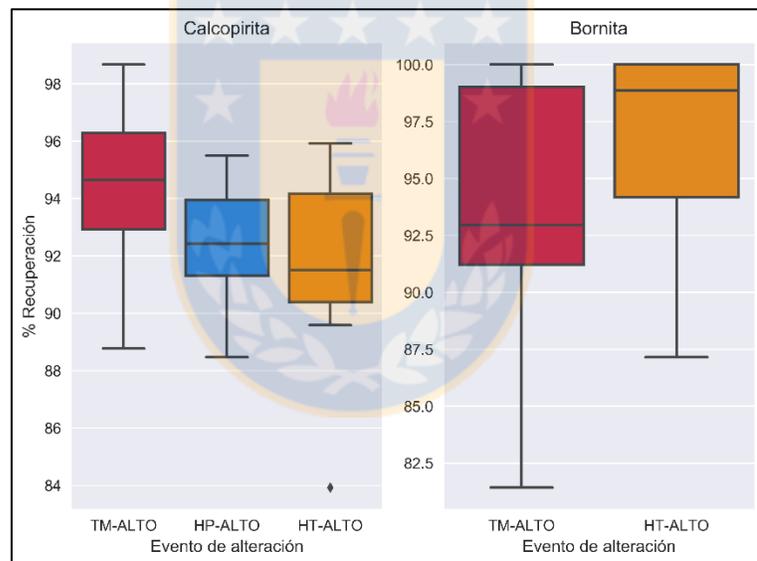


Figura 7.11: Recuperaciones de calcopirita y bornita versus alteraciones.

Por su parte, los núcleos de alta recuperación de bornita, estarían asociados al CMET, con una distribución en torno a la Brecha Braden y con una cierta estratificación de mayor profundidad a mayor recuperación. Con base a la misma forma, la alteración HT (Figura 7.11.) tendría una relación más estrecha por coincidir espacialmente y estar relacionada con la mayor mineralización de bornita en el yacimiento. Este aporte abundante de bornita, producto del último evento hidrotermal se desarrolló por los fluidos hidrotermales asociados al emplazamiento de la BB,

explicando la relación espacial y mayor cantidad de bornita en las cabezas de las muestras estudiadas. Sin embargo, este evento también aportó una gran cantidad de sericita-muscovita, lo que disminuyó de cierta forma las recuperaciones de calcopirita. La alteración HP no fue considerada, por no ser un evento aportador de bornita. La bornita ingresa al proceso de flotación principalmente como fracciones muy finas y libres, por lo que las asociaciones minerales no ejercen un efecto tan importante para esta fase y por ende la mineralogía aportada por las alteraciones tardías no afectarían de forma negativa. Los tamaños finos de bornita podrían relacionarse justamente para la alteración HT, aunque al igual que con la calcopirita, se necesitan estudios posteriores que corroboren dicha relación.

El quiebre en los rangos de [45-38] μm y [53-45] μm reportado en calcopiritas, para la mayoría de los sectores, puede estar siendo ocasionado por una distribución del polvo de grafito que no se ajusta a la dispersión de los tamaños de partículas y/o podría indicar diferentes poblaciones en el yacimiento asociado a eventos hidrotermales, no descartando otras posibilidades. Estudios mineralógicos en molibdenita indican que este mineral presenta características, como el tamaño de cristales, propias del evento de alteración donde ocurre la mineralización que influyen en la recuperación de Mo (Zúñiga, 2018), apoyando la hipótesis de poblaciones de tamaño en el yacimiento. La Figura 7.12-a, explica esta última situación, la cual si en un principio se tienen dos poblaciones (1 y 2), siendo la población 1 de mayor tamaño. Al momento de la conminución, esta se reduce de tamaño en una mayor magnitud que la población 2 (de menor tamaño) y se desplaza hacia la derecha a fracciones más finas. Por su parte, la Figura 7.12-b muestra que una vez ocurrida la conminución, ambas poblaciones tienen alturas similares y se encuentran bajo a una determinada fracción, pero sigue habiendo una distinción entre ellas, esclareciendo de cierta forma los quiebres ya mencionados.

Estas poblaciones podrían representar ocurrencia y/o estilos en la mineralización, ya sea como vetillas/diseminado o por tamaños de los minerales de mena generados por los diferentes eventos hidrotermales en el depósito. Como se mencionó anteriormente, esta aseveración necesita de fundamentos geológicos que aporten al entendimiento de esta anomalía.

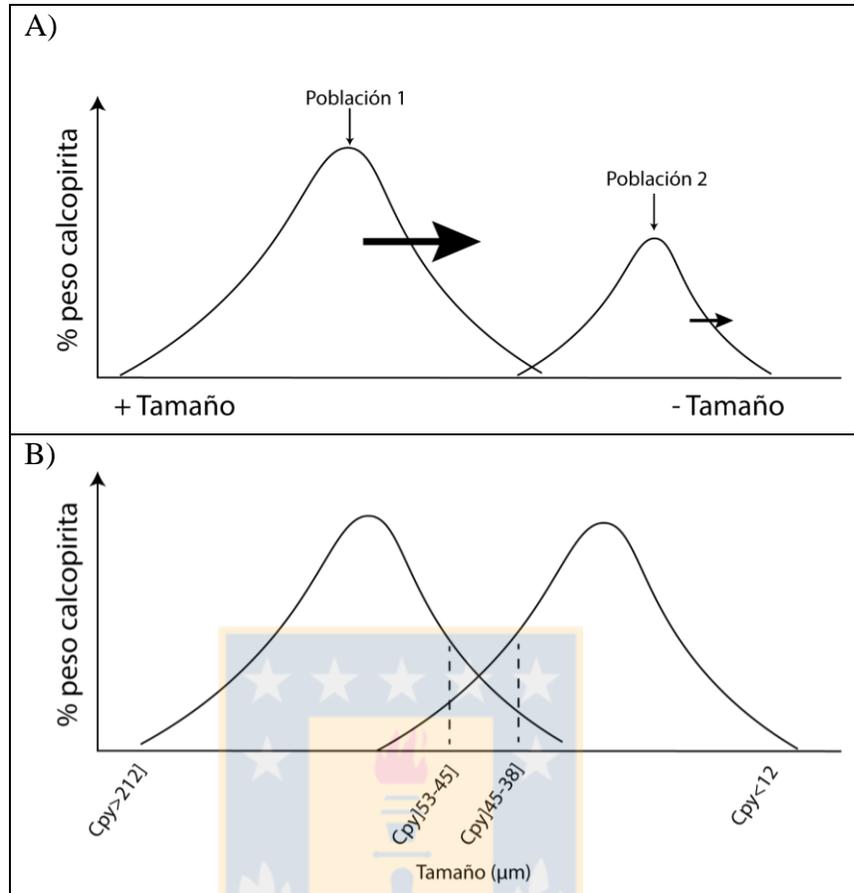


Figura 7.12: Gráficos esquemáticos del quiebre en los tamaños de calcopirita. A) Curvas granulométricas previo al proceso de conminución, flechas negras indican magnitud y dirección de desplazamiento durante el proceso de conminución. B) Curva granulométrica post proceso de conminución, la cual refleja el análisis de las muestras estudiadas.

8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Las partículas con un grado de liberación mayor al 90% (libres), es el rango destacado en el cual se debiera llegar durante la molienda para obtener una máxima recuperación en los minerales de calcopirita y bornita en la flotación *rougher*. Entre mayor sea la cantidad que ingresa en la alimentación de tamaño, la recuperación mineral será considerablemente mayor. Se recomienda al menos realizar una conminución con un producto de partículas sobre el 80% de liberación para calcopirita y bornita, por ser los rangos con pérdidas prácticamente nulas. Es importante destacar que las partículas de bornita también se recuperan en sus grados de liberación ocluidos, pero en este caso en particular, se debe a sus asociaciones minerales.
- Las pérdidas relacionadas a asociación mineral, tanto para la calcopirita y bornita, son esencialmente ocasionadas por partículas complejas, las cuales están compuestas en su mayoría por silicatos duros (cuarzo) y filosilicatos (muscovita-sericita), provocando que dichas partículas no sean recuperadas. Las partículas complejas se traducen en un arreglo mineralógico con diferentes minerales, pero está reflejando que las partículas de interés se encuentran ocluidas, con un potencial muy bajo de ser recuperadas debido a este parámetro y a problemas de tamaño (fracciones muy finas).
- Las partículas de interés que se encuentran asociadas con otros sulfuros de cobre primarios (calcopirita y bornita) tienen un alto potencial de recuperación, pese a estar parcialmente ocluida/ocluida o por ser tamaños muy finos.
- Los tamaños de calcopirita bajo los 38 μm producen las mayores pérdidas, teniéndose que considerar tamaños en un rango de 38-212 μm , para mejorar la eficiencia de las recuperaciones. La bornita posee pérdidas más bajas sobre el 24 μm , sin embargo, la mayoría ingresa bajo esta fracción, perdiéndose casi en una misma proporción de la que se recupera.
- El quiebre de tamaño reportado en la fase de calcopirita entre los 53-38 μm podría representar dos poblaciones de diferentes tamaños en el yacimiento, producto de los sucesivos eventos de alteración o ocurrencias minerales. Se recomienda relacionar los resultados de este estudio con información geológica previa a un proceso geometalúrgico, como secciones pulidas de sondajes para que estas sean representativas

del yacimiento y reflejen la ocurrencia y textura de los eventos. Determinar si un tipo de alteración genera un tamaño de mineral de mena, podría ser fundamental para afinar modelos geometalúrgicos.

- Las zonas de alta recuperación *versus* las de baja, se diferencian en contenidos elevados de alimentación que tienen un mayor potencial de recuperación, como lo son grados más libres, menos partículas complejas, más asociaciones con otros sulfuros de cobre, y tamaños entre de 38-212 μm y 24-212 μm para la calcopirita y bornita respectivamente. Las influencias del tipo de alteración juegan un papel fundamental en la recuperación mineral. Mientras menos sea la representatividad de alteración tardía, mayor son las recuperaciones de calcopirita y de forma contraria, mientras más tardío es el evento, produce mejores recuperaciones de bornita. Se recomienda realizar un modelo categórico de alteración que unifique la actual división de baja-media-alta representatividad y que permita constreñir la alteración dominante en un sector dado.
- La recuperación por grado de liberación tiene a las partículas libres como rango de máxima recuperación, la cual se diferencia considerablemente del resto de los intervalos. Por otra parte, la recuperación por tamaño no posee un intervalo de óptima recuperación que ejerza una diferencia notable en la recuperación mineral.
- Entre los parámetros estudiados, el grado de liberación tiene una mayor injerencia en la recuperación mineral, seguido del tamaño y finalmente la asociación mineral. Sin embargo, el tamaño sería la variable que genera que más partículas de interés se vayan a los relaves, seguido del grado de liberación (casi en una misma proporción) y finalmente la asociación mineral.
- La sumatoria de los intervalos con más potencial de recuperación de un parámetro, no permiten obtener recuperaciones sobre el 90%, y solo se obtiene esta cifra considerando la sumatoria de todos los intervalos, para la mayoría de los sectores productivos/proyectos de la DET. Actualmente cada rango de tamaño o grado de liberación aporta en las recuperaciones, por lo que se recomienda ajustar los procesos a las nuevas variables descritas en el presente estudio para obtener recuperaciones minerales más eficientes y con mayor porcentaje.
- Dacita, Recursos Norte y Diamante poseen las recuperaciones más altas de calcopirita, mientras que, RENO y Extensión Sur Esmeralda son las que tienen menos.

- Extensión Sur Esmeralda y Diamante son los sectores con recuperación de bornita elevados, por otra parte, RENO y Esmeralda poseen las menores recuperaciones.
- Se recomienda realizar la metodología desarrollada en este trabajo en muestras de proceso para relacionar lo ocurrido en el *in situ* y la planta.



9 REFERENCIAS

BURGOS, L. 2002. Petrografía y geoquímica de la diabasa y diques basálticos que constituyen las “andesitas de la mina” en el yacimiento El Teniente. VI Región, Chile. Memoria para optar al título de Geólogo. Universidad de Concepción, Departamento de Ciencias de la Tierra (Inédito): 108 pp., Concepción.

BUSTAMANTE, O.; GAVIRIA, A.; RESTREPO, O. 2008. Notas de clases: Concentración de minerales, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas, Instituto de Minerales CIMEX: 83pp.

CAMUS, F. 1975. Geology of the El Teniente Orebody with Emphasis on Wall-Rock Alteration. Economic Geology. Vol. 70, N° 8: 1341-1372.

CANNELL, J.; COOKE, D.R.; WALSHE, J.L. & STEIN, H. 2005. Geology, mineralization, alteration, and structural evolution of the El Teniente porphyry Cu-Mo deposit. Economic Geology (100): 979-1003.

CARVAJAL, F. 2015. Petrografía y petrología del sector suroeste del depósito El Teniente. Memoria para optar al Título de Geólogo. Universidad de Concepción, Departamento Ciencias de la Tierra (Inédito): 158pp., Concepción.

CELHAY, F.; PEREIRA, J. & BURGOS, L. 2006. Geología estructural proyecto Nuevo Nivel Mina, División El Teniente, CODELCO-CHILE. Congreso Geológico Chileno N°11. Actas 2: 203-206, Geología Económica. Antofagasta.

CHARRIER R. 1981. Geologie de chilenischen haupt-kordillere zwischen 34° und ihre tektonische, magmatische und paläo-geographische entwicklung. Berliner geowissenschaft abhandlung, 456-471. Berlín, Alemania.

CHARRIER, R. 1973. Geología regional de la provincia de O'Higgins y Colchagua, Vol. 7: 1-69. Santiago, Chile.

CHARRIER, R.; PINTO, L. & RODRIGUEZ, M. 2007. Tectonostratigraphic evolution of the Andean Orogen in Chile. The Geology of Chile. Moreno, T. & Gibbons, W. The Geological Society: 21-114. London.

CODELCO. 2011. El Teniente, Minería del Futuro. Dirección de Comunicaciones. Gerencia de Sustentabilidad y Asuntos Externos, Codelco, División El Teniente.

CODELCO. 2017a. Memoria Anual 2017. 328 pp.

CODELCO. 2017b. Servicio de mantenimiento pavimentos asfálticos carretera el cobre y otros sectores mineros e industriales DET. Requerimiento de información. RFI N°17/920. Dirección de Abastecimiento, Codelco, División El Teniente.

CUADRA, P. 1986. Geocronología K-Ar del yacimiento El Teniente y áreas adyacentes. Revista Geológica de Chile, N°27: 3-26.

FALCÓN, M. Y RIVERA, O. 1998. Estudio geológico distrital de la División El Teniente de Codelco-Chile, escala 1:25.000. CODELCO, Vicepresidencia de Exploraciones y Asociaciones Mineras, Corporación Nacional del Cobre Codelco-Chile (Inédito): 108 pp., Santiago.

FAUNES, A. 1981. Caracterización de la mineralogía metálica y de alteración en un sector del stock tonalítico del yacimiento El Teniente. Memoria de Título. Universidad de Chile, Departamento de Geología (Inédito): 175 pp., Santiago, Chile.

GARRIDO, I. 1992. Resumen nuevo modelo geológico-estructural y geotécnico yacimiento El Teniente. CODELCO, División El Teniente, Departamento de Geología. 99-151. Rancagua, Chile.

GARRIDO, I. 1995. Geología estructural del distrito & la mina El Teniente & situación geodinámica regional. Proyecto Geodinámico Mina El Teniente, Proyecto API-1-1689. Reporte interno, CODELCO-Chile, División El Teniente. Superintendencia de Geología, vol.1: 61 pp.

GIAMBIAGI, L. & RAMOS, V. 2002. Structural evolution of the Andes between 33°30 and 33°45'S, above the transition zone between the flat and normal subduction segment, Argentina and Chile. Journal of South American Earth Sciences (15): 99-114.

GIL, M. J. 2018. Estudio del impacto de las variables mineralógicas en el proceso de flotación de mezclas de minerales del sector Esmeralda, División El Teniente, CODELCO, IV Región del Libertador Bernardo O'Higgins, Chile. Memoria para optar al título de Geólogo. Universidad de Concepción, Departamento de Ciencias de la Tierra (Inédito): 316 pp., Concepción.

GÓMEZ, R. 2001. Geología de las unidades volcanogénicas cenozoicas del área industrial de El Teniente, entre Colón y Coya, Cordillera Principal de Rancagua, VI Región, Memoria para optar al título de Geólogo. Universidad de Chile, Departamento de Geología (Inédito): 143 pp., Santiago.

GRMD-SGL, 2018. Mapa general en planta, mina El Teniente. Superintendencia de Geología, Gerencia de Recursos Minero y Desarrollo (Informe Interno: GRMD-SGL-GL9-10835-1).

GRMD-SGL, 2019. Estándar de Geometalurgia y Mineralogía, Superintendencia de Geología, Gerencia de Recursos Minero y Desarrollo (Informe Interno: GRMD-SGL-INF-0027-2019). CODELCO-División El Teniente.

GUTIÉRREZ, L. 2018b. Curso Flotación (542401). Universidad de Concepción, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Metalúrgica: 37pp.

GUTIÉRREZ, L. 2018a. Curso (542550): Introducción a la Geometalurgia. Universidad de Concepción, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Metalúrgica: 56pp.

HOLLINGS, P.; COOKE, D. & CLARK, A. 2005. Regional Geochemistry of Tertiary Igneous Rocks in Central Chile: Implications for the Geodynamic Environment of Giant Porphyry Copper and Epithermal Gold Mineralization. *Economic Geology*. Vol. 100: 887-904

JAMESON, G. 2013. Size matter Coarse and quick flotation can reduce costs. The AusIMM Guillaume Delprat Distinguished Lecture Series.

KAY, S.; GODOY, E. & KURTZ, A. 2005. Episodic arc migration, crustal thickening, subduction erosion, and magmatism in the south-central Andes. *Geological Society of America, B*. 17: 67-88.

KLÖHN, C. 1960. Geología de la Cordillera de los Andes de Chile Central, provincias de Santiago, O'Higgins, Colchagua y Curicó. Instituto de Investigaciones Geológicas, Vol. 8: 95 pp., Santiago, Chile.

KURTZ, A. C.; KAY, S. M.; CHARRIER, R. & FARRAR, E. 1997. Geochronology of Miocene plutons and exhumation history of the El Teniente region, Central Chile (34-35°S). *Revista Geológica de Chile* 16, 145-162.

LINDGREN, W. & BASTIN, E. 1922. Geology of the Braden mine, Rancagua, Chile, *Economic Geology* 17, 75-99.

MAKSAEV, V.; MUNIZAGA, F.; MCWILLIAMS, M.; FANNING, M.; MARTHER, R., RUIZ, J. & ZENTILLI, M. 2004. Chronology for El Teniente, Chilean Andes, from U-Pb, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$, Re-Os, and fission track dating: implications for the formation of a supergiant porphyry Cu-Mo deposit. In: Sillitoe, R. H., Perelló, J. & Vidal, C. E. (eds) *Andean Metallogeny: New Discoveries, Concepts and Updates*. Society of Economic Geologists Special Publications 11, 15-54.

MUÑOZ, M. 2011. Petrogénesis de rocas intrusivas del yacimiento El Teniente y evolución del magmatismo Cenozoico de Chile Central (33°00'-34°30's). Tesis de Doctorado, Departamento de Geología, Universidad de Chile: 190 pp., Santiago.

OSSANDÓN, G. 1974. Petrografía y Alteración del Pórfido Dacítico, Yacimiento El Teniente. Memoria de Título, Universidad de Chile, Departamento de Geología y Geofísica (Inédito): 189 pp., Santiago.

RAULD, R. 2002. Análisis morfoestructural del frente cordillerano Santiago Oriente entre el río Mapocho y la Quebrada de Macul. Tesis de Título, Departamento de Geología, Universidad de Chile. 57 pp., Santiago.

RIVERA, O. & CEMBRANO, J. 2000. Modelo de formación de cuencas volcano-tectónicas en zonas de transferencia oblicuas a la cadena Andina: El caso de las cuencas Oligo-Miocenas de Chile central y su relación con estructuras NWW-NW (33°00'-34°30'S). Congreso Geológico Chileno N° 9: 631-636. Puerto Varas.

ROJAS, A. 2003. Pórfido Teniente: Dos fases intrusivas características geológicas, petrográficas y geoquímicas, Yacimiento El Teniente. Congreso Geológico Chileno N°10, Concepción.

ROJAS, E.; MOLINA, R. & CAVIERES, P. 2001. Pre-undercut caving in El Teniente mine, Cole. En Hustrulid, W. R. y Bullok, R. (Eds.) Underground Mining Methods; engineering fundamental and international case studies. Colorado, SME.

SEGUEL, J.; ARRIAGADA, C.; BECERRA, J.; MARTÍNEZ, F.; CARRIZO, D.; FLOODY, R. 2007. Estilos estructurales en el Yacimiento El Teniente. Informe interno.

SKEWES, M.; ARÉVALO, A.; FLOODY, R.; ZÚÑIGA, P. & STERN, C. 2002. The giant El Teniente breccia deposit: hypogene copper distribution and emplacement. Society of Economic Geologist, Special Publication 9, Chapter 14: 299-332.

STERN, C. R.; SKEWES, M. A. & ARÉVALO, A. 2010. Magmatic evolution of the giant El Teniente Cu-Mo deposit, central Chile. *Journal of Petrology*, 52(7-8), 1591-1617.

STERN, C.; FUNK, J.; SKEWES, M. A. & ARÉVALO, A., 2007. Magmatic Anhydrite in Plutonic Rocks at El Teniente Cu-Mo Deposit, Chile, And the Role of Sulfur- and Copper-Rich Magmas in its Formation. *Economic Geology*. Vol. 102: 1335-1344.

TOLEDO, V. 2018. Zonificación geometalúrgica de los sectores productivos que alimentan a línea convencional de División El Teniente, para identificar potenciales de

recuperación Cu-Mo, ley de concentrado Cu y su aplicación en planificación corto plazo. Memoria para optar al Título de Geólogo. Universidad de Concepción, Departamento Ciencias de la Tierra (Inédito): 109pp: Concepción.

VILLALOBOS, J. 1975. Alteración Hidrotermal en las Andesitas del Yacimiento El Teniente. Tesis de Doctorado. Universidad de Chile, Departamento de Geología (Inédito). 125 pp., Santiago.

VRY, V.; WILKINSON, J.; SEGUEL, J. & MILLÁN, J. 2010. Multistage Intrusion, Brecciation, and Veining at El Teniente, Chile: Evolution of a Nested Porphyry System. Economic Geology. Vol. 105: 119-153.

WYSLOUZIL, H., KOHMEUNCH, J., CHRISTODOULOU, L., & FAN, M. 2009. Coarse and fine particle flotation. In Proceedings of the 48th Conference of Metallurgists.

ZÚÑIGA, P. 1982. Alteración y mineralización hipógenas en el sector oeste del yacimiento El Teniente. Memoria de Título, Universidad de Chile, Departamento de Geología (Inédito): 104 pp. Santiago, Chile.

ZÚÑIGA, G. 2018. Caracterización de la distribución y ocurrencia de la molibdenita y su influencia en la recuperación de molibdeno en el yacimiento El Teniente. Memoria de Título, Universidad de Chile, Departamento de Geología: 193pp: Santiago, Chile.