

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**



**INTERPRETACIÓN GEOLÓGICA DE LA MINERALIZACIÓN
DEL YACIMIENTO VMS CERRO LINDO
CHINCHA-PERÚ**

INFORME DE SUFICIENCIA

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO GEÓLOGO**

PRESENTADO POR:

JORGE HERMÓGENES HINOSTROZA DE LA CRUZ

LIMA – PERÚ

2010

A mi hermano Víctor, por su abnegación

INDICE

RESUMEN	1
CAPITULO I.- INTRODUCCION	6
CAPITULO II.- GENERALIDADES	8
2.1 Ubicación y Acceso	8
2.2 Metalogenia	8
2.3 Geomorfología	12
2.4 Clima y vegetación	12
2.5 Historia de la exploración.....	14
2.6 Objetivos.....	17
2.7 Metodología de trabajo	18
CAPITULO III.- CARACTERISTICAS GENERALES DE LOS YACIMIENTOS VMS	21
3.1 Características generales de los yacimientos VMS.....	21
Tabla 1: Características generales de los yacimientos VMS.....	21
3.2 Etapas de formación de edificios de Sulfuros Masivos	26
CAPITULO IV.- GEOLOGIA REGIONAL	29
4.1 Litología	29
4.1.1 Formación Huaranguillo	29
4.1.2 Intrusivos	34
4.2 Geología Estructural	36
CAPITULO V.- GEOLOGIA LOCAL.....	37
5.1 Secuencia volcánica	37
5.2 Afloramiento de baritina.....	41
5.3 Cuerpo de Sulfuros Masivos (Cuerpo 4).....	41
5.4 Diques.....	42
5.5 Estratigrafía	44
5.5.1 Unidad H4 (Miembro Ladera)	47
5.5.2 Unidad E (Miembro Sill).....	47
5.5.3 Unidad D (Miembro Tambilla).....	47
5.5.4 Unidad H (Miembro Era Superior)	47
5.5.5 Unidad B (Miembro Era Inferior).....	48
5.5.6 Unidad A (Miembro Huapunga Superior)	48
5.5.7 Tufo HW (Miembro Huapunga Inferior)	48
5.5.8 Sulfuros Masivos	49
5.5.9 Tufo FW (Miembro Topara Superior).....	49
5.5.10 Unidad I (Miembro Topara Inferior)	49
5.5.11 Unidad J (Pamoc).....	49
5.6 Geología Estructural	50
5.6.1 Sistema NW-SE.....	52
5.6.2 Sistema NE-SW.....	53
5.6.3 Sistema NNW-SSE.....	54
CAPITULO VI.- DESCRIPCIÓN DEL YACIMIENTO	55
6.1 Definición de Litologías en Sulfuros Masivos.....	55
6.2 Cuerpos de Sulfuros Masivos	55

6.2.1	Cuerpo 2.....	55
6.2.2	Cuerpo 1.....	63
6.2.3	Cuerpo 5.....	65
6.2.4	Cuerpo 6.....	65
6.2.5	Cuerpo 4.....	67
6.3	Mineralogía	67
6.3.1	Pirita	67
6.3.2	Baritina	68
6.3.3	Esfalerita.....	69
6.3.4	Calcopirita.....	70
6.3.5	Galena.....	71
6.3.6	Pirrotita	71
6.3.7	Calcita	72
6.4	Texturas y Estructuras	72
6.4.1	Textura Granular	72
6.4.2	Bandeamiento	73
6.4.3	Stockwork	73
6.4.4	Brechas de Crecimiento	74
6.5	Estratigrafía de los Sulfuros Masivos.....	74
6.5.1	Hanging Wall	75
6.5.2	BS3 (Barita Superior 3)	76
6.5.3	PS3 (Pirita Superior 3).....	76
6.5.4	SS3 (Semimasivo Superior 3)	76
6.5.5	BS2 (Barita Superior 2)	77
6.5.6	SS2 (Semimasivo Superior 2)	80
6.5.7	PS2 (Pirita Superior 2).....	80
6.5.8	BS1 (Barita Superior 1)	83
6.5.9	PS1 (Pirita Superior 1).....	86
6.5.10	BI2 (Barita Inferior 2).....	89
6.5.11	PI2 (Pirita Inferior 2)	92
6.5.12	BI1 (Barita Inferior 1).....	95
6.5.13	PI1 (Pirita Inferior 1)	98
6.5.14	SI1 (Semimasivo Inferior 1).....	101
6.5.15	FW (Foot Wall)	104
6.6	Alteración hidrotermal.....	104
6.7	Metamorfismo Regional.....	106
6.8	Alteración Supérgena	107
6.8.1	Enriquecimiento Secundario.....	108
6.8.2	Horizonte de oxidación	110
CAPITULO VII - ESTADÍSTICA.....		112
7.1	Parámetros Estadísticos de Au, Ag, Zn, Cu y Pb en las diferentes Litologías.....	112
CAPITULO VIII - ZONAMIENTO.....		132
8.1.	Zonamiento Litológico.....	132
8.2.	Zonamiento Cu-Zn.....	140
8.3.	Zonamiento en función del Ratio Cu.....	161
CAPITULO IX - DEPOSICIÓN DEL COBRE Y DEL ZINC.....		176

9.1. Comportamiento del Cu y Zn en relación al contacto entre diferentes Litologías.....	177
9.2. Estudio de Secciones Pulidas (Mineragrafía)	190
CAPITULO X - HISTORIA GEOLOGÍA DEL YACIMIENTO	198
10.1 Tiempo BI1	202
10.2 Tiempo BI2	204
10.3 Tiempo BS1	204
10.4 Tiempo BS2.....	205
10.5 Emplazamiento de la Super Unidad Incahuasi.....	206
CONCLUSIONES	209
RECOMENDACIONES.....	214

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación y acceso al proyecto Cerro Lindo.....	9
Figura 2: Principales depósitos de sulfuros masivos en el Perú	10
Figura 3: Esquema de un depósito de sulfuro masivo típico.....	24
Figura 4: Alteración en Yacimientos VMS.....	25
Figura 5: Etapas de la formación de depósitos VMS	28
Figura 6: Geología Regional de la propiedad	30
Figura 7: Columna estratigráfica regional esquemática	31
Figura 8: Geología superficial del Proyecto Cerro Lindo.....	38
Figura 9: Plano de Alteraciones.....	40
Figura 10: Columna estratigráfica local.....	46
Figura 11: Geología de Galerías Nivel 1820.....	51
Figura 12: Geología sección 11000N.....	64
Figura 13: Geología sección 10650N.....	66
Figura 14: Sección longitudinal BS2 - Litología	78
Figura 15: Sección longitudinal BS2 - Potencia	79
Figura 16: Sección longitudinal PS2 - Litología	81
Figura 17: Sección longitudinal PS2 - Potencia	82
Figura 18: Sección longitudinal BS1 - Litología	84
Figura 19: Sección longitudinal BS1 - Potencia	85
Figura 20: Sección longitudinal PS1 - Litología	87
Figura 21: Sección longitudinal PS1 - Potencia	88
Figura 22: Sección longitudinal BI2 - Litología	90
Figura 23: Sección longitudinal BI2 - Potencia	91
Figura 24: Sección longitudinal PI2 - Litología	93
Figura 25: Sección longitudinal PI2 - Potencia	94
Figura 26: Sección longitudinal BI1 - Litología	96
Figura 27: Sección longitudinal BI1 - Potencia	97
Figura 28: Sección longitudinal PI1 - Litología	99
Figura 29: Sección longitudinal PI1 - Potencia	100
Figura 30: Sección longitudinal SI1 - Litología	102
Figura 31: Sección longitudinal SI1 - Potencia	103
Figura 32: Zonamiento metálico por intemperismo	109
Figura 33: Promedios de Au y Ag en las diferentes litologías	114
Figura 34: Promedios de Cu y Zn en las diferentes litologías	115
Figura 35: Promedios de Pb y Ratio Cu en las diferentes litologías	116
Figura 36: Correlación de todas las muestras y en SPB.....	121
Figura 37: Correlación en SLB y en SEP	122
Figura 38: Correlación en SPP y en SEP	123
Figura 39: Correlación en SSM y en Volcánicos dentro de Sulfuros Masivos	124
Figura 40: Correlación en Enclaves en sulfuros y en SI1	125
Figura 41: Correlación en Volcánicos dentro de SI1 y en Hanging Wall....	126
Figura 42: Correlación en Foot Wall y en Exhalitas	127
Figura 43: Correlación en pegmatitas y en diques.....	128
Figura 44: Resumen de correlación geoquímica.....	129

Figura 45: Sección geológica proximal	133
Figura 46: Sección geológica distal	134
Figura 47: Sección 10650 – Cuerpo 5 - Contenidos Zn-Cu	135
Figura 48: Sección 10000 – Cuerpo 2 - Contenidos Zn-Cu	136
Figura 49: Sección longitudinal BS2 - Zn	141
Figura 50: Sección longitudinal BS2 - Cu	142
Figura 51: Sección longitudinal PS2 - Zn	143
Figura 52: Sección longitudinal PS2 - Cu	144
Figura 53: Sección longitudinal BS1 - Zn	145
Figura 54: Sección longitudinal BS1 - Cu	146
Figura 55: Sección longitudinal PS1 - Zn	147
Figura 56: Sección longitudinal PS1 - Cu	148
Figura 57: Sección longitudinal BI2 - Zn	149
Figura 58: Sección longitudinal BI2 - Cu	150
Figura 59: Sección longitudinal PI2 - Zn	151
Figura 60: Sección longitudinal PI2 - Cu	152
Figura 61: Sección longitudinal BI1 - Zn	153
Figura 62: Sección longitudinal BI1 - Cu	154
Figura 63: Sección longitudinal PI1 - Zn	155
Figura 64: Sección longitudinal PI1 - Cu	156
Figura 65: Sección longitudinal SI1 - Zn	157
Figura 66: Sección longitudinal SI1 - Cu	158
Figura 67: Sección longitudinal HW – Ratio Cu	163
Figura 68: Sección longitudinal BS2 – Ratio Cu	164
Figura 69: Sección longitudinal PS2 – Ratio Cu	165
Figura 70: Sección longitudinal BS1 – Ratio Cu	166
Figura 71: Sección longitudinal PS1 – Ratio Cu	167
Figura 72: Sección longitudinal BI2 – Ratio Cu	168
Figura 73: Sección longitudinal PI2 – Ratio Cu	169
Figura 74: Sección longitudinal BI1 – Ratio Cu	170
Figura 75: Sección longitudinal PI1 – Ratio Cu	171
Figura 76: Sección longitudinal SI1 – Ratio Cu	172
Figura 77: Sección longitudinal FW – Ratio Cu	173
Figura 78: Comportamiento de contacto Zn en SPP vs SPB	178
Figura 79: Comportamiento de contacto Zn en SSM vs SPB	179
Figura 80: Comportamiento de contacto Zn en SPM vs SPP	180
Figura 81: Comportamiento de contacto Zn en Volcánicos vs SPB	182
Figura 82: Comportamiento de contacto Zn en Volcánicos vs SPP	183
Figura 83: Comportamiento de contacto Cu en SPP vs SPB	184
Figura 84: Comportamiento de contacto Cu en SSM vs SPB	186
Figura 85: Comportamiento de contacto Cu en SSM vs SPP	187
Figura 86: Comportamiento de contacto Cu en Volcánicos vs SPB	188
Figura 87: Comportamiento de contacto Cu en Volcánicos vs SPP	189
Figura 88a: Historia Geológica de los Sulfuros Masivos LB1 y LB2	200
Figura 88b: Historia Geológica de los Sulfuros Masivos UB1 y UB2	201

LISTA DE FOTOS

Foto 1: Vista panorámica del proyecto.....	13
Foto 2: Dique pórfido andesítico	43
Foto 3: Dique pórfido tonalita-andesita	43
Foto 4: Dique andesita.....	45
Foto 5: Hornfels nodular	45
Foto 6: Sulfuro primario piritico (SPP).....	57
Foto 7: Sulfuro primario piritico (SPP).....	57
Foto 8: Sulfuro primario barítico (SPB)	58
Foto 9: Sulfuro primario barítico (SPB)	58
Foto 10: Sulfuro primario barítico (SPB)	59
Foto 11: Sulfuro primario barítico (SPB)	59
Foto 12: Sulfuro primario barítico (SPB)	60
Foto 13: Sulfuro primario barítico (SPB)	60
Foto 14: Sulfuro primario barítico (SPB)	61
Foto 15: Sulfuro semimasivo (SSM)	61
Foto 16: Sulfuro semimasivo (SSM)	62
Foto 17: Sulfuro semimasivo (SSM)	62
Foto 18: Calcopirita reemplazando a pirita en SPP	191
Foto 19: SPP con relleno de calcopirita	191
Foto 20: Calcopirita-esfalerita-galena-pirita	192
Foto 21: Exsoluciones en estrella en calcopirita	192
Foto 22: Pirita con fracturas (tectonismo) rellenas de calcopirita.....	193
Foto 23: Pirrotita como playas reemplazando a pirita-ganga (barita).....	193
Foto 24: Fuerte fracturamiento en la pirita con relleno de calcopirita.....	194

RESUMEN

Cerro Lindo es un yacimiento de sulfuros masivos vulcanogénicos emplazado en la cuenca back arc cretácica, relacionado a fallas profundas que han permitido el ingreso de los fluidos hidrotermales en aguas someras. Metalogénicamente, se ubica dentro del Grupo Casma, unidad volcánica submarina de edad Albiana (Cretáceo medio) que aflora paralela a la costa, desde el norte del Perú hasta el departamento de Ica, caracterizado por albergar minas y prospectos VMS como María Teresa, Perubar, Palma, Balducho, etc.

En Cerro Lindo, Los sulfuros masivos están emplazados en rocas félsicas de más de 500 metros de potencia, dentro de la Formación Huaranguillo, constituidas por tufos ceniza, tufos lapilli y lavas de composición riolítica a dacítica. Los sulfuros masivos están en contacto en la base y techo con tufos ceniza.

Hasta el año 2001, en Cerro Lindo se había determinado la existencia de hasta 5 cuerpos mantiformes de sulfuros masivos; los cuales presentan características geométricas propias y se emplazan en Bloques Estructurales delimitados por fallas sinsedimentarias que participaron como conductos de mineralización.

La principal alteración hidrotermal reconocida es la asociación sericita-pirita rodeando a los cuerpos de sulfuros masivos. Existen áreas no muy amplias con silicificación circunscritas principalmente a la caja piso (FW).

Se reconoce fallas antiguas relacionadas a la mineralización y reactivaciones. En la actualidad, los cuerpos determinados en la ladera sur de la quebrada Topara tienen un rumbo NW y buzan 60° al SW, mientras que en la ladera norte el horizonte prospectivo tiene rumbo similar pero buzamiento contrario suave.

El metamorfismo regional ha causado el incremento del tamaño de grano dentro de los sulfuros masivos, que incrementa el grado de liberación de los minerales durante el tratamiento metalúrgico.

Se ha definido las litologías básicas en función de su relación con los Sulfuros Masivos (SM): Sulfuros Primarios Baríticos (SPB), Sulfuro Primario Piríticos (SPP), Sulfuros Semimasivos (SSM), enclave (ENC), volcánicos interstratificados con SM, Caja Techo (HW) y Caja Piso (FW); que a su vez permitieron definir unidades estratigráficas dentro de los SM, de acuerdo a su orden de deposición, de lo reciente a lo antiguo: Caja Techo (HW), Barita Superior 2 (BS2), Pirita Superior 2 (PS2), Barita Superior 1 (BS1), Pirita Superior 1 (PS1), Barita Inferior 2 (BI2), Pirita Inferior 2 (PI2), Barita Inferior 1 (BI1), Pirita Inferior 1 (PI1), Sulfuro Semimasivo 1 (SI1) y Caja Piso (FW), estudiando las características de cada litología y de los elementos en cada litología e incluso su variación en relación a su posición con respecto a contacto con otra litología.

En base al modelo de deposición de sulfuros masivos, se ha interpretado 2 formaciones de edificios de SM en el Cuerpo 5 y hasta 6 en el Cuerpo 2 (solo se estudio 4 por ser los más económicamente importantes).

Las secciones transversales y longitudinales, muestran la forma de los cuerpos permitiendo interpretar el sentido de la mineralización y la ubicación de las fallas que condujeron la mineralización. Se entiende que las fallas más importantes son las de rumbo NW-SE donde los cuerpos tienen mayor continuidad conocida, sin embargo, las fallas transversales también son importantes.

Se ha determinado el carácter negativo de la existencia de diferentes edificios de sulfuros masivos superpuestos, ya que el edificio en construcción destruye el edificio anterior, removilizando sus contenidos primarios de esfalerita (que tiene buen control litológico) y deposita calcopirita (con menor control y calidad) y finalmente deposita pirita estéril.

El tratamiento estadístico, muestra un zonamiento Cu-Zn definido, cuyas conclusiones más importantes son el predominio de Zn-Pb en SPB, de Cu en SPP y SI1 (Sulfuro Semimasivo en contacto con HW), y de Cu en el contacto SPP y SPB. Por otro lado, las variaciones de los valores Cu-Zn permiten definir las fallas existentes como alimentadores de mineralización, e incluso se puede interpretar otros alimentadores que no han sido reconocidos aun con la perforación o galerías.

Con el intemperismo los sulfuros masivos llegan a destruirse resultando el horizonte lixiviado (con baritina pulverulenta del SPB y brechas de colapso con limonitas del SPP). También se reconoce enriquecimiento secundario con presencia de calcosita y covelita.

Se plantea la utilidad del uso del Ratio Cu, cuya aplicación mas importante es el contraste de los valores calculados: 20% para SPB versus 65% para SPP, y 25% para HW versus 61% para FW.

En base al modelo de evolución general de los yacimientos VMS y la interpretación de las diferentes unidades definidas mediante secciones transversales y verticales, se propone un modelo de evolución genética que pretende explicar la disposición actual de los sulfuros masivos y los contenidos metálicos existentes.

Tomando en cuenta los resultados obtenidos, se recomienda:

- Continuar con la exploración, hacia el sureste del cuerpo 5, de manera similar a lo ejecutado en las fases anteriores.
- Realizar campañas de exploración con taladros diamantinos en los afloramientos de baritina ya reconocidos.
- Realizar trabajos geológicos de logueo y geología de superficie y galerías que permitan reconocer en superficie las unidades estratigráficas volcánicas y/o definir unidades “guía” para la mineralización.
- Utilizar la metodología de trabajo de interpretación y programación de taladros descrita en este informe, ya que permite conocer la distribución optima de taladros de perforación y/o galerías, para la determinación de recursos.

- Utilizar los resultados de este informe para localizar cuerpos paralelos hacia el piso y el techo.

Es conocida la tendencia a la formación de otros depósitos de sulfuros masivos contemporáneos a los depósitos ya conocidos (Noranda, Tambogrande, etc.). Además, el Cuerpo 5 tiene poca o ninguna expresión superficial que indique su existencia en profundidad, lo cual alienta el descubrimiento de nuevos cuerpos mineralizados similares.

Se presenta este trabajo como un aporte al conocimiento del yacimiento y también para optar el grado de Ingeniero Geólogo.

CAPITULO I.- INTRODUCCION

En el año 1999, Compañía Minera Milpo S.A.A. reinicia la exploración del proyecto Cerro Lindo (luego de varios años de paralización) llevando a cabo 3 campañas de exploración hasta el 2001. Dentro de este periodo se ejecuto la rehabilitación y mantenimiento de los 85 Kilómetros finales del acceso al proyecto, 28,386 metros de perforación diamantina en 129 taladros, 965 metros de galerías, 37 metros de chimeneas y 363 metros de rampas.

Durante la Fase 1 (1,999) el objetivo fue definir el comportamiento de la mineralización del Cuerpo 2 y Cuerpo 1, y también determinar la existencia de mineralización hacia la prolongación sureste del Cuerpo 2 (la exploración anterior no cortó mineralización hacia su prolongación natural, después de atravesar una falla). Los resultados fueron positivos, en el Cuerpo 2 y Cuerpo 1, se realizaron taladros exploratorios sobre objetivos específicos para verificar la persistencia de mineralización económica y, hacia fines de esta fase, se realizó una galería hacia la prolongación al SE del Cuerpo 2, desde donde se perforó un taladro exploratorio que cortó el Cuerpo 5, desplazado por la falla y con menor potencia que el Cuerpo 2.

La Fase 2 (2,000) tuvo como objetivo definir la persistencia de mineralización del Cuerpo 5, lográndose determinar buena persistencia en toda su extensión en malla 70 x 70 metros. Asimismo, se realizaron más perforaciones en el Cuerpo 2.

Con los resultados anteriores, se decidió efectuar la perforación de relleno que sustentará el Estudio de Factibilidad del proyecto (Fase 3, 2,001), realizándose perforaciones hasta malla 35 x 35 metros en más del 80% de los Cuerpos 2 y 5. Como resultado de estas campañas se logró obtener Recursos Medidos-Indicados de 34 millones TM con 5.2%Zn, 0.8 %Cu, 0.6 %Pb y 36 gpt Ag (usando un cut off de 19 \$/TM) y Recursos Inferidos de 10.5 millones TM con 3.8 %Zn, 0.9 %Cu, 0.3 %Pb y 31 gpt Ag.

Toda esta campaña exploratoria permitió conocer con bastante detalle el depósito, efectuándose una serie de conclusiones geológicas, mineralógicas y estructurales que permitirán conducir campañas exploratorias hacia nuevos targets en su entorno y en otros de la región.

En el presente trabajo, se presenta los resultados obtenidos en los Cuerpos 2 y 5 que tienen mayor información, dejando de lado el Cuerpo 1 que se encuentra más afectada por fallamientos y tiene mayor intercalación de rocas volcánicas.

CAPITULO II.- GENERALIDADES

2.1 Ubicación y Acceso

El proyecto Cerro Lindo se ubica en la quebrada Topara, paraje Huapunga del distrito de Chavín, provincia de Chincha, del departamento de Ica (Fig.1).

El acceso desde la ciudad de Lima es el siguiente:

Lima – Chincha	Carretera Panamericana	200 Km	2.5 horas
Chincha – Cerro Lindo	Trocha carrozable	85 Km	3.5 horas
Lima – Cerro Lindo		285 Km	6.0 horas

2.2 Metalogenia

Metalogenéticamente, el proyecto Cerro Lindo se ubica dentro del metalotecto VMS constituido por el Grupo Casma, unidad volcánica submarina de edad Albiana (Cretáceo medio) que aflora paralela a la costa, desde el norte del Perú hasta el departamento de Ica, ocupando el flanco oeste de la Cordillera Occidental de los Andes y la Llanura Costera (Fig.2).

Las unidades volcánico sedimentarias se emplazan debido a que durante el Jurasico superior se constituye una margen de subducción activa, paralela a la línea de costa actual, con un arco de islas asociado a una cuenca back arc, donde la placa oceánica se sumerge con alto ángulo debajo de la placa continental.

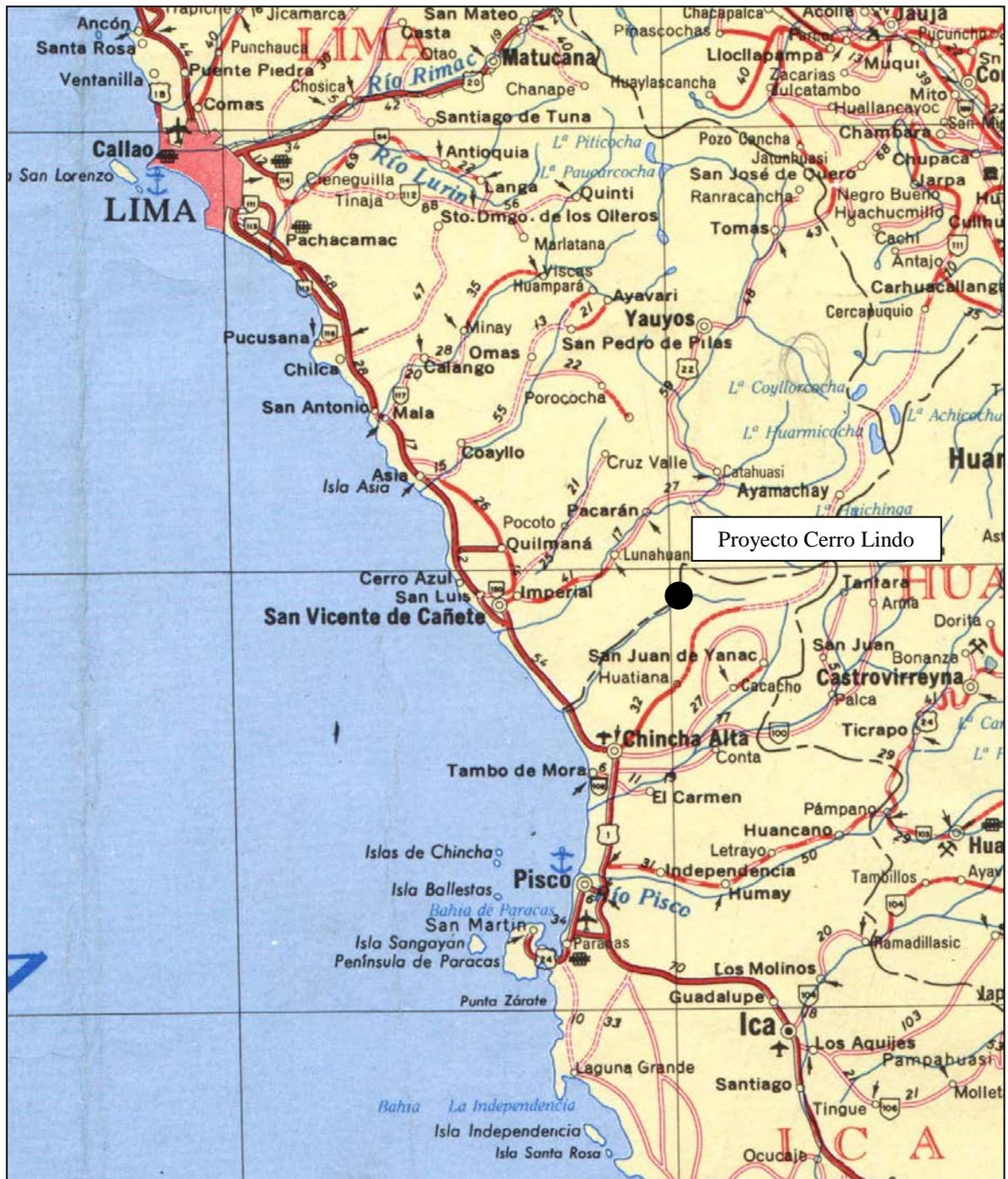


Figura 1: Ubicación y acceso al proyecto Cerro Lindo

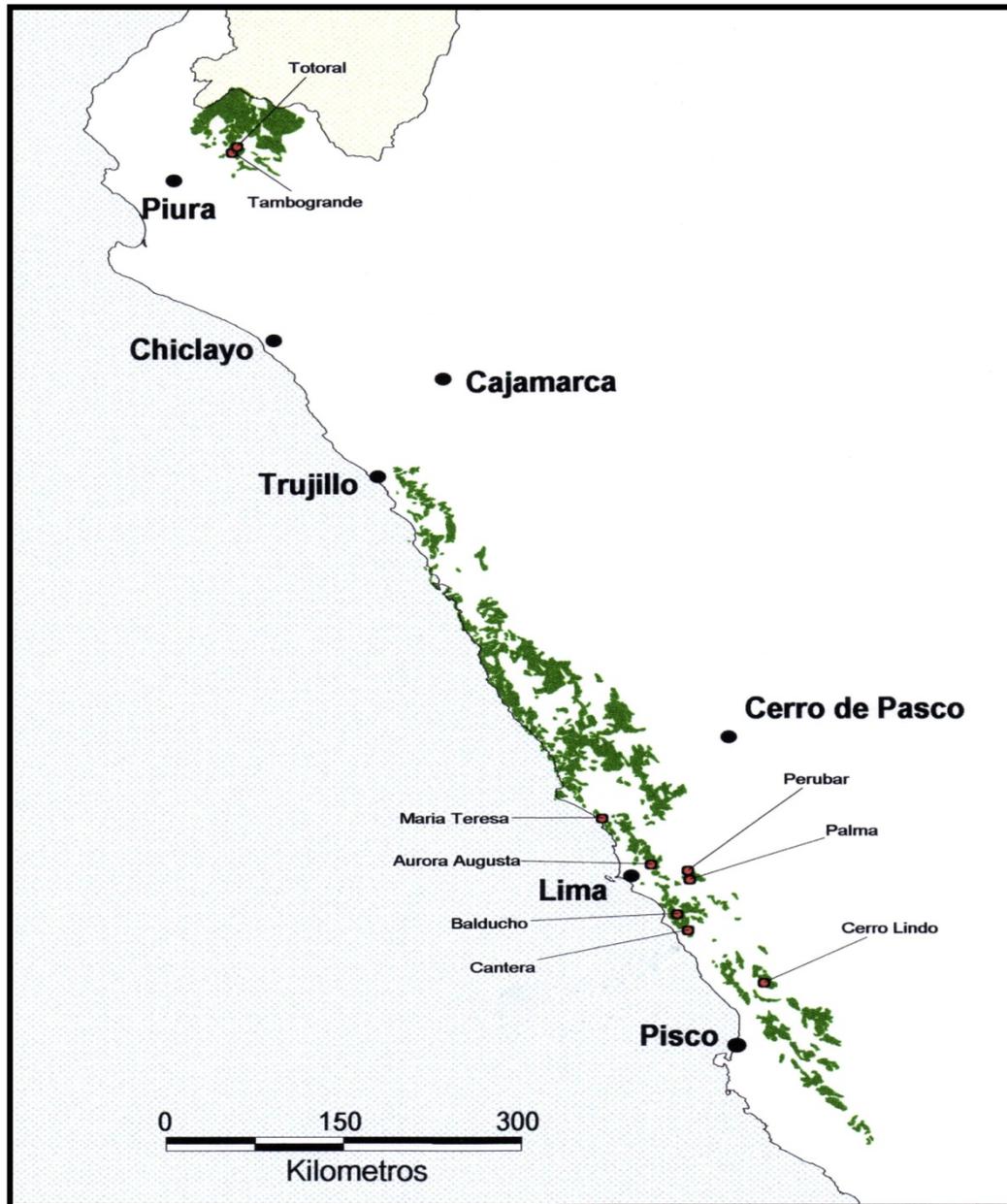


Figura 2: Principales depósitos de sulfuros masivos en el Perú

El régimen extensional de la cuenca back arc produjo un incremento de la gradiente geotermal y el adelgazamiento de la corteza continental sin llegar a dividir esta corteza y formar una corteza oceánica, por lo que se considera como una cuenca back arc del tipo abortado.

En el sector oeste de la cuenca back arc, el ambiente deposicional fue fuertemente influenciado por el vulcanismo y el incremento de la gradiente geotermal dirigiendo el relleno vulcano sedimentario y su metamorfismo de soterramiento e hidrotermal, mientras que hacia el este la actividad volcánica decae notablemente y se caracteriza por el predominio de sedimentación silicoclástica y de plataforma carbonatada.

La deposición de sulfuros masivos, dentro de este ambiente de cuenca back arc, está fuertemente relacionada a fallas sinvolcánicas o sindeposicionales y/o subsidencias de caldera que habrían permitido el ingreso de fluidos hidrotermales que evolucionaron hasta conformar los depósitos y ocurrencias que se conocen. Los prospectos y proyectos más importantes de sulfuros masivos vulcanogénicos asociado al vulcanismo Cretácico (Grupo Casma y unidades correlacionables) son: Tambogrande, Potrobayo, Totoral, María Teresa, Aurora Augusta, Perubar, Palma y Cerro Lindo (Figura 2).

2.3 Geomorfología

Geomorfológicamente, el área es muy accidentada con pendientes pronunciadas que caracterizan a las áreas donde el Batolito de la Costa es cortado por los ríos conformando el desarrollo de valles en V, según se sube hacia las cumbres el relieve tiende a suavizarse topográficamente (Foto 1).

Dada la pendiente abrupta y el encañonamiento de la quebrada, es difícil la formación de suelos que principalmente son antiguas terrazas preservadas por el levantamiento de los Andes.

2.4 Clima y vegetación

La temperatura promedio en el proyecto alcanza los 15.5 °C, con una temperatura máxima promedio de 17.5 °C y la temperatura mínima promedio es de 13.5°C. El promedio máximo de precipitación por año es de 102 milímetros y el promedio mínimo es de 63.5 milímetros. La elevación fluctúa entre los 1500 y 2200 metros sobre el nivel del mar.

Los suelos son restringidos por el encajonamiento de la quebrada, por eso su limitada producción agrícola que principalmente alcanza solo para la alimentación de una familia que vivió en el entorno (Foto 1).



Foto 1: Vista panorámica del proyecto

El río Topara que atraviesa el proyecto es de régimen torrencial durante los meses de diciembre a febrero, cambiando durante los meses de marzo a noviembre cuando decrece su caudal, llegando en ocasiones a agotarse durante el mes de Julio.

Durante los meses de lluvia en las alturas, se llega a tener precipitaciones de duración variable con incremento en la velocidad de los vientos; pero durante los meses de marzo a noviembre el calor es muy fuerte, determinado fundamentalmente por la fuerte disminución de la velocidad de los vientos.

La vegetación es escasa y se circunscribe a hierbas y arbustos de vida efímera, que se desarrollan durante los meses de lluvia, predominando las gramíneas así como los arbustos, subarbustos y cactus.

2.5 Historia de la exploración

En el proyecto Cerro Lindo, desde la década del 70 hasta el año 2002, se realizaron las siguientes actividades exploratorias:

- Durante 1,973, se realizó geofísica por el método de IP reconociendo 5 anomalías prospectivas. No se tiene información de trabajos posteriores producto de los resultados obtenidos.
- En el año 1,984, BTX recolectó muestras de afloramientos, que arrojaron contenidos interesantes, cuyo valor más alto fue de 40 gpt

Ag. Con este resultado se ejecutó 2 galerías de exploración con una corrida de 101 metros en conjunto, que cortaron mineralización de Zn-Pb-Ag-(Cu) con valores de Ag menores a los de superficie y con incremento de Zn y Pb.

- Durante los años 1,987 y 1,988 se realizó un levantamiento topográfico a escala 1/500, muestreo de afloramientos y la construcción del acceso a partir de la ruta existente entre Chíncha y Chavín. Se paraliza el programa debido a los problemas que atravesaba el país en esa época.
- Entre los años 1,992 y 1,993 se termina la construcción del tramo final de acceso al proyecto y se realizaron trincheras con buldozer, transversales a los afloramientos de baritina; efectuando conjuntamente la geología y muestreo de las trincheras y el remuestreo de las galerías antiguas.
- Durante los años 1,993 a 1,995, guiados por los resultados anteriores, se ejecuta 2,890 metros de galería en 3 niveles, 62 metros en 2 chimeneas y 205 metros de rampa, muestreo y geología de las galerías y la prospección regional de las propiedades de Milpo. Durante 1,995 se lleva a cabo un programa de perforación DTH, realizando 29 taladros con 3,554 metros. La ejecución de todos estos trabajos exploratorios, permiten definir la existencia de los Cuerpos 4, 1 y 2, determinando sus dimensiones y contenidos. Regionalmente, se reconoce la existencia de la prolongación hacia el noroeste de las anomalías geoquímicas y de color. Estos resultados interesaron a

Phelps Dodge, quienes continuaron con la exploración de este proyecto.

- Entre los años 1,996 y 1,997, Phelps Dodge realizó la perforación de 19 taladros DDH con 6,725 metros, llevando a cabo el estudio geofísico por el método PROTEM (EM moving loop) que incluso incluyó la franja prospectiva de anomalías geoquímicas y de color, llegando a perforar 8 taladros en las anomalías al NW de Cerro Lindo.
- En el año 1,999, MILPO retoma la exploración, efectuando la reinterpretación del depósito con los resultados anteriores, determinando un programa que involucró la perforación de 18 taladros diamantinos con 4,879 metros, además de 168 metros de galería. El resultado principal fue la confirmación de la continuación del yacimiento hacia el SE, definiéndose la existencia del Cuerpo 5 y se incremento el conocimiento de los Cuerpos 1 y 2.
- En el año 2,000 se realizó la ejecución de 49 taladros diamantinos con 12,248 metros, 515 metros de galería, 37 metros de chimenea y 363 metros de rampa; con lo cual se confirmo la excelente continuidad de la mineralización y la alta ley de Zn en el Cuerpo 5 y se incrementó las perforaciones en el Cuerpo 2.
- En el año 2,001 se ejecutó 62 taladros diamantinos con 11,259 metros y 282 metros de galerías; con estos trabajos se consiguió tener una malla que permite delimitar como recursos medidas- indicados a más del 75% del total de recursos.

- En febrero de 2,002, se culmina el Estudio de Factibilidad, pero la coyuntura de esa época no permitió el inicio de la construcción de la actual mina en producción.

2.6 Objetivos

El objetivo inicial de los trabajos exploratorios reiniciados en 1999 fue determinar la viabilidad económica de este proyecto; los resultados obtenidos no solo determinaron la viabilidad de este proyecto sino que se llegó a determinar la continuidad hacia el SE del Cuerpo 2, denominándolo Cuerpo 5. Con estos resultados se continuó la exploración hasta llegar a determinar las reservas existentes en los 800 metros de longitud que tiene el conjunto de cuerpos de sulfuros masivos, seccionados por fallamiento.

Todo este proceso fue dinámico; inicialmente se realizaron perforaciones aisladas que permitieron reconocer la existencia de los cuerpos de sulfuros masivos y la calidad de los horizontes mineralizados, con los resultados se perforaron taladros intermedios, para finalmente llegar a una malla de 35 x 35 metros que según estudios geoestadísticos permiten asignar la categoría de recursos indicados considerando solo taladros diamantinos.

Los objetivos del presente trabajo son presentar los resultados obtenidos acerca del conocimiento paulatino de este yacimiento a lo largo de su exploración, que puede dividirse en:

- Definir la estratigrafía de los cuerpos de sulfuros masivos, mediante una subdivisión basada en su contenido mineralógico – litológico que a su vez está relacionado a su génesis.
- Definir el zonamiento metálico de Zn, Cu y el Ratio Cu en las diferentes litologías y unidades estratigráficas dentro de los sulfuros masivos.
- Estudiar la mineralización de Cu, a fin de definir un control (de cualquier tipo) que permita efectuar un minado controlado.
- Definir el foco o focos de mineralización y su relación con el entorno geológico como guía para continuar con la exploración de este yacimiento.
- Presentar los resultados finales de las diferentes fases de exploración para que pueda ser utilizada como material de consulta en la exploración de otros depósitos similares.
- Finalmente, optar el Título de Ingeniero Geólogo.

2.7 Metodología de trabajo

Como resultado de los diferentes programas de exploración que comprendían galerías y sondajes diamantinos, se ha identificado inicialmente diferentes unidades estratigráficas dentro de los cuerpos de sulfuros masivos, variando paulatinamente la interpretación de estas unidades dentro de los sulfuros masivos cada vez que se tenía mayor

información. La interpretación presentada en el presente informe cuenta con todos los datos producto de los trabajos anteriormente mencionados.

Para facilitar la interpretación de la geología se determino un sistema de coordenadas locales que permitía obtener secciones de corte casi perpendiculares al rumbo general de los cuerpos; todas las secciones fueron elaboradas usando este sistema.

La interpretación se realizó inicialmente con secciones cada 150 metros, disminuyendo paulatinamente según se iba conociendo el depósito con las perforaciones ejecutadas, hasta llegar a secciones cada 25 metros.

A partir de las interpretaciones se elaboraron secciones longitudinales (en realidad proyecciones a planos verticales NS del sistema de coordenadas locales) al cual se le grafico los puntos medios de cada unidad estratigráfica económicamente importante que relacionaba a una base de datos con geología y resultados promedio de análisis químicos permitiendo estudiar el zonamiento geológico y metálico en toda su extensión real, ayudando también a programar nuevos taladros.

Con todos los taladros obtenidos se realizo una nueva interpretación del zonamiento metálico longitudinal que será presentado en el presente trabajo, enfatizando en el Cu, Zn y Ratio Cu que como se verá más adelante resultan importantes para la exploración de estos depósitos.

También se realizó un estudio estadístico y de correlación de los elementos económicos (Au, Ag, Cu, Pb, y Zn) para cada una de las litologías determinadas por la presencia de los cuerpos de sulfuros masivos.

Adicionalmente, se realizó el estudio de 06 secciones pulidas provenientes de tramos de alta ley de Cu en diferentes litologías para determinar la forma de su emplazamiento y poder obtener un control geológico que pueda usarse en futuras etapas de minados y exploración del entorno.

CAPITULO III.- CARACTERISTICAS GENERALES DE LOS YACIMIENTOS VMS

3.1 Características generales de los yacimientos VMS

Las principales características de los depósitos VMS se describen en la Tabla 1.

Tabla 1: Características generales de los yacimientos VMS

Origen	<ul style="list-style-type: none"> • Formados en ambientes submarinos. • Generalmente asociados a vulcanismo bimodal, a lo largo de domos de composición riolítica a riodacítica • Formados por el ascenso de fluidos hidrotermales y la mezcla con agua de mar, que produce el reemplazamiento de la roca debajo del fondo oceánico y la exhalación de mineralización que precipita comportándose como sedimento. • Depósitos singenéticos formados al mismo tiempo que la actividad volcánica submarina a la que se asocian
Marco Tectónico	<ul style="list-style-type: none"> • Ambientes de Rift • Cuencas de Intra-arco y Tras-arco de régimen extensional.
Tipos	<p>Según Franklin et al (1990), se divide en 5 grupos.</p> <p>Tipo 1, incluye depósitos en arcos formados sobre subducción predominantemente piso oceánico (secuencias volcánicas bimodales). Están formadas en un ambiente intraoceánico, donde el basalto es dominante, pero alguna fusión de corteza oceánica ha generado un componente félsico. La abundancia de rocas félsicas en este tipo de distritos VMS es usualmente menor del 25%. Las rocas sedimentarias están confinadas a pocas unidades clásticas de flujo interno (intraflow), y rocas epiclásticas proximales. Estratos piroclástico están subordinados a flujos, con basaltos en almohadilla, flujos félsicos y prominentes domos de flujo. Sinónimos: Superior, Primitivo, Noranda.</p> <p>Tipo 2, están relacionados a subducción continente-océano (secuencias bimodales félsicas dominantes). Las rocas félsicas típicamente forman 35 a 70% de los estratos volcánicos, con basalto formado como residuo. Estratos sedimentarios son más abundantes, pero no dominantes. Estratos piroclásticos submarinos son dominantes, y rocas máficas son típicamente andesitas, con moderada vesicularidad y hialoclastita común. Algunas porciones de estas secuencias pueden ser subaéreas. Sinónimos: Kuroko.</p>

	<p>Tipo 3, también son dominados por estratos volcánicos y están en secuencias ofiolíticas. Aunque las ofiolitas son más comúnmente atribuibles a ambientes de cadenas oceánicas medias (mid-ocean ridges), Robertson (1990) presenta evidencia convincente que los depósitos Cyprus asociados a ofiolitas se formaron sobre una zona de subducción intra-oceánica. Otras secuencias ofiolíticas son similares en ambientes extensivos relacionados a tras arco (back-arc). así, por comparación, depósitos asociados a ofiolitas están incluidos en nuestro grupo relacionado a arco de depósitos VMS. Sinónimo: Cíprus.</p> <p>Tipo 4, la mayoría de depósitos de este tipo se encuentra en secuencias sedimento-basáltico (back arc, similar a Besshi). Basalto y sedimento pueden ser sub iguales en este tipo de ambiente, y aunque estratos sedimentarios son más prominentes en los ejemplos "tipo" en la mina Besshi - Shikoku Prefecture - Japan, secuencias basálticas pueden ser dominantes. Volcánicos félsicos son generalmente menores. Los sedimentos son típicamente pelitas de agua profunda, wacke y cuarcita subordinada. Sinónimo: Beshi.</p> <p>Tipo 5, se encuentran en arcos maduros (epi-continental?) y tras arcos (back-arc), donde volcánicos félsicos y/o estratos sedimentarios son dominantes. En este Tipo, estratos sedimentarios (incluyendo rocas epiclásticas) podrían formar tanto como 80% de la secuencia total, acompañados de rocas piroclásticas félsicas. Basalto, si esta presente, es menor y típicamente se encuentra en las secuencias de la caja techo. Sinónimo: Mac Arthur, Sullivan.</p>		
<p>Características Petrológicas</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Asociado a vulcanismo bimodales principalmente y en condiciones submarinas con presencia de hialoclastitas y peperitas (lava con sedimentos marinos). • Alojados en zonas cercanas a domos de naturaleza riolítica a riodacítica. también pueden estar presentes en cuerpos brechados. 		
<p>Alteraciones (Figura 4)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo 1 • Tipo 2 • Tipo 3 • Tipo 4 	<p>Ensamblajes mineralógicos</p> <p>Zona Superior: Feldspato destruido, mica-K +/- paragonita. Zona Inferior: albita-actinolita-cuarzo-epidota.</p> <p>Zona Superior: Feldspato potásico, adición de carbonato (Carbonato Fe se incrementa hacia el mineral). Destrucción amplia de albita, abundante aluminosilicatos (andalucita) Zona Inferior: Albita, adición de epidota.</p> <p>Similar a Tipo 1</p> <p>Carbonato, adición de</p>	<p>Cambios químicos</p> <p>Zona Superior: -Na, +K, +Mg (cerca de mineral). Zona Inferior: +Na, +Si (local), -Cu, -Zn</p> <p>Zona Superior: +CO₂, -Na, +K</p> <p>Zona Inferior: +Na?</p> <p>Similar a Tipo 1</p> <p>Zona Superior: +K,</p>

	<ul style="list-style-type: none"> Tipo 5 	<p>feldespato potásico, barita amplia incrementándose hacia mineral.</p> <p>Zona Inferior: Completa perdida de feldespato potásico, carbonato, mica-K.</p> <p>Feldespato potásico, arcillas en capas mezcladas (smectira-clorita), zeolita, carbonato.</p> <p>Zona Inferior: Albita-Clorita-Actinolita-epidota</p>	<p>+BA, +CO₂</p> <p>Zona Inferior: -K, -Rb, -Ba, -Cu, -Zn, +Ca, -CO₂</p> <p>Zona Superior: +K, +Mg</p> <p>Zona Inferior: +Na, +Ca</p>
Minerales presentes	<ul style="list-style-type: none"> Mena: Galena, esfalerita, calcopirita, sulfosales de cobre, sulfosales de plata, telururos, bornita, arsenopirita. Ganga: cuarzo, baritina, pirita, clorita, rodocrosita, fluorita, calcita, siderita, ankerita, sericita, adularia, caolinita. 		
Metales	<ul style="list-style-type: none"> Chipre: Cu-Au-(Zn), Mn y Fe Besshi: Cu, Zn, Au), Ag, Ni, Co, Cr y halos de Mn. Kuroko: Au, Pb en gossan, Cu, Zn, Pb, Ba, As, Ag, Au, Se, Sn, Bi y Fe 		
Características Generales	<ul style="list-style-type: none"> Estilos de mineralización (forma): Estratoligadas y estratiformes, en ocasiones subconcordantes e incluso discordantes con sistemas de alimentación en stockwork (Figura 3). Zonamiento metálico, con presencia de mineralización Pb-Zn en niveles superiores y Cu-(Au) en niveles más profundos. Enriquecimiento supergénico y existencia de masas (bolsonadas) en zonas restringidas. 		
Ejemplos en Perú	<ul style="list-style-type: none"> Tambogrande, Potrobayo, Totoral, Leonila-Graciela (Perubar), Cerro Lindo, Palma, Balducho, etc. (Figura 2). 		

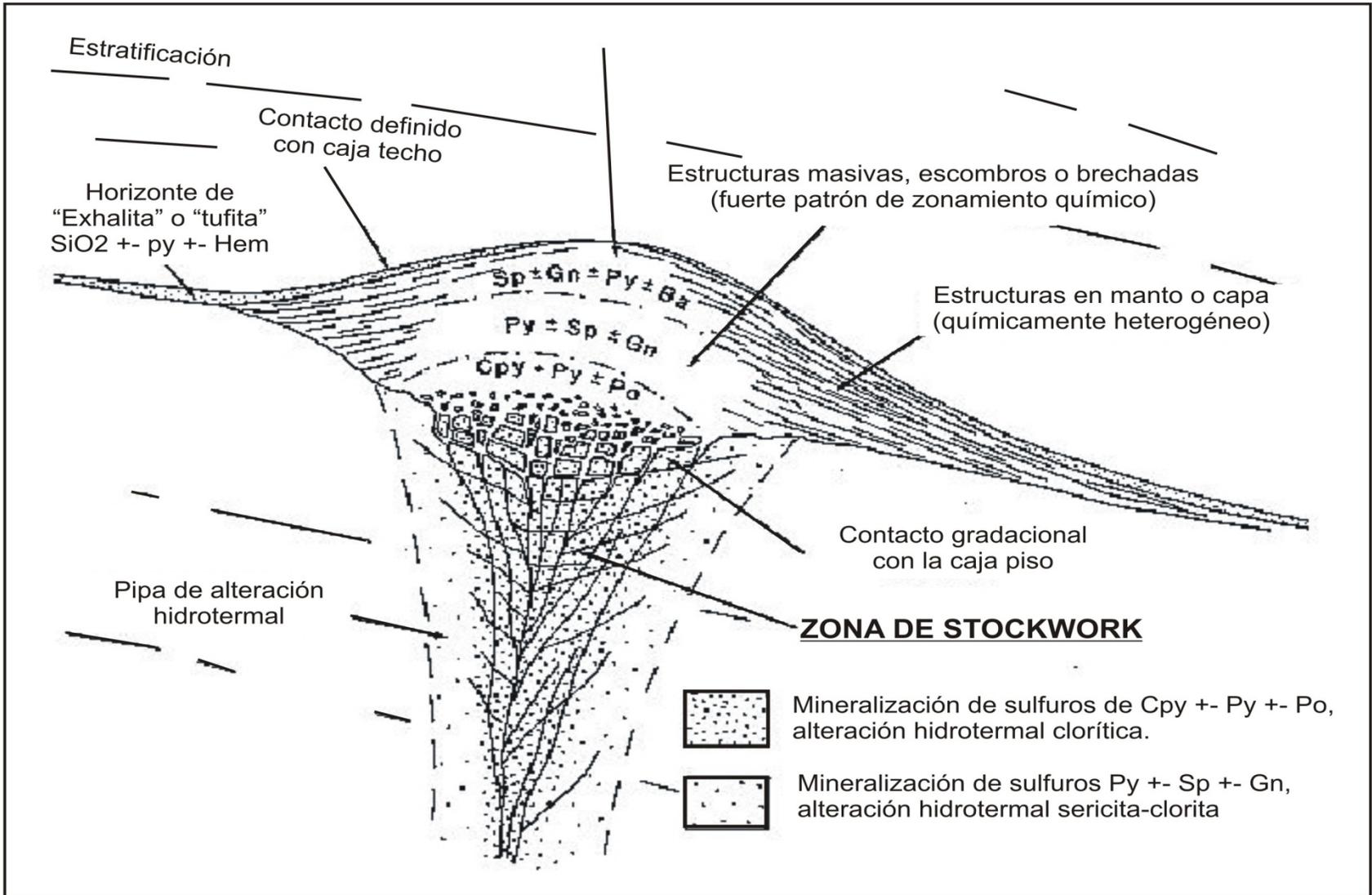
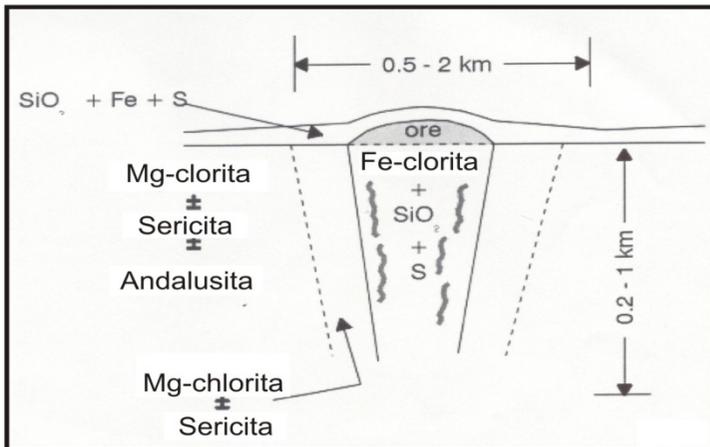
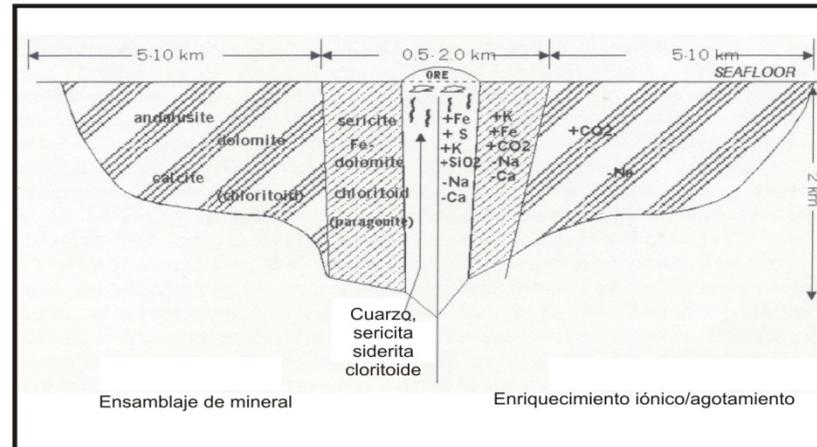


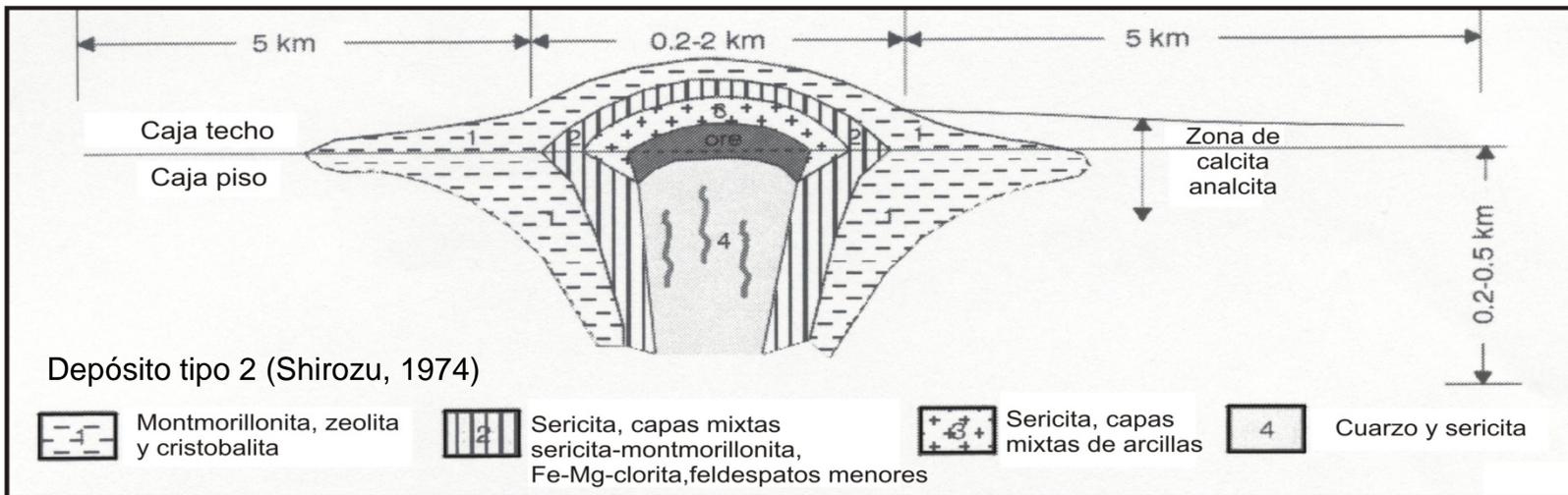
Figura 3: Esquema de un depósito de sulfuro masivo típico (Sangster y Scott, 1976)



Depósito tipo 1 (Franklin, 1993)



Depósito tipo 2 (Franklin, 1995)



Depósito tipo 2 (Shirozu, 1974)

Montmorillonita, zeolita y cristobalita

Sericita, capas mixtas sericita-montmorillonita, Fe-Mg-clorita, feldspatos menores

Sericita, capas mixtas de arcillas

Cuarzo y sericita

Figura 4: Alteración en Yacimientos VMS

3.2 Etapas de formación de edificios de Sulfuros Masivos

Aunque la génesis de los depósitos de sulfuros masivos puede tener variaciones la evolución general es la siguiente (Figura 5):

- Etapa 1: Precipitación de esfalerita, galena, pirita, tetraedrita, baritina con cantidades menores de calcopirita por mezcla de fluido a 200°C con agua de mar.
- Etapa 2: Recristalización y aumento del tamaño del grano de minerales por efecto de circulación de fluido a 250°C, continúa la depositación de esfalerita, galena, etc.
- Etapa 3: Influjos de soluciones ricas en Cu a 300°C, produciendo el reemplazo de la porción inferior (mena amarilla) y redepositación de minerales reemplazados más arriba.
- Etapa 4: Circulación de fluidos calientes sub-saturados en Cu disolución de calcopirita y reemplazo por pirita en la base del depósito.

- Etapa 5: Deposición de exhalitas de chert-hematita en torno al depósito (esto también ocurre en las etapas previas), mucho SiO₂ se deposita en el stockwork subyacente.
- Etapa 6: Preservación por cubierta de lavas o sedimentos. Los depósitos que quedan expuestos a la acción marina se oxidan y se destruyen por acción de meteorización submarina transformándose en capas de "ocre" constituidas por cuarzo, goethita, illita, jarosita. Solo si los depósitos son cubiertos se evita la meteorización submarina y los depósitos pueden preservarse.

En realidad las etapas 1 al 5 ocurren simultáneamente dentro del edificio de sulfuros masivos en formación, resultando un zonamiento particular relacionado a su origen y a los procesos geoquímicos ocurridos. Algunos depósitos, después de la etapa de preservación, sufren procesos geotectónicos y metamórficos que modifican las características primarias de la mineralización.

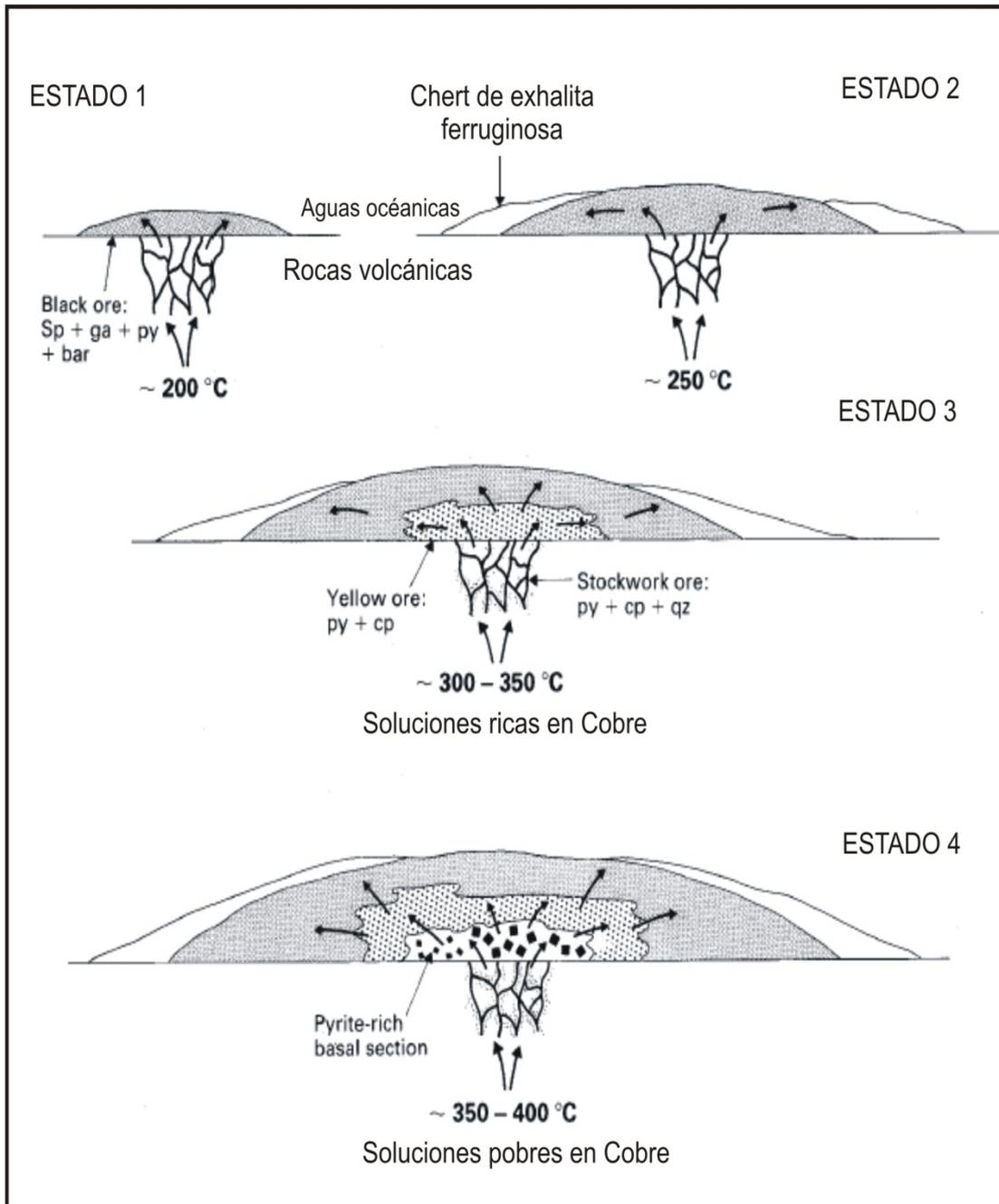


Figura 5: Etapas de la formación de depósitos VMS. (Evans, 1993)

CAPITULO IV.- GEOLOGIA REGIONAL

4.1 Litología

Regionalmente, aflora la Formación Huaranguillo que descansa como un roof pendant sobre intrusivos pertenecientes al Batolito de la Costa (Fig. 6).

4.1.1 Formación Huaranguillo

La localidad típica de la Formación Huaranguillo aflora en la quebrada Huaranguillo al NE de la hacienda Lunche en el río San Juan, donde tiene una potencia estimada de 3,000 metros y se divide en 2 miembros: Miembro Inferior, representado por lutitas pizarrosas laminadas, lutitas y cenizas volcánicas alternadas con horizontes andesíticos en capas medianas y ocasionalmente con calizas finas estratificadas, y Miembro Superior que consiste de caliza negra en capas de 5 a 40 centímetros, hacia el tope se intercala con horizontes de lutitas pizarrosas laminares y lechos de volcánicos.

La Formación Huaranguillo tiene un rumbo general de N60°W y buza preferencialmente al SW, aunque al estar afectado por plegamientos no es raro encontrar algunos buzamientos al NE (Plano Geológico Regional).

Se describe esta formación a partir de lo observado en la línea que une los cerros Toldo Chico, Gallorumi y Pahuaypite (Figura 7):

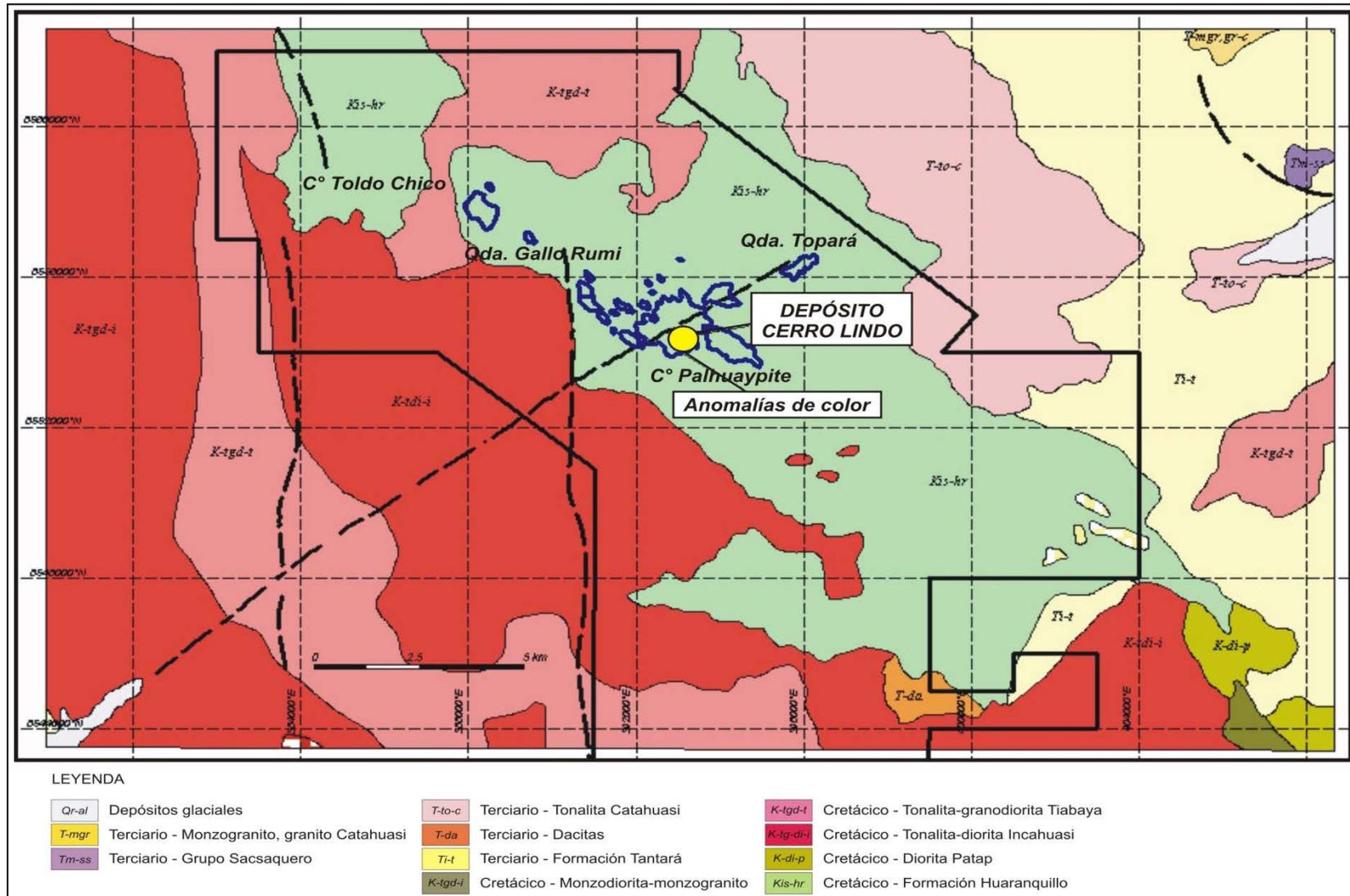


Figura 6: Geología Regional de la propiedad (Modificado de Ingemmet 1993)

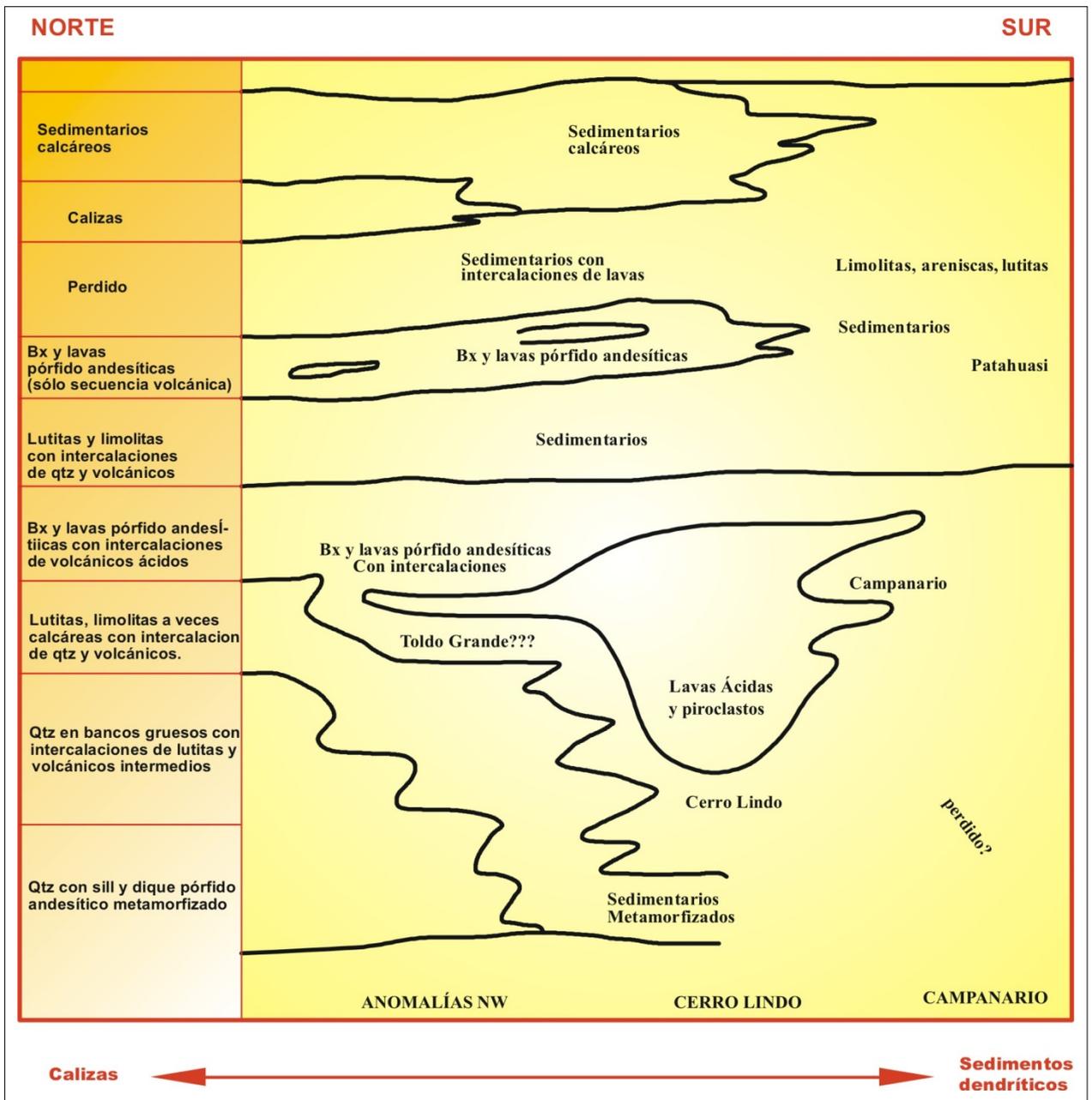


Figura 7: Columna estratigráfica regional esquemática

- Comienza con cuarcitas con intercalaciones de lutitas, limolitas y lavas volcánicas metamorfizadas; que cerca al contacto con el intrusivo granodiorítico está cortado e intercalado por diques y sills microdioríticos que también se metamorfizan a hornfels moteados hacia el contacto.
- Sigue una potente secuencia de cuarcitas con intercalaciones de lutitas-limolitas y lavas andesíticas que en parte de encuentran metamorfizadas como pizarras-esquistos y hornfels-esquistos moteados, respectivamente.

Hacia el SE (hacia Cerro Lindo) estas 2 unidades continúan aflorando en la parte baja de las anomalías Toldo Grande a Pucatoro, e incluso se le puede observar su ocurrencia en el camino de herradura que va hacia Pucasalla (Phelps Dodge lo interpretó como milonitas).

- Luego se presenta una potente secuencia de brechas y lavas pórfido andesíticas con intercalaciones de secuencias volcánicas ácidas de 20 a 120 metros de potencia con longitudes aflorantes de 300 a 1000 metros (Festejo 30). Esta unidad incrementa su potencia hacia el sureste con un incremento paulatino de volcánicos ácidos donde se emplazan las anomalías o prospectos que alcanzarían su máxima expresión en Cerro Lindo (donde los volcánicos ácidos predominan ampliamente sobre los volcánicos intermedios), pero no parece continuar hasta el Cerro Campanario donde solo se reconocieron intrusivos y secuencia sedimentarias detríticas. Hacia el NW, esta unidad presenta intercalaciones de unidades sedimentarias, lutitas,

limolitas y cuarcitas que paulatinamente van predominando progresivamente. El metamorfismo de los volcánicos andesíticos origina esquistos y hornfels moteados biotíticos y el metamorfismo de los volcánicos ácidos origina hornfels de color blanquecino.

- Continua una secuencia sedimentaria con predominio de lutitas gris negras, limolitas, y cuarcitas, con intercalaciones de lavas andesíticas y sin presencia de secuencias calcáreas.
- Siguen brechas volcánicas con intercalaciones de lavas pórfido andesíticas; las brechas tienen fragmentos de volcánicos ácidos de diferente tamaño con predominio de fragmentos de 8 a 20 centímetros.

Las 2 unidades anteriores serían equivalentes a la secuencia volcánica sedimentaria reconocida en laderas de la quebrada Topara y que más al sur se convertirían en secuencias sedimentarias compuestas por limolitas, areniscas y cuarcitas.

- Luego de 4 kilómetros de afloramientos del Batolito, se reconoce lo que sería el tope o equivalente del miembro superior mencionado en localidad tipo, presentando intercalaciones de lutitas negras carbonosas, limolitas grises a negras y cuarcitas grises a blancas, horizontes calcáreos y calizas negras que originan amplios afloramientos de skarn y metasedimentos que descansan a manera de roof pendant sobre el intrusivo de Batolito; mientras que al sur solo afloran lutitas limolitas y cuarcitas con escasa o nula intercalación de secuencias calcáreas.

Como se observa, existe una variación lateral en función al contenido de secuencias calcáreas y calizas, dado que en el extremo sureste las secuencias sedimentarias no presentan secuencias calcáreas, mientras que al extremo noroeste existe desarrollo de estas secuencias con calizas.

4.1.2 Intrusivos

Se ha definido la existencia de diferentes intrusivos, de antiguo a reciente:

- Intrusivo Microdiorítico: Aflora en el sector NW (como referencia Festejo 30) donde esta englobado por el intrusivo granodiorítico. Este intrusivo sería el que penetra como sills y diques en las secuencias sedimentarias para luego ser metamorfizadas hacia el contacto con el intrusivo granodiorítico.
- Intrusivo diorítico de grano medio: Aflora en la propiedad minera Cerro Lindo 6, a manera de un stock de aproximadamente 3 x 1 Kilómetro. Dado su resistencia a la erosión también determina relieves topográficos altos.
- Intrusivo Gabroico: Aflora al sur del petitorio Cerro Lindo 5 y abarca un área de 1 x 1 Kilómetro, siendo englobado por el intrusivo granodiorítico unos 100 a 200 metros debajo de la cumbre.
- Intrusivo Granítico de grano fino a medio: Al parecer viene a ser el resultado del contacto entre el frente del intrusivo y las rocas

sedimentarias superiores ricas en sílice, lo cual unido a una precipitación rápida determina la presencia de estos afloramientos o enclaves (de hasta 200 x 200 metros).

- Intrusivo Granodiorítico: Es el que ocupa la mayor parte del área estudiada y engloba a todas las demás unidades intrusivas, quedando en su mayor parte las unidades sedimentarias e intrusivas como roof pendants sobre este intrusivo. Se caracteriza por ocupar áreas topográficamente bajas.
- Brecha Pórfido Andesítica: Se ha reconocido en el fondo de la quebrada Ventaniyoc y afecta a la granodiorita y granito, se presenta como fragmentos dentro de la matriz de brecha pórfido andesítica con presencia de magnetita diseminada y pirita en venillas y diseminada.
- Diques: Existe gran cantidad de diques afectando las secuencias sedimentarias, los más comunes son los diques de microdiorita, diorita de grano medio, granodiorita y pórfido andesíticos (este último corta incluso al intrusivo granodiorítico).

4.2 Geología Estructural

Desde el punto de vista estructural es compleja la geología de la propiedad, incluso la amplia presencia de intrusivos del Batolito hacen más difícil definir los diferentes eventos estructurales, al haber removido todo durante su emplazamiento hasta encontrar solamente roof pendants en las áreas topográficas altas.

Sin embargo es clara la presencia de grandes fallas regionales de rumbo NE a la que están relacionadas las quebradas Topara y Ventaniyoc; de rumbo NS relacionada a la quebrada Pucasalla, y de rumbo NW relacionada a la quebrada Gallorumi.

CAPITULO V.- GEOLOGIA LOCAL

Dentro del área de los trabajos geológicos, se ha determinado la existencia predominante de unidades volcánicas félsicas de composición riolítica a riodacítica con horizontes volcánicos intermedios; estas unidades están cortadas por diques de composición intermedia a básica.

5.1 Secuencia volcánica

No se ha podido determinar con exactitud los contactos y las diferentes unidades estratigráficas en superficie, un primer intento de determinar una clasificación litológica en superficie arrojó resultados contradictorios con el estudio de litogeoquímica; concluyendo que dentro del área de labores mineras se tiene volcánicos de composición riolítica a dacítica (Figura 8). En superficie se puede reconocer algunas litologías que pueden diferenciarse fácilmente, aunque su clasificación está realizada en función de su coloración determinada por su ensamble metamórfico y no en función de sus protolitos volcánicos. De mayor a menor abundancia:

- Hornfels con ensamble cuarzo–sericita-(muscovita)–biotita-(andalucita), de colores gris claros con variedades rosáceas, con blastos, con textura porfidoblástica con blastos amorfos, redondeados, alargados o irregulares con dimensiones que oscilan entre 0.4 y 2.0 centímetros de diámetro. Los blastos se determinan por la concentración por metamorfismo de sílica, sericita, biotita y andalucita.

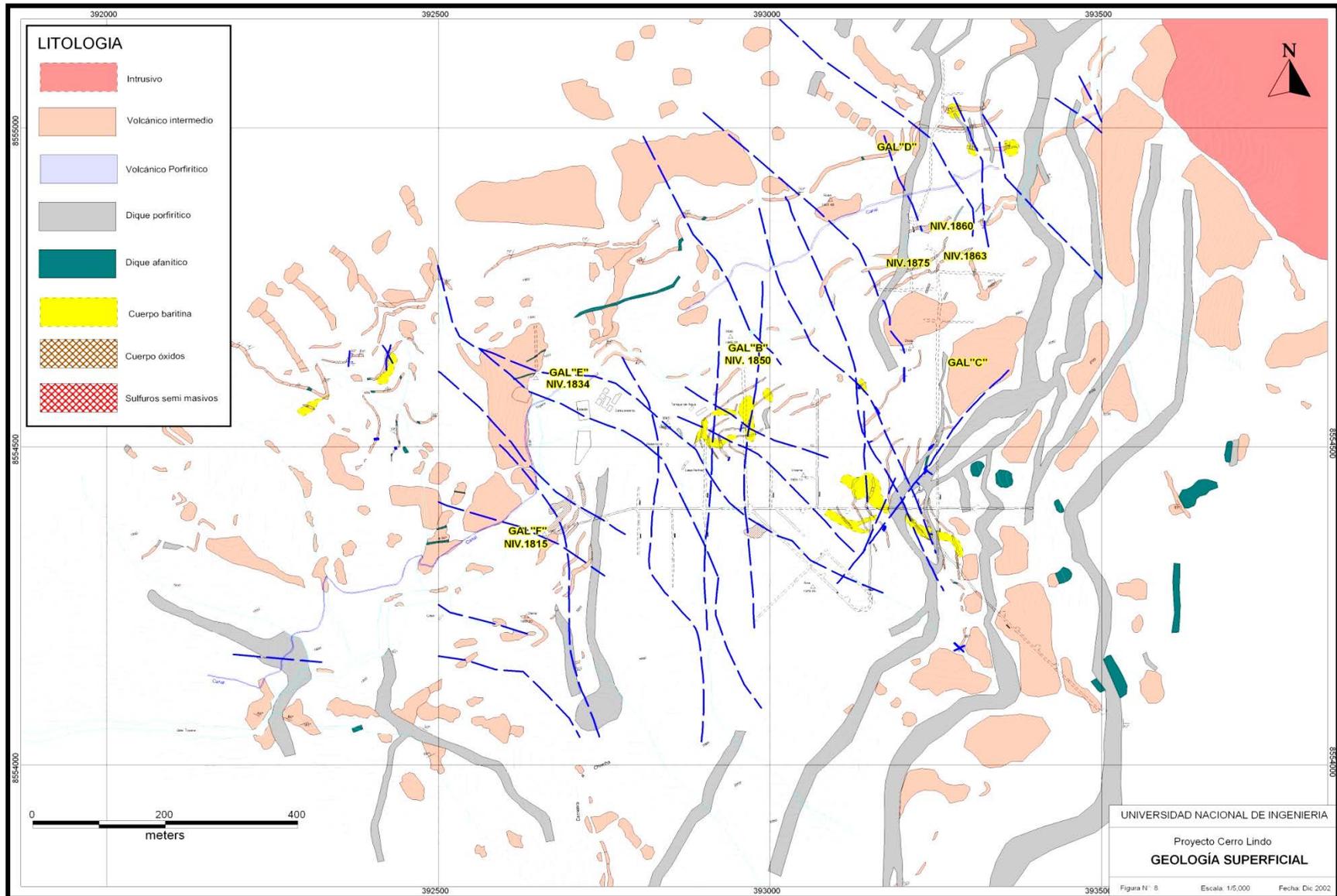


Figura 8: Geología superficial del Proyecto Cerro Lindo

- Hornfels con ensamble sílica-biotita-sericita-(andalucita), de color gris azulado oscuro, con textura porfidoblástico y blastos amorfos, alargados e irregulares de dimensiones que oscilan entre 1 y 2 centímetros y alcanzan excepcionalmente hasta 6 centímetros. Los blastos se determinan por la concentración metamórfica de sílica-biotita.
- Hornfels moteado, de color gris verdoso a marrón oscuro con blastos subredondeados a redondeados de 0.8 a 1.2 centímetros de diámetro que prácticamente están compuestos de biotita-sílica-sericita. Los blastos redondeados serian el producto de la concentración de sílica-biotita por metamorfismo.

Un estudio litológico posterior en los taladros diamantinos ha permitido diferenciar unidades de estos volcánicos félsicos en tufos ceniza, tufos lapilli, brechas y lavas, con predominancia de tufos lapilli y tufos ceniza hacia el techo y piso de los cuerpos de sulfuros masivos.

La alteración más amplia es la sericitización - piritización, presentando moderada a fuerte alteración sericítica – pirítica – (sílica) con incremento de andalucita y biotita como blastos cuando se acerca a cuerpos de sulfuros masivos en la caja piso (Figura 9).

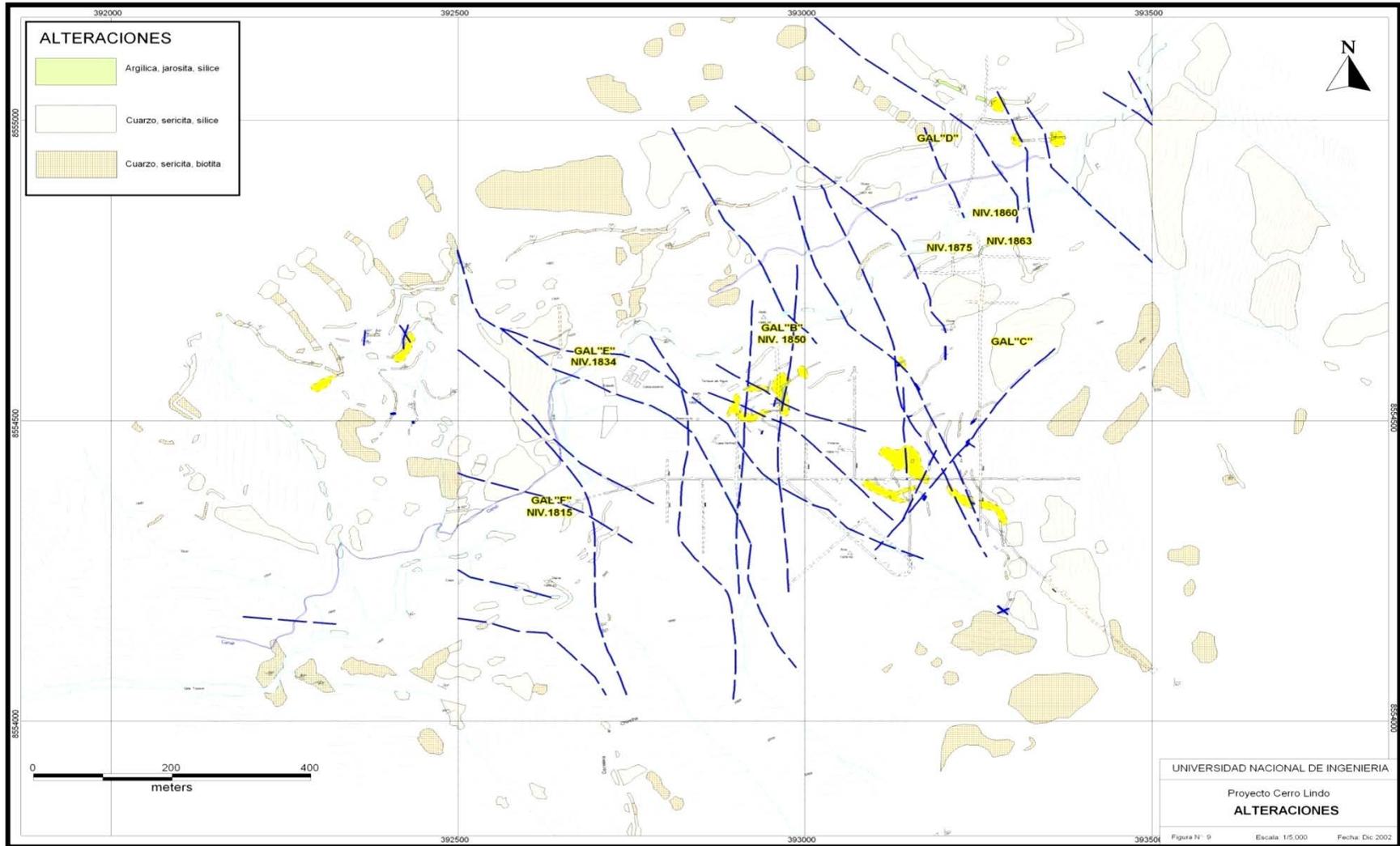


Figura 9: Plano de Alteraciones

5.2 Afloramiento de baritina

Existen 2 afloramientos principales en la ladera SE de la quebrada Topara, que han constituido las evidencias principales para despertar el interés exploratorio en el proyecto. Se trata de 2 franjas o afloramientos de baritina que tienen un rumbo general N55°W, alcanzan una longitud de 550 metros, presentan afloramientos parcialmente descubiertos por las trincheras con buldózer con anchos de 10 a 20 metros y 5 a 50 metros respectivamente. Estos afloramientos han sido el objetivo para la exploración inicial (Fig. 8).

También, existen 3 afloramientos de baritina en la ladera NW de la quebrada Topara (393,400 – 8,554,600) que afloran con potencias de 0.5 a 2.5 metros con rumbo aproximado EW y buzamientos bajos hasta subhorizontales hacia el sur.

Se reconocen otros afloramientos de baritina río arriba en la ladera NW de la quebrada Topara (392,300 – 8,555,000) que junto con lo descrito en el párrafo anterior, constituyen blancos para exploración futura.

5.3 Cuerpo de Sulfuros Masivos (Cuerpo 4)

En el fondo de la quebrada Topara afloran sulfuros masivos y semimasivos, descritos por Ly, 1997 (393,200 – 8,454,800) para explicar el zonamiento litológico y metálico del proyecto. Se describe este afloramiento en el sentido de la dirección del flujo de agua; inicia con una secuencia volcánica félsica

con venillas de pirita que gradualmente pasa de una zona de stockwork, luego a sulfuros semimasivos con bloques redondeados de volcánico silicificado y piritizado con matriz de pirita, llegando a constituir sulfuros masivos bandeados que a su vez pasan a intercalaciones de tufos ceniza y tufos lapilli (Figura 8 y 9).

La potencia de los sulfuros semimasivos es de 25 metros y la potencia de los sulfuros masivos es de 5 metros; el rumbo es N20°W; la continuidad de este afloramiento ha sido estudiada mediante las galerías D y C sin encontrar buena continuidad, catalogándola como un blanco exploratorio de segundo nivel por el momento.

5.4 Diques

La mayoría de los diques son pórfidos andesíticos con cristales feldespáticos en matriz afanítica gris verdosa que presenta 2 tamaños de grano, 1 a 2 y 5 a 8 milímetros de diámetro; se ha podido determinar 2 sistemas de diques con esta composición:

El primero y de mayor extensión, tiene rumbo variable que va de N45°E a N05°W con buzamientos que van desde la vertical hasta 80° al SE y E (Foto 2), su importancia radica en que es perpendicular y corta a los sulfuros masivos y al batolito, indicando que corresponde a una falla antigua que ha ido reactivándose en diferentes épocas.

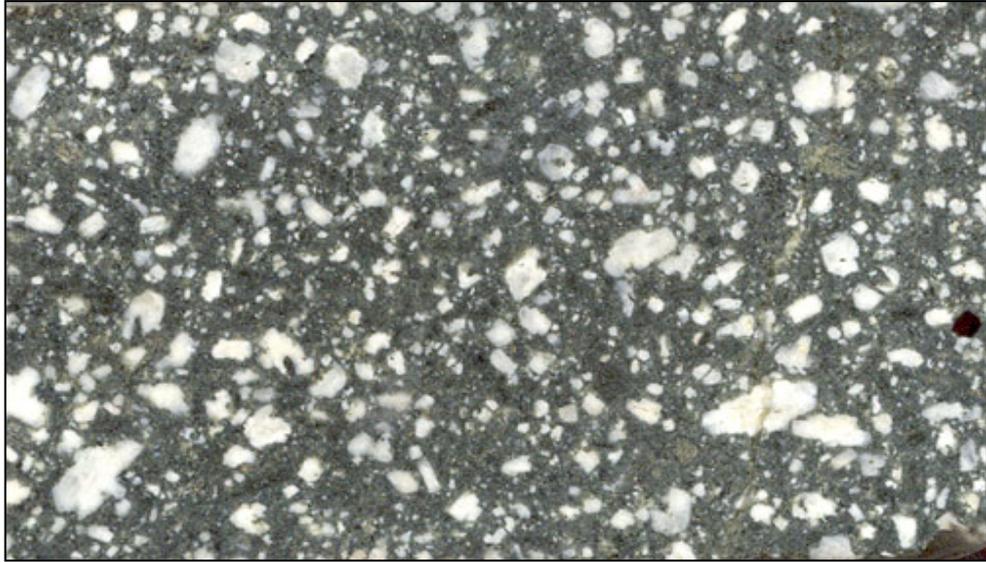


Foto 2: Dique pórfido andesítico

Presenta cristales de plagioclasa con cristales de dos tamaños predominantes (1 y 3 milímetros), matriz afanítica con presencia de biotita, clorita y rara vez magnetita.

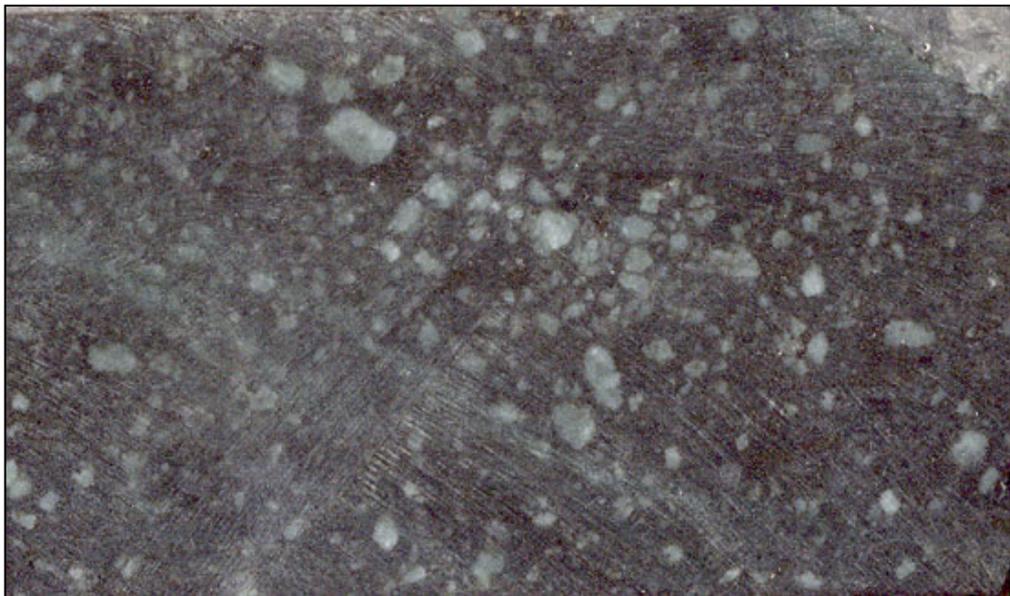


Foto 3: Dique pórfido tonalita-andesita

Presenta cristales feldespáticos de 1 y 4 milímetros en matriz afanítica con presencia de biotita y magnetita.

El segundo sistema determinado por un solo dique en el área del proyecto (Foto 3), tiene rumbo promedio N60°W con buzamiento cercano al vertical, es subparalelo a paralelo a los afloramientos de baritina, lo cual como veremos más adelante es importante desde el punto de vista exploratorio.

También se ha determinado otros diques reconocidos en los testigos de perforación diamantina que se presentan raramente en superficie y raramente presentan potencias superiores a los 2 metros; el primero es un pórfido de andesita basáltica de color gris negrusco (Foto 4) con cristales feldespáticos de 2 milímetros de diámetro, también se encuentra diques de andesita basáltica de color gris negrusco con raros cristales feldespáticos, y finalmente hornfels moteado con blastos de sílica – biotita de color gris marrón (Foto 5) que ocasionalmente presentan rezagos de cristales feldespáticos y que además suelen presentarse a manera de sills con potencias menores a los 2 metros.

5.5 Estratigrafía

El estudio de 70 taladros en el Cuerpo 5, ha permitido determinar la siguiente columna estratigráfica adjunta en la siguiente pagina (Padilla Z., en preparación), ver Figura 10.

A continuación se describe de techo a piso las unidades volcánicas determinadas:



Foto 4: Dique andesita

Muestra escasa presencia de feldespatos y esta contiene biotita y magnetita.

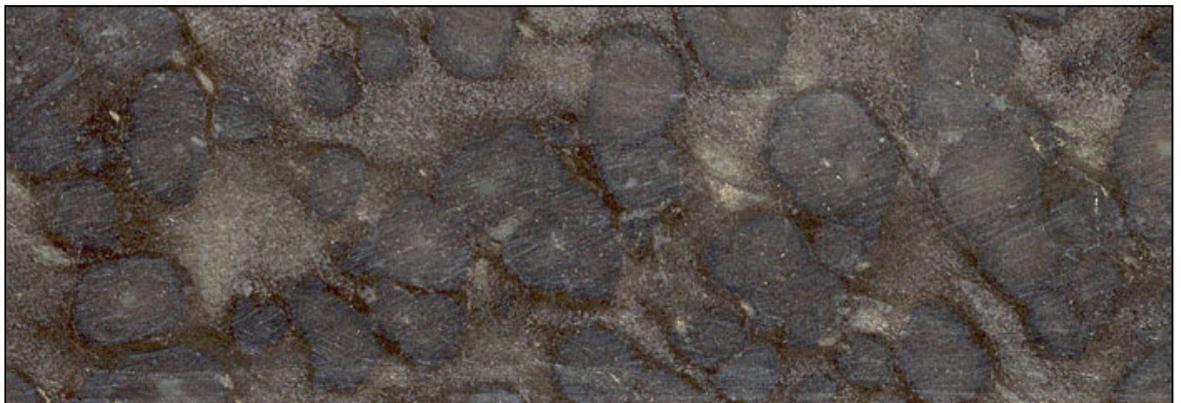
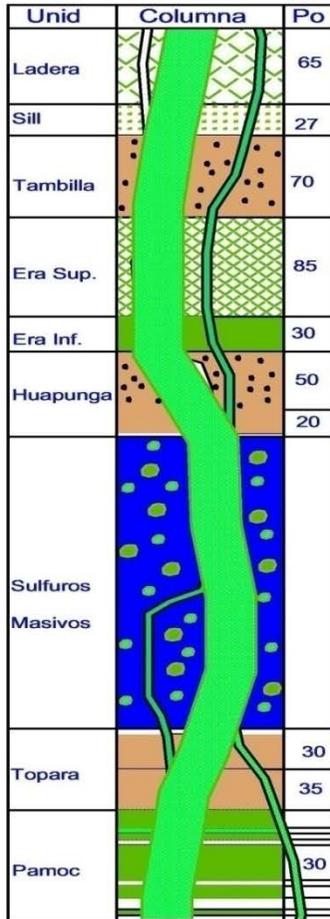


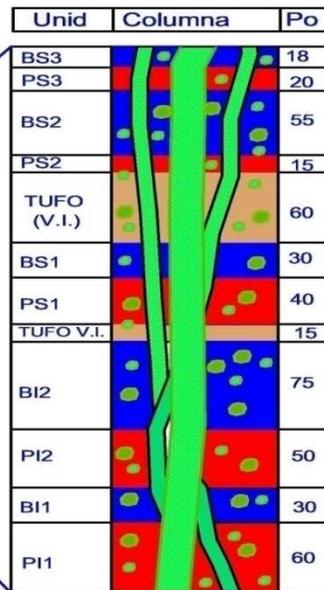
Foto 5: Hornfels nodular

Proviene de un dique o sill de composición intermedia, los blastos son redondeados con predominancia de sílica en la parte central y acumulación de biotita-sílica hacia los bordes; la matriz está compuesta principalmente por sílica y biotita en menor grado.

Unidades Estratigraficas



Sulfuros Masivos



Leyenda

Unidades Litologicas	
	Flujos rioliticos (brechados)
	Flujos rioliticos (brechados) Porfidos feldespaticos
	Lapilli monomictimo
	Lapilli polimictico
	Ceniza felsico
	Riolita masiva
	Sill porfirítico
Diques	
	Dique mafico masivo
	Dique mafico porfirítico
	Dique andesitico porfirítico
Sulfuros Masivos	
	Sulfuros Primarios de barita
	Sulfuros primarios de pirita
	Sulfuros semimasivos
	Enclaves.

Figura 10: Columna estratigráfica local

5.5.1 Unidad H4 (Miembro Ladera)

Tiene una potencia promedio de 65 metros, consiste de brechas de flujo riolíticos porfiríticos con cristales feldespáticos, con clastos de 10 a 50 centímetros de color gris blanquecino con matriz verdosa. Localmente presenta una débil alteración sericítica.

5.5.2 Unidad E (Miembro Sill)

Tiene una potencia promedio de 27 metros, se interpreta como un sill porfirítico de composición intermedia con cristales de feldespato y anfíboles; conforman una unidad masiva y homogénea.

5.5.3 Unidad D (Miembro Tambilla)

Tiene una potencia que fluctúa entre los 40 y 70 metros, consiste de tufos lapilli polimícticos félsicos, presentan clastos subredondeados de color gris blanquecino de 0.3 a 5.0 centímetros de diámetro (2.5 centímetros en promedio). Presenta alteración sericítica moderada a fuerte con incrementos de pirita (10 a 50%), determinándose en 2 taladros la existencia de sulfuros masivos baríticos de hasta 2 metros de potencia en promedio.

5.5.4 Unidad H (Miembro Era Superior)

Tiene una potencia que fluctúa entre los 50 y 85 metros, consiste de brechas de flujo riolíticas, contiene clastos difusos de color verdoso a violáceo de 10 a 50 centímetros de diámetro. Localmente presenta alteración sericítica muy débil.

5.5.5 Unidad B (Miembro Era Inferior)

Tiene una potencia que fluctúa entre los 10 y 30 metros, consiste de brechas de flujo riolítico porfirítico con cristales feldespáticos. Contiene clastos subangulares a subredondeados de color gris marrón de 0.3 a 6.0 centímetros de diámetro (2.0 centímetros predominante) con bordes de reacción blancos, dentro de una matriz hialoclástica de color verdoso. Presenta silicificación en algunos taladros y rara biotita y andalucita.

5.5.6 Unidad A (Miembro Huapunga Superior)

Tiene una potencia que fluctúa entre 20 y 50 metros, consiste de tufos lapilli félsicos polimícticos estratificados, contiene clastos subangulosos a subredondeados de 0.3 a 6.0 centímetros de diámetro (predominando 2.0 centímetros) y puede alcanzar hasta 10 centímetros. Ocasionalmente se observa alargamiento de los blastos ocasionados por deformación. Fuerte sericitización con incremento de pirita (10 a 50%) con esporádica alteración clorítica.

5.5.7 Tufo HW (Miembro Huapunga Inferior)

Esta unidad se encuentra en algunos taladros con potencias de hasta 20 metros, en otros taladros se pasa directamente de la Unidad A a los Sulfuros Masivos, consiste de tufos de ceniza bandeados félsicos de color gris con fuerte alteración sericítica asociado a incremento de pirita (10 a 50%), presentando además algo de alteración clorítica, biotita y andalucita.

5.5.8 Sulfuros Masivos

Esta unidad será descrita en detalle cuando se trate el tema de mineralización, también se describirán otras litologías asociadas como exhalitas, sulfuros semimasivos y unidades volcánicas internas (Figura 11).

5.5.9 Tufo FW (Miembro Topara Superior)

Esta unidad es cortada por algunos taladros con potencias de 3 a 30 metros, consiste de tufo ceniza félsico con fuerte sericitización y piritización (10 a 50%) en general y fuerte silicificación en algunos lugares. Si tomamos en cuenta la mineralización, parte de esta unidad se considera como Sulfuros Semimasivos, pero es perfectamente reconocible el protolito.

5.5.10 Unidad I (Miembro Topara Inferior)

Tiene una potencia que fluctúa entre 20 y 35 metros, consiste de tufos lapilli félsicos monomícticos, presentan clastos blanquecinos subredondeados de 0.3 a 2.0 centímetros de diámetro (1.0 centímetros predominantemente). Fuerte alteración sericítica, piritización variable (1 a 35%), esporádica presencia de alteración sílica y clorítica, moderada a fuerte presencia de biotita y andalucita.

5.5.11 Unidad J (Pamoc)

Esta unidad tiene una potencia reconocida superior a 95 metros (no se cortó su límite inferior), puede subdividirse en 3 unidades:

- La unidad superior tiene una potencia de 15 metros, consiste de brechas de flujo riolíticas con clastos verdosos difusos de 10

a 30 centímetros de diámetro. Localmente presentan débil alteración sericítica y alguna presencia de biotita y andalucita.

- La unidad intermedia tiene una potencia de 5 metros, consiste de riolita masiva verdosa.
- La unidad inferior consiste de flujos de brecha riolíticos con intercalaciones de tufos ceniza-lapilli. La presencia de material piroclástico se incrementa hacia niveles superiores. Alteración insignificante.

5.6 Geología Estructural

Durante el mapeo superficial se define gran cantidad de fallas o sistemas de fallas antiguas relacionadas a la mineralización y fallas o reactivaciones posteriores durante el levantamiento de los Andes. En realidad lo que se observa actualmente es el resultado de cómo esta orogenia ha impactado en los volcánicos y sulfuros masivos al punto que los cuerpos de sulfuros masivos en la ladera sur de la quebrada Topará tengan un rumbo NW y buzzen 60° al SW, mientras que en la ladera norte parecen tener similar rumbo pero buzamiento entre 10 a 20° al NE (contrario a la otra ladera).

Se ha podido determinar la existencia de 3 sistemas de fallas principales que han tenido gran importancia para la mineralización (Figura 11):

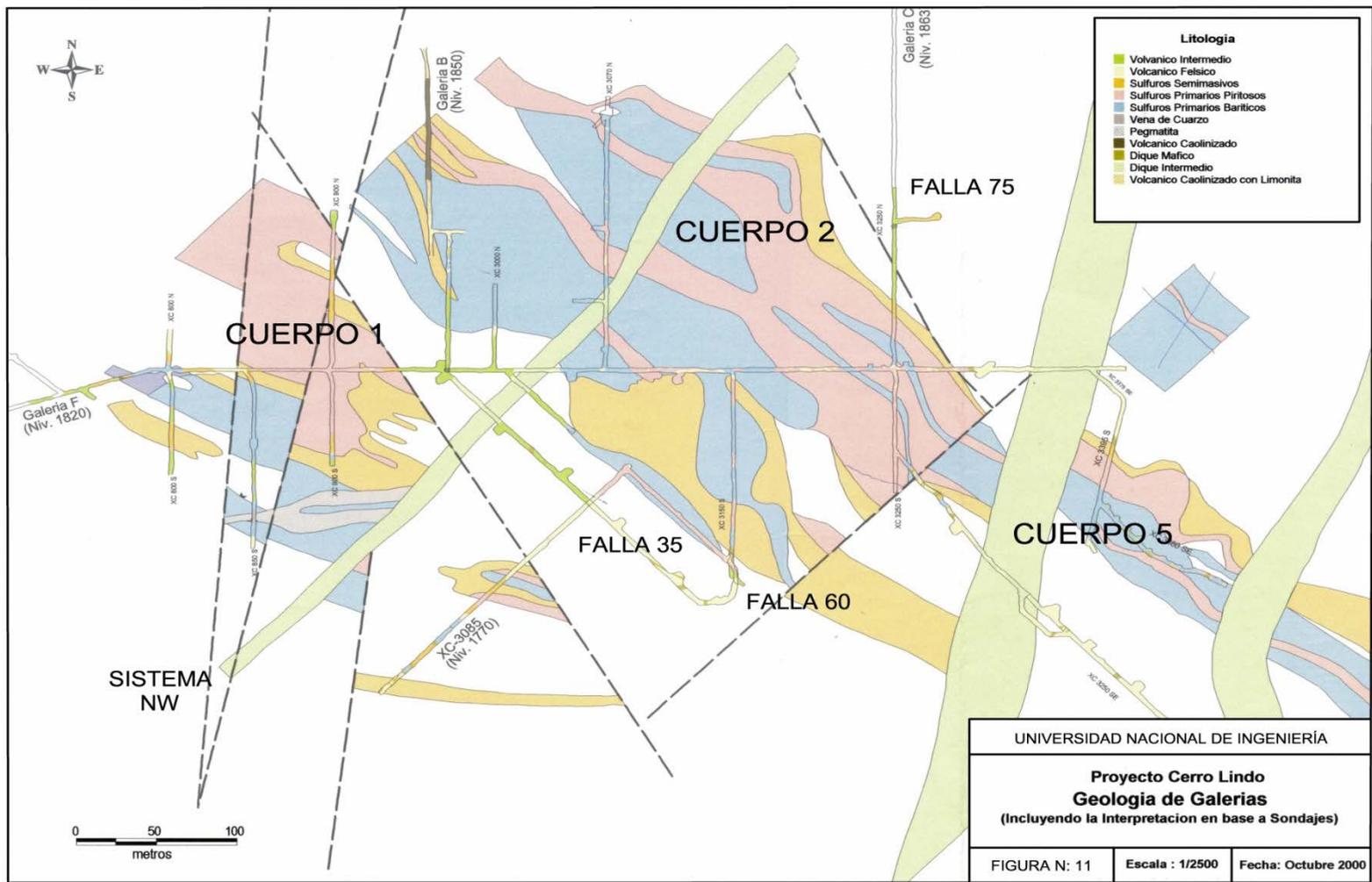


Figura 11: Geología de Galerías Nivel 1820

5.6.1 Sistema NW-SE

Este sistema es muy antiguo, realmente es anterior a la deposición de los sulfuros masivos y ha tenido gran influencia en la mineralización porque permitió definir el paleorelieve, controlando la forma de la cuenca donde se han depositado los sulfuros masivos; encontrándose cambios abruptos en la potencia de las unidades litológicas y de sulfuros masivos a ambos lados de estas fallas.

A este sistema pertenecen las Fallas 35 y 75 que se describen a continuación.

- Falla 35: Definida en la Galería F, separa el Cuerpo 2 del Cuerpo 1, tiene un Azimut de 315 y buza 35° al NE, consiste de aproximadamente 1.0 metro de material triturado poniendo en contacto los Sulfuros Masivos del Cuerpo 1 con la Caja Techo del Cuerpo 2. Dada la diferencia que se encuentra en los sulfuros masivos a ambos lados de la falla, se denominara como Bloque Estructural 1 al que contiene al Cuerpo 1 y Bloque Estructural 2 al que contiene al Cuerpo 2.

- Falla 75: Definida en el Crucero XC-3250-N y la Galería F, separa al Cuerpo 2 del Cuerpo 6 (prolongación del Cuerpo 2 al otro lado de esta falla), tiene un Azimut de 175 y buza 77° al NE. En el Crucero XC-3250-N consiste de aproximadamente 60 centímetros de material triturado originalmente, que con el paso del tiempo ha ido colapsando hasta alcanzar su estabilidad dejando un levantamiento en el techo de la galería de aproximadamente 15 metros. En la Galería F no llega a superar los 10 centímetros de material triturado. Esta Falla a su vez divide los Bloques Estructurales 2 y 6, correspondientes a los Bloques que contienen los Cuerpos 2 y 6, respectivamente.

5.6.2 Sistema NE-SW

Este sistema de fallas ha tenido igual importancia en la deposición de los sulfuros masivos, ya que son transversales a estos y deben corresponder a fallas que sirvieron de paso de la mineralización e incluso controlaron el paleorelieve o cuencas donde se depositaron las unidades volcánicas y los sulfuros masivos.

Actualmente estas fallas están ocupadas por diques pórfido andesíticos verdosos en su mayoría y algunos de ellos presentan evidencias de reactivamiento posterior. A este sistema pertenece la Falla 60 que es descrita a continuación.

- Falla 60: Reconocida en el crucero XC-3250-S, crucero XC-3250-SE y la Galería F, separa el Cuerpo 2 del Cuerpo 5, tiene un azimut de 45° y buza 62° al NW, consiste de 0.8 a 1.2 metros de material triturado y molido que pone en contacto sulfuros masivos con volcánicos en el crucero XC-3250-S, sulfuros masivos del Cuerpo 2 con volcánicos de la caja techo y sulfuros masivos del Cuerpo 5 en el crucero XC-3250-SE y la caja piso del Cuerpo 2 con la caja piso del Cuerpo 5 en la Galería F. Esta falla divide los Bloques Estructurales 2 y 5 correspondientes a los Bloques que contienen los Cuerpos 2 y 5, respectivamente.

5.6.3 Sistema NNW-SSE

Este sistema de fallas parece ser posterior a la deposición de la mineralización. En la Galería F y crucero XC-900N se aprecian 2 fallas de orientación 5° y 15° que buzanan 45° y 55° respectivamente, tienen potencias de 10 a 80 centímetros con material triturado y presencia de dique máfico en el segundo (buzamiento 55°). Al parecer estas fallas son inversas y su presencia dificulta la interpretación y correlación de las unidades del Cuerpo 1. En el cuerpo 5, también existen diques (relleno de fallas) y fallas de azimut 5° y buzanan de 70° a 85° al este, la falla ocupada por el dique tiene una potencia de 1.5 metros con relleno de material molido y triturado que hizo necesaria la instalación de estructuras de sostenimiento para estabilizarlo.

CAPITULO VI.- DESCRIPCIÓN DEL YACIMIENTO

En Cerro Lindo existen 2 tipos de mineralización; cuerpos de sulfuros masivos con mineralización Zn-Cu-Ag y vetas irregulares de Pb-Ag-Cu-Zn, estas últimas, asumidas como producto de la removilización o inyección metálica posterior no forma parte del presente estudio.

6.1 Definición de Litologías en Sulfuros Masivos

Se ha definido una serie de litologías básicas a partir de la cantidad de de sulfuros y baritina presentes, diferenciándolas y relacionándolas con otras litologías internas o encajonantes. Las litologías se muestran en la Tabla 2.

6.2 Cuerpos de Sulfuros Masivos

En Cerro Lindo se ha determinado la existencia de hasta 5 cuerpos de sulfuros masivos; los cuales presentan características geométricas propias y se emplazan en Bloques Estructurales delimitados por fallas sinsedimentarias que tuvieron participación como canales de mineralización de los cuerpos.

6.2.1 Cuerpo 2

Es el cuerpo de mayor potencia que fluctúa entre los 230 a 180 metros, tiene un azimut general de 315°, buza 60 a 80° al NE, está compuesta por 4

Tabla 2: Litología básicas en sulfuros masivos

Litología	Abrev.	Descripción
Sulfuro Masivo	SM	Material o litología que con tiene más de 50% de sulfuros (incluyendo la baritina).
Sulfuro Primario Piritoso	SPP	Sulfuros Masivos (SM) que presenten un contenido menor de 10% de baritina (Fotos 6, 7).
Sulfuro Primario Barítico	SPB	Sulfuros masivos (SM) que presenta un contenido mayor o igual al 10% de baritina (Fotos 8, 9, 19, 11, 12, 13, 14).
Sulfuros Semimasivos	SSM	Litología que presente un contenido de sulfuros (donde se incluye también a la barita) mayor al 20% y menor al 50%. No importa cual es la roca inicial o protolito, ni su ubicación espacial; esto se diferenciara posteriormente cuando se definan las unidades estratigráficas (Fotos 15, 16, 17).
Enclave	E	Fragmentos de roca que fueron absorbidos y ahora están englobados por sulfuros masivos, tienen diferentes dimensiones desde pocos centímetros hasta varios metros.
Volcánico Intermedio	VI	Unidades volcánicas que se encuentran dentro de los sulfuros masivos, tienen extensiones y potencias variables, vienen a ser manifestaciones de interdigitación de los volcánicos con los sulfuros masivos.
Caja Techo o Hanging Wall	HW	Unidades volcánicas que se encuentran al techo de los sulfuros masivos, estratigráficamente hablando y tienen características que las diferencian de la caja piso, como veremos más adelante.
Caja Piso o Foot Wall	FW	Unidades volcánicas que se ubican al piso de los sulfuros masivos, estratigráficamente hablando.



Foto 6: Sulfuro primario piritico (SPP)
SPP de grano grueso con presencia de calcopirita



Foto 7: Sulfuro primario piritico (SPP)
SPP compuesto casi enteramente por pirita piritoédrica granular masiva de grano grueso que representaría la última etapa de una fase de deposición mineral.



Foto 8: Sulfuro primario barítico (SPB)

SPB con cristales medios a finos con presencia de barita cercana al 10% y esfalerita clara de grano fino

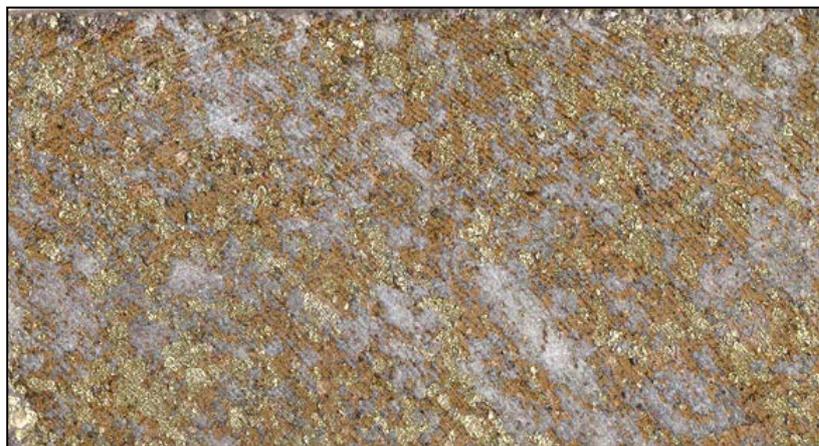


Foto 9: Sulfuro primario barítico (SPB)

SPB bandeado, de grano medio a fino con esfalerita clara

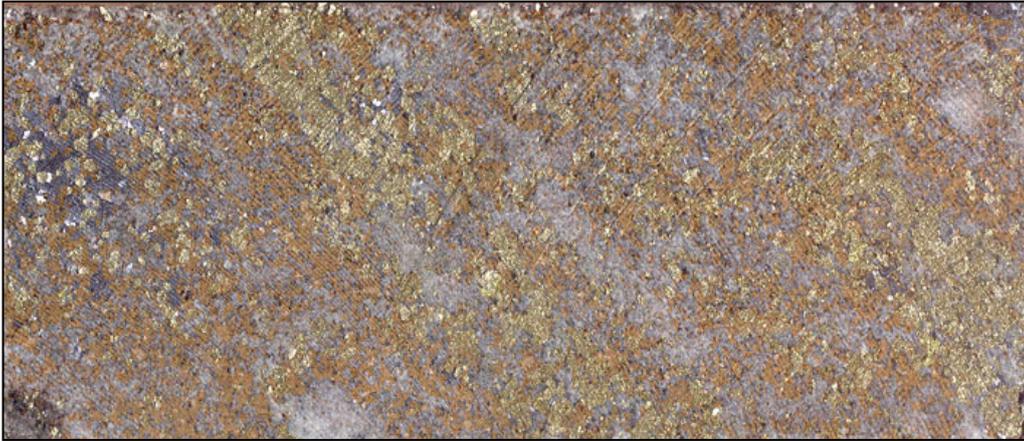


Foto 10: Sulfuro primario barítico (SPB)

SPB bandeado, de grano fino a medio con presencia de galena y esfalerita clara



Foto 11: Sulfuro primario barítico (SPB)

SPB que ha sido invadido por una fase de calcopirita



Foto 12: Sulfuro primario barítico (SPB)

SPB que ha sido invadido por una nueva etapa de calcopirita-esfalerita. En este caso, la esfalerita es de color ligeramente más oscuro y acompaña a la calcopirita (removilizado?).



Foto 13: Sulfuro primario barítico (SPB)

SPB separado por una microfalla; en el sector inferior se ha lixiviado la esfalerita y la calcopirita por intemperismo y en el sector superior se nota la invasión de calcopirita-esfalerita (esfalerita removilizada?)



Foto 14: Sulfuro primario barítico (SPB)

SPB invadida por calcopirita-esfalerita en contacto con dique básico-intermedio. En el contacto se desarrollan cristales de actinolita?



Foto 15: Sulfuro semimasivo (SSM)

Tufo silicificado perteneciente a los sulfuros semimasivos antes del foot wall, cortado por sulfuros primarios piritosos



Foto 16: Sulfuro semimasivo (SSM)

Característica de los sulfuros semimasivos que presentan una fina diseminación de pirita y venillas; es notable la presencia de textura porfidoblástica en el volcánico (blastos de sílica y biotita)



Foto 17: Sulfuro semimasivo (SSM)

Stringer?. SPP cortando tufos silicificados. Se consideraba los tufos como exhalita que fue cortado por una nueva etapa de deposición de sulfuros masivos.

unidades de SPB, 4 unidades de SPP, 3 unidades SSM y algunas intercalaciones volcánicas que se acentúan hacia sus extremos. Se le ha reconocido en una extensión de 400 metros en dirección de su rumbo limitado al SE por la falla 60 y al NW los últimos taladros muestran clara evidencia de interdigitación con volcánicos (Figuras 11 y 12).

En la dirección de su buzamiento, alcanza entre 100 y 400 metros de extensión, limitado por la falla 35 y la superficie, evidenciando una erosión de entre el 30 al 50%.

6.2.2 Cuerpo 1

Este Cuerpo se ubica al SW del Cuerpo 2, del cual fue separado por la Falla 35, perteneciendo al Bloque Estructural 1. Este cuerpo tiene una potencia que fluctúa entre 80 a 100 metros, tiene un azimut general de 245° y buza 60 a 85° hacia el SW, está compuesto por 2 secuencias SPB, 2 secuencias SPP, varias secuencias SSM e intercalaciones volcánicas.

Estructuralmente, está afectado por fallas inversas que dificultan su entendimiento global. En la dirección de su rumbo, ha sido reconocido en 300 metros, y en la dirección de su buzamiento se ha reconocido hasta los 400 metros, quedando aun por conocer su límite en profundidad (Figuras 11 y 12).

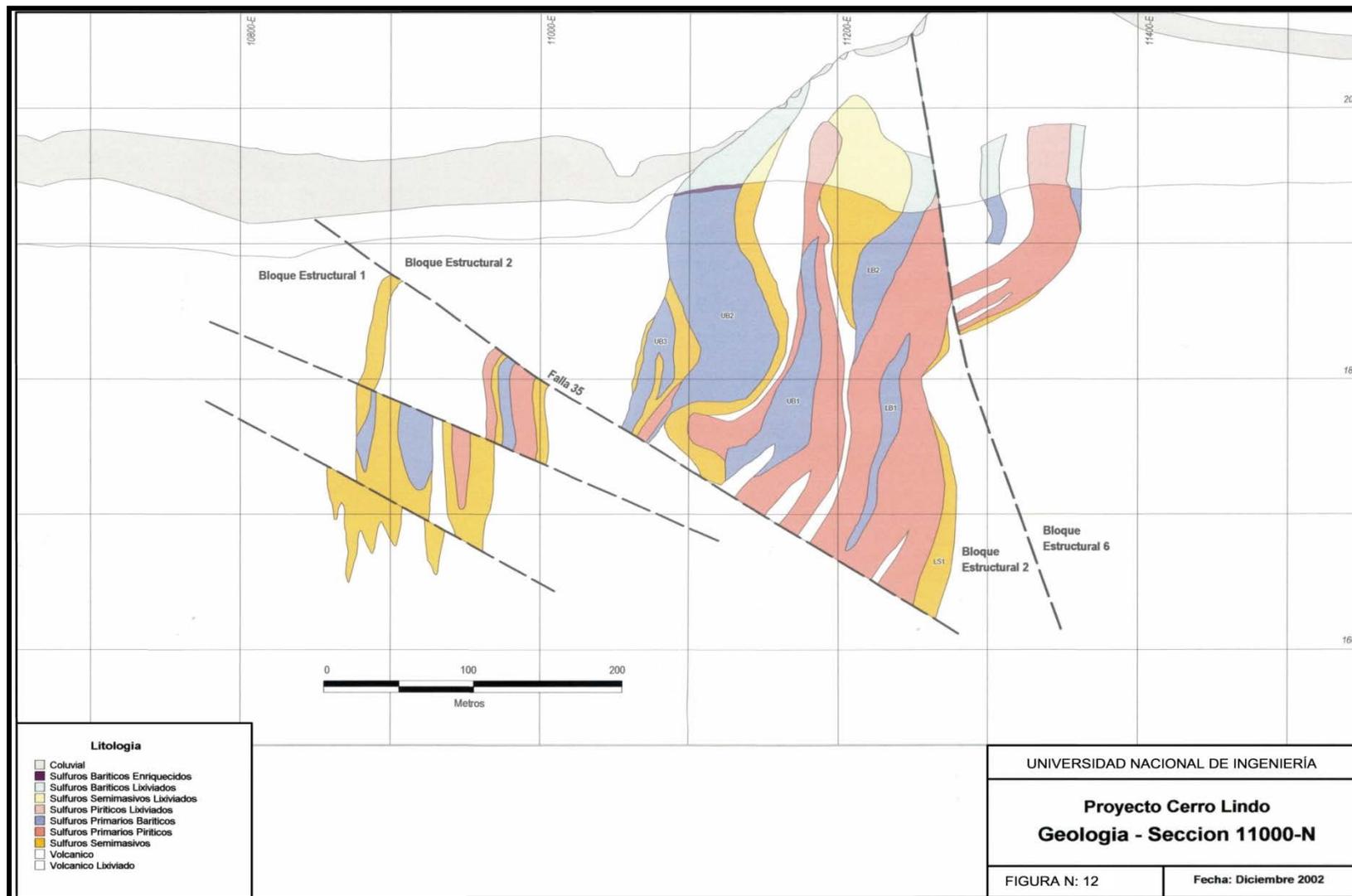


Figura 12: Geología sección 11000N

6.2.3 Cuerpo 5

Este cuerpo se ubica al SE del Cuerpo 2, del cual está limitado por la Falla 60, perteneciendo al Bloque Estructural 5. Su potencia fluctúa entre 40 y 100 metros (50 metros en promedio), tiene un azimut de 305° y buza 60° al SW, está compuesto por 2 secuencias SPB, 2 secuencias SPP y 1 secuencia SSM.

En la dirección de su rumbo ha sido reconocido hasta los 400 metros y en la dirección de su buzamiento hasta los 300 metros; al igual que el Cuerpo 2 está limitado por la Falla 35 en profundidad y a los 300 metros ya presenta interdigitaciones con volcánicos.

6.2.4 Cuerpo 6

Este Cuerpo se ubica al NE del Cuerpo 2, del cual está limitado por la Falla 75, perteneciendo al Bloque Estructural 6. Su potencia fluctúa entre 40 y 70 metros, tiene un azimut de 315° y buza de 45 a 80° hacia el SW, está compuesto por 2 unidades SPB, 2 unidades SPP y 1 unidad SSM.

Por lo que se conoce al momento resulta evidente que la Falla 75 sea sindeposicional con movimiento posterior a la deposición trasladando entre 20 a 40 metros el Cuerpo 5 con respecto al Cuerpo 2 (Figuras 11 y 13).

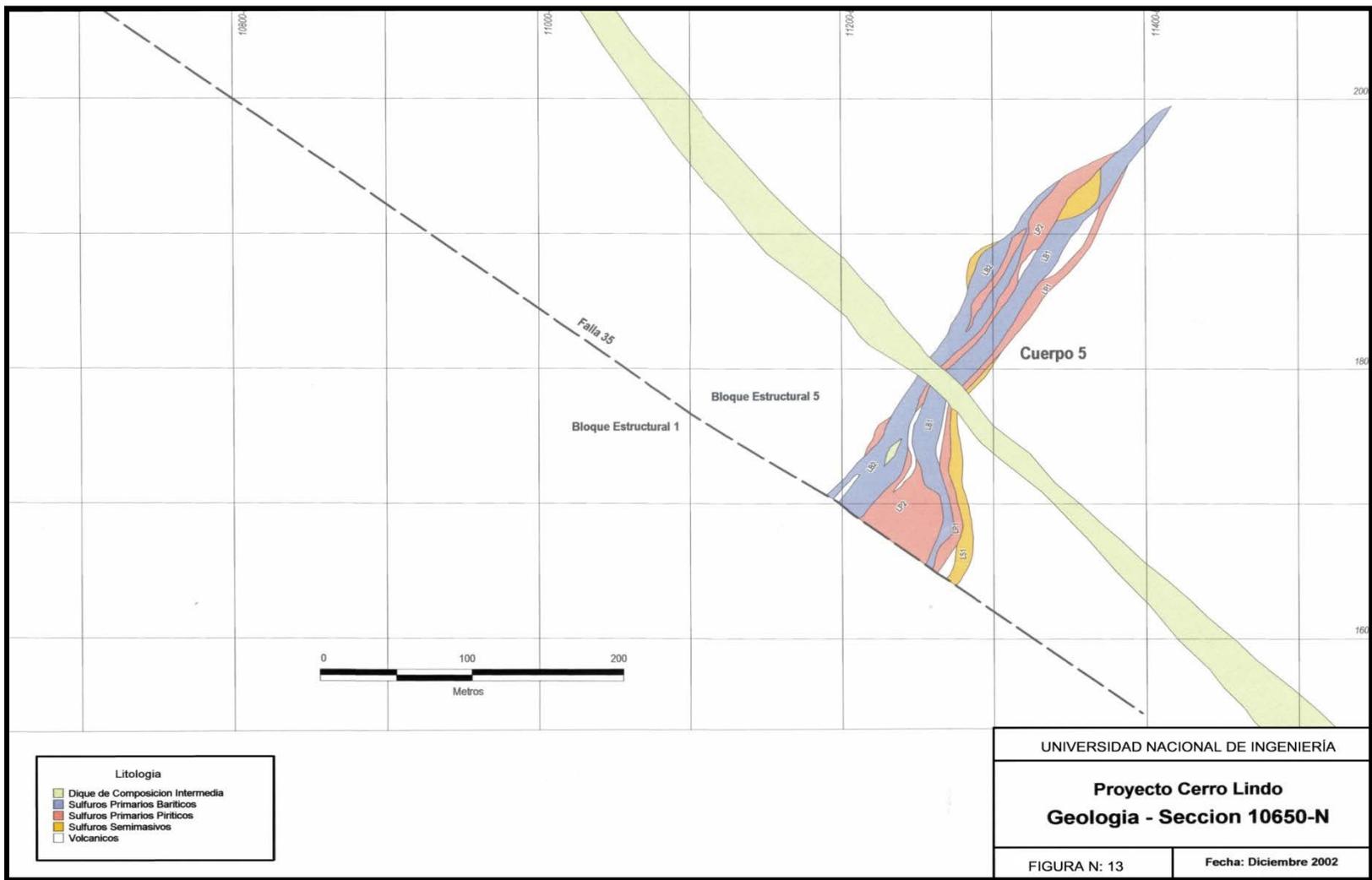


Figura 13: Geología sección 10650N

6.2.5 Cuerpo 4

Se interpreta como perteneciente al mismo bloque estructural del Cuerpo 6, pudiendo incluso tratarse del mismo cuerpo, tiene un azimut de 342° y una potencia promedio de 10 metros de SM que grada paulatinamente a unos 20 metros de SSM con englobados silicificados de volcánico que pasa a stockwork (sulfuros semimasivos mostrados en la Figura 8).

Para fines del presente estudio, solo hablaremos de los Cuerpos 2 y 5, ya que están mejor conocidos por la gran cantidad de trabajos de exploración y no presentan problemas estructurales que lo distorsionen.

6.3 Mineralogía

A continuación se hace una descripción de las características físicas de los diferentes minerales reconocidos en Cerro Lindo, tomando en cuenta observaciones del logueo de testigos y mapeo de galerías.

6.3.1 Pirita

La pirita viene a constituir gran parte de todo el yacimiento, determinando su contenido junto con el de la barita, como parámetros para la clasificación de las diferentes litologías reconocidas.

La pirita acompañando a SPB, presenta textura granular piritoédrica y su tamaño oscila en un rango de 0.3 a 3.0 milímetros, presentando mayormente bandeamiento con la barita y esfalerita.

La pirita en SPP se encuentra con mayor definición de los granos, conformando piritoedros que en algunos casos no tienen matriz y llegan a ser muy disgregables. Los tamaños son muy variables, desde 0.1 hasta 8.0 milímetros, predominando los cristales de 1 a 2 milímetros. Se ha reconocido en las galerías que la pirita estéril (con escaso o sin minerales en la matriz) sería el último evento de la mineralización, habiéndola reconocido cortando y seccionando las unidades de SPB utilizando seguramente algunas fallas que no son fáciles de detectar dentro de los sulfuros masivos.

En SSM se encuentra cristalizado de grano fino a medio (excepcionalmente grano grueso). Cuando se trata de SSM producto del predominio de la sedimentación está acompañado principalmente por sílica y en mucho menor contenido barita (caja techo). Cuando se trata de SSM producto de la invasión vertical o lateral en volcánicos debajo del fondo marino la pirita se encuentra diseminada y en venillas generalmente delgadas (caja piso).

6.3.2 Baritina

La baritina es el segundo mineral más abundante en el depósito, su contenido determina la clasificación de litologías de los sulfuros masivos.

Normalmente se encuentra granular y con fuerte presencia en SPB (más del 10%), pero puede encontrarse también en SPP como rezagos de antiguos SPB embebidos por el SPP y también en la caja techo, a veces acompañado de mineralización de zinc.

Los granos de baritina en SPB tienen diámetros menos de 1 milímetro, hasta 2 milímetros, conformando las bandas de mineralización que caracteriza esta unidad.

6.3.3 Esfalerita

El mayor contenido de esfalerita se encuentra en los Sulfuros Primarios Baríticos (SPB) donde tiene generalmente una textura granular masiva y bandeada, presentando un color castaño (blenda rubia). Los granos de esfalerita oscilan entre 0.2 a 1.5 milímetros de diámetro, aunque por lo general predominan los diámetros de 0.8 milímetros.

También es posible encontrar esfalerita asociada a la calcopirita remplazando a las unidades SPP y SPB donde tiene formas irregulares que pueden tener de 0.2 a 15.0 milímetros, presentando una color marrón oscuro (variedad marmatítica). En general se tiene mayor contenido de esta variedad de esfalerita en la unidad SPB comparándola con la unidad SPP, por lo que se supone que viene a ser la removilización de la esfalerita

original y redepositación a mayor temperatura con el consiguiente incremento en el contenido de hierro.

En las unidades SSM es posible encontrarlas de forma granular diseminada e incluso granular bandeada con baritina y sílica, alcanzando incluso concentraciones económicas; en algunos casos se puede deducir que estas unidades serían la gradación lateral de las unidades SPB.

Es posible también encontrar diseminación de esfalerita de grano fino 0.1 a 0.3 milímetros dentro de la caja techo (HW), en poco contenido (hasta 3% de toda la roca), presentando una coloración amarillenta e incluso verdosa.

6.3.4 Calcopirita

Se la encuentra generalmente llenando intersticios intergranulares y en formas irregulares en ambas unidades SPP y SPB. Sus dimensiones son variadas y dependen del grado de reemplazamiento de la unidad original, llegando incluso a cortar corridas de hasta 6 metros de corrida con contenidos de 15 a 60% de calcopirita (CL-00-69), en donde la pirita ha sido fuertemente reemplazada y la baritina muy poco o nada comparándola con el contenido promedio de barita en SPB.

Hay una tendencia de incrementar la concentración de calcopirita alrededor de los enclaves y unidades volcánicas (que viéndolos desde una perspectiva

más global podrían ser enclaves muy grandes) con incremento en la concentración de calcopirita al acercarse hacia la roca. Estas concentraciones tienen una potencia variada pudiendo ser desde 15 centímetros hasta 80 centímetros y rara vez son mayores a 1 metro.

En SSM, de la caja piso, la calcopirita se presenta diseminada en el volcánico y como relleno de las venillas, estando acompañada casi siempre por pirita, a veces por pirrotita y muy rara vez por esfalerita.

6.3.5 Galena

Dentro de los Sulfuros Masivos se encuentra galena en SPB en granos de 0.3 a 1.5 milímetros y su abundancia, al parecer, está relacionado a la abundancia de la esfalerita clara o blenda rubia (se ha encontrado mayor concentración de galena relacionado a altas concentraciones de esfalerita).

También se ha reconocido galena en la caja techo (HW), donde se presenta diseminada y en muy escasa cantidad (menos de 1%) que no llega a ser económica.

6.3.6 Pirrotita

La pirrotita se presenta masiva, con formas irregulares alargadas, remplazando a los minerales anteriores, con fuerte asociación con la

calcopirita y la esfalerita marmatítica. Es posible también encontrarla diseminada o como relleno de intersticios en unidades SPP.

6.3.7 Calcita

Se ha reconocido calcita principalmente dentro de las unidades SPB y en menor cantidad en la unidad SPP. En SPB se encuentra calcita como concentraciones irregulares alargadas de diferentes dimensiones, con corridas en el taladro de 1 a 15 centímetros, pero que en forma vertical (tomando en cuenta la posición original de los SM) no abarca mucha potencia y sus ocurrencias no tienen mucha continuidad. En SPP la calcita es más rara y se la reconoce relleno de intersticios y fracturas posteriores a la depositación de la mineralización.

6.4 Texturas y Estructuras

Dentro de los sulfuros masivos o asociados a la formación de estos, se encuentran texturas muy típicas que reflejan las características de su deposición.

6.4.1 Textura Granular

Esta es la textura más abundante en los sulfuros masivos, en general todos los sulfuros masivos tienen esta textura, los granos pueden ser de finos (0.1 milímetros) a gruesos (5 milímetros) y excepcionalmente pueden llegar a 8

milímetros. Generalmente los granos están compuestos por pirita, pero se encuentra también granos de barita, sílica y esfalerita. El cementante en estos granos es la calcopirita y esfalerita. Cuando hay ausencia de minerales cementantes se tiene una pirita disgregable. Según Eldridge et al. (1983) esta textura se formaría por la recristalización de los granos por reprecipitación durante el soterramiento de los sulfuros masivos.

6.4.2 Bandeamiento

Esta textura predomina en SPB, donde las bandas están compuestas por la alternancia de horizontes de pirita, baritina, esfalerita y eventualmente galena. La potencia de las bandas oscila entre 1 milímetro a 5 centímetros. Al parecer el proceso de metamorfismo y las fases tectónicas posteriores a la deposición de los sulfuros masivos han causado la pérdida de esta textura en una parte de las unidades SPB.

6.4.3 Stockwork

Esta estructura ha sido reconocida básicamente en SI1, con pirita en mayor cantidad y calcopirita en mucha menor cantidad, rellenan una serie de fracturas dispuestas aleatoriamente que según se va acercando a los sulfuros masivos viene acompañado por el incremento en la disseminación de la roca hasta llegar a conformar los sulfuros masivos.

También se ha reconocido stockworks que gradan a sulfuros masivos cuya evolución ha determinado que los fluidos que pasan por las fracturas del

stockwork hayan redondeado los bloques hasta tenerlas flotando dentro de los sulfuros masivos.

6.4.4 Brechas de Crecimiento

Se ha podido determinar la existencia de zonas donde existe un gran brechamiento producto de la destrucción de la acumulación de sulfuros, donde se tiene fragmentos de rocas volcánicas, sulfuros semimasivos y sulfuros masivos englobados dentro de los propios sulfuros masivos. Las dimensiones de los fragmentos pueden ser muy variables desde pocos centímetros hasta varios metros. Parte de estas texturas o estructuras (según sea su tamaño) vendría a ser producto del desplome del aparato de sulfuros masivos y parte se explicaría por la distorsión provocada por el emplazamiento fluidal de los SPP que hace que colapsen las unidades SPB con el consecuente reemplazamiento de los minerales.

Esta textura o estructura puede verse en algunos taladros, en el crucero XC-3070-N donde hay bloques de diferentes dimensiones de SPB flotando en SPP y en la galería F cerca de la Falla 35.

6.5 Estratigrafía de los Sulfuros Masivos

Un gran adelanto en la interpretación del yacimiento fue subdividir los sulfuros masivos en función al contenido de baritina, estableciendo unidades que involucran zonamiento mineralógico y metálico que permitieron efectuar conclusiones sobre su génesis, cuando se comparan con modelos geológicos conocidos y yacimientos del mismo tipo.

Con las definiciones litológicas básicas presentadas anteriormente se define la estratigrafía de los sulfuros masivos, cada unidad estratigráfica será definida por la presencia predominante o total de Sulfuros Primarios Baríticos (SPB), Sulfuros Primarios Piríticos (SPP), Sulfuros Semimasivos (SSM) y Volcánicos (V).

En este capítulo se mencionara las características físicas de estas unidades, más adelante se tratará sobre los parámetros estadísticos de la mineralización y el zonamiento metálico. Se incluyen secciones longitudinales con geología e isopotencias que permitirán visualizar la configuración tridimensional de las principales unidades estratigráficas.

6.5.1 Hanging Wall

Son las unidades volcánicas que se encuentran por encima de los sulfuros masivos, para nuestro caso, en lo que se refiere a resultados de análisis de muestras, solo tomaremos en cuenta hasta unos 25 metros por encima de los sulfuros masivos (para definir la influencia de la mineralización hasta esta distancia).

Dentro del HW es común encontrar disseminación de baritina y esfalerita rubia, incrementándose al acercarse a los sulfuros masivos.

6.5.2 BS3 (Barita Superior 3)

Se ha cortado esta unidad con potencias de 2 a 25 metros y está definido por la predominancia de SPB granulares bandeados (granos de 3 a 6 milímetros de diámetro) compuesto por barita, pirita, esfalerita y cantidades variables de galena.

Longitudinalmente, ha sido reconocida desde 10950 a 11050 Norte (100 metros); verticalmente tiene una longitud variable de 65 a 120 metros.

6.5.3 PS3 (Pirita Superior 3)

Presenta potencias de 4 a 7 metros, está definida por la predominancia de SPP masivos granulares (granos de 3 a 6 milímetros de diámetro), compuesto casi exclusivamente de pirita con algo de calcopirita intersticial, ocasionalmente pirrotita.

Longitudinalmente, ha sido reconocida entre las coordenadas 10950 y 11000 (50 metros); verticalmente alcanza una longitud de 50 metros.

6.5.4 SS3 (Semimasivo Superior 3)

Presenta potencias de 3 a 25 metros, está definida por la presencia de SSM con contenidos principalmente de pirita y contenidos variables de baritina.

Longitudinalmente, ha sido reconocida entre las coordenadas 10900 y 11,100 (200 metros); verticalmente alcanza una longitud de 80 a 160 metros.

6.5.5 BS2 (Barita Superior 2)

Presenta potencias de 1 a 105 metros, está definida por la predominancia de SPB granulares bandeados (granos de 3 a 6 milímetros de diámetro), compuesta por barita, pirita, esfalerita, galena y calcopirita, con enriquecimiento de cobre en el contacto con SPP.

Longitudinalmente, abarca desde 10900 a 11275 Norte (375 metros) correspondiendo al Cuerpo 2 con débil proyección hacia el bloque estructural 5; verticalmente alcanza longitudes de 40 a 190 metros (Figuras 14 y 15).

Las secciones longitudinales muestran su gradación a SSM, volcánicos y SPP (coordenadas 10950 y 11050); la gradación a SSM y volcánicos estaría controlada por características de la cuenca de depositación como indicio de su estrangulamiento o interdigitación y la gradación a SPP esta ocasionada por el reemplazamiento por SPP como parte del desarrollo de los cuerpos de sulfuros masivos.

Se observa incremento de potencia entre 10975 a 11025 y 1800 a 1940, con disminución de potencias hacia la Falla 35 que indicaría un mayor

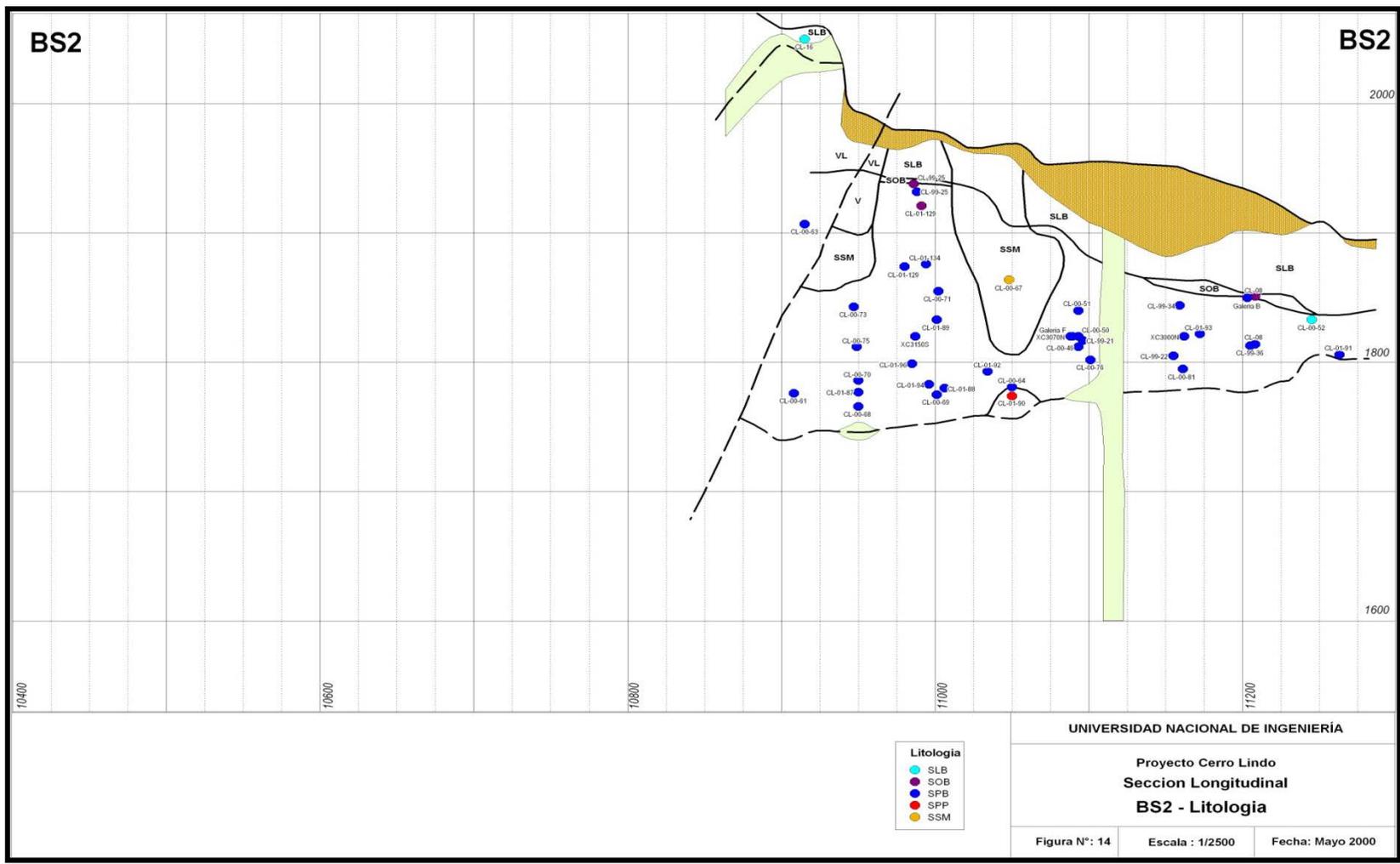


Figura 14: Sección longitudinal BS2 - Litología

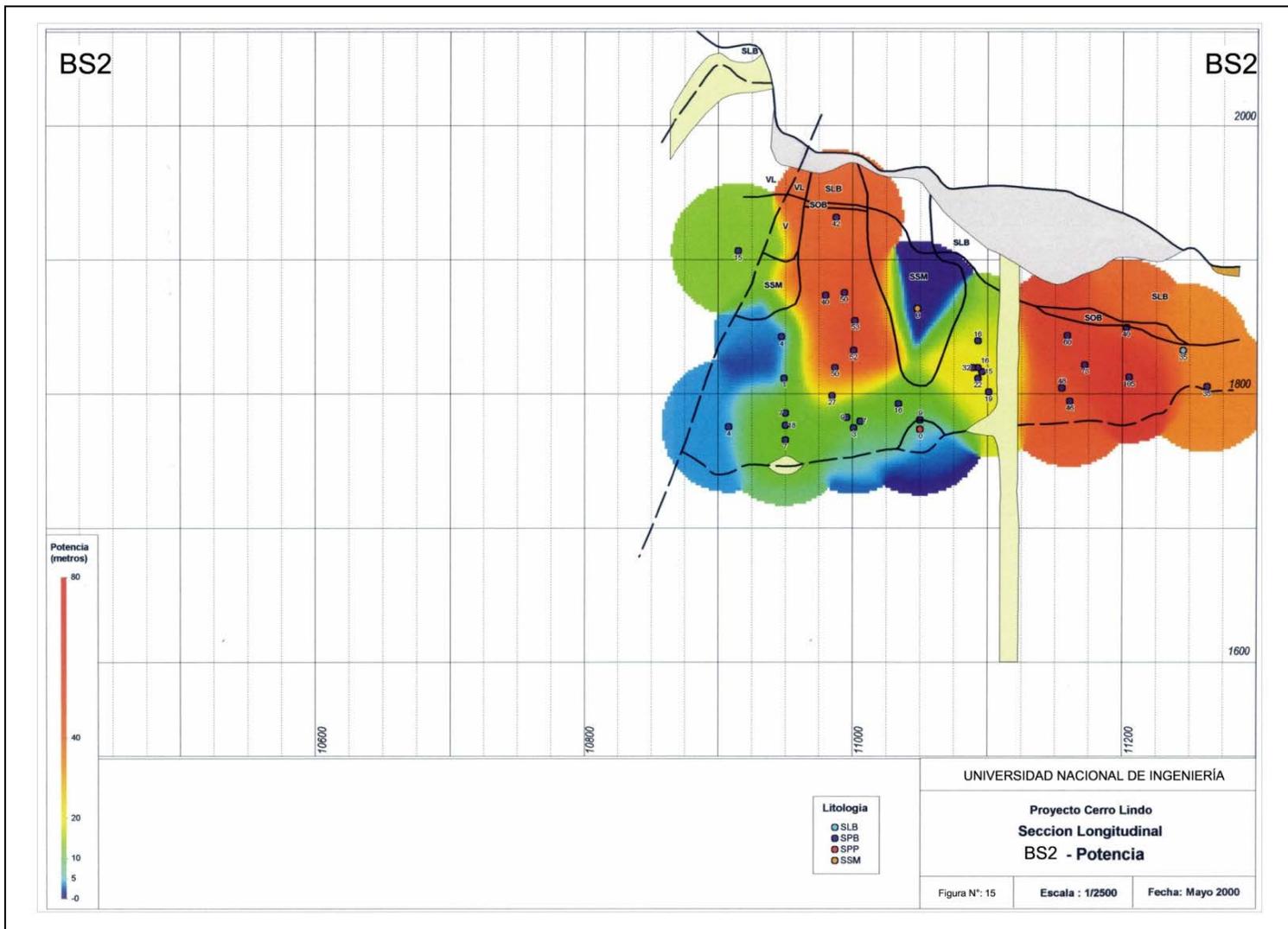


Figura 15: Sección longitudinal BS2 - Potencia

reemplazamiento por SPP hacia esta falla. Entre 11125 y 11275 hay buena conservación de la potencia original. Cerca de la superficie muestra la presencia de horizontes de enriquecimiento secundario (SOB) y de oxidación por intemperismo (SLB); habiéndose erosionado parcialmente.

6.5.6 SS2 (Semimasivo Superior 2)

Presenta potencias de 5 a 40 metros, está definida por la predominancia de SSM con contenidos de pirita principalmente, con presencia variable de barita. Longitudinalmente, ha sido reconocida entre las coordenadas 10900 y 11000 (100 metros), aunque parece continuar en el Bloque Estructural 5 donde fue cortado con buena potencia. Verticalmente tiene una longitud de 200 a 230 metros.

6.5.7 PS2 (Pirita Superior 2)

Presenta potencias de 4 a 60 metros, está definida por la predominancia de SPP masivos granulares (granos de 3 a 6 milímetros de diámetro), compuesto casi exclusivamente de pirita con algo de calcopirita intersticial y ocasionalmente pirrotita.

Longitudinalmente, abarca principalmente desde 10975 a 11125, en el Cuerpo 2, con débil proyección hacia el Bloque Estructural 5; verticalmente abarca desde 1730 a 1880 con 2 ocurrencias limitadas y de escasa importancia sobre la cota 1900. Grada verticalmente a volcánicos, hacia el sur a sulfuros semimasivos y hacia el norte a SPB (no existe esta unidad entre BS1 y BS2) y más adelante a SSM (Figuras 16 y 17)

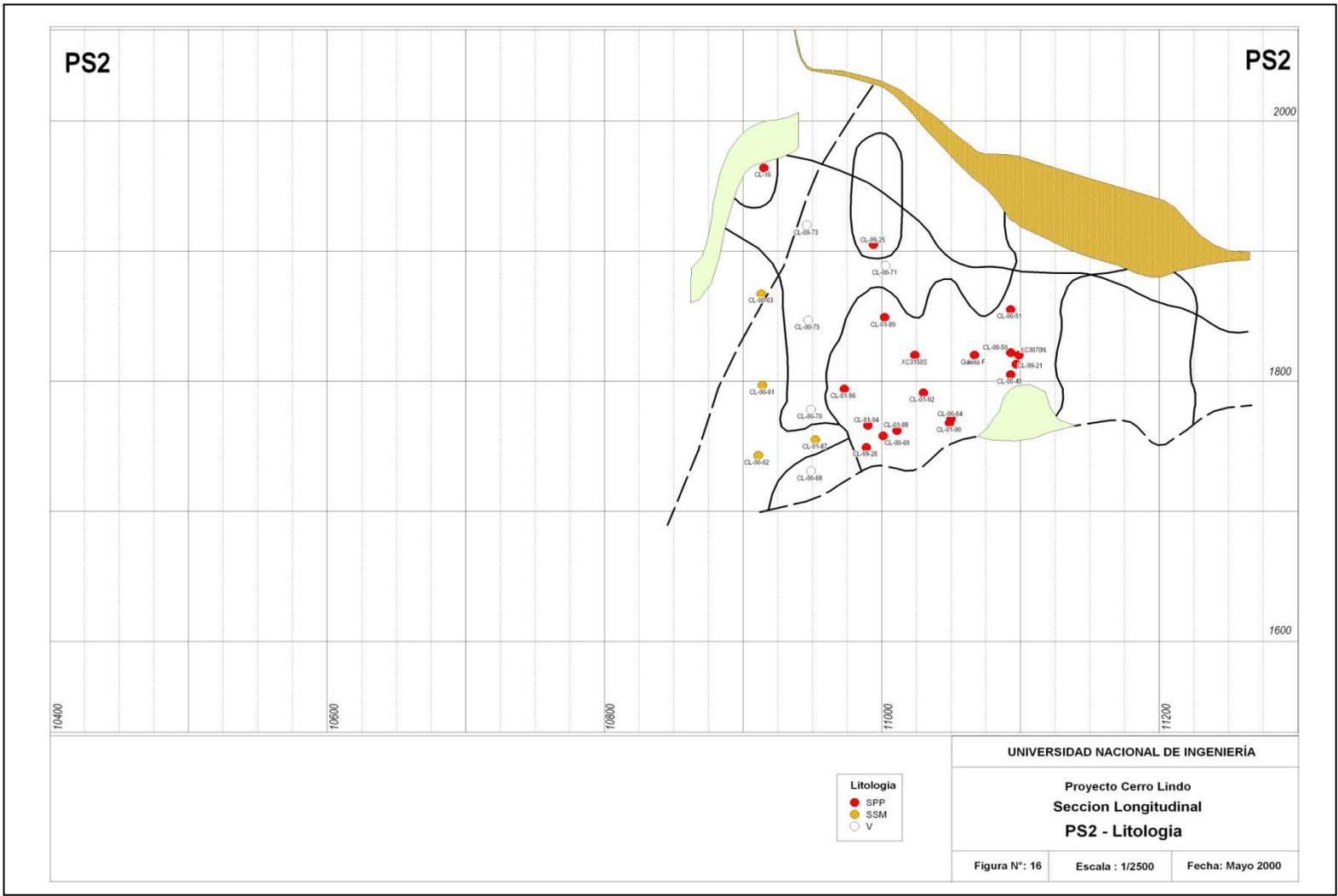


Figura 16: Sección longitudinal PS2 - Litología

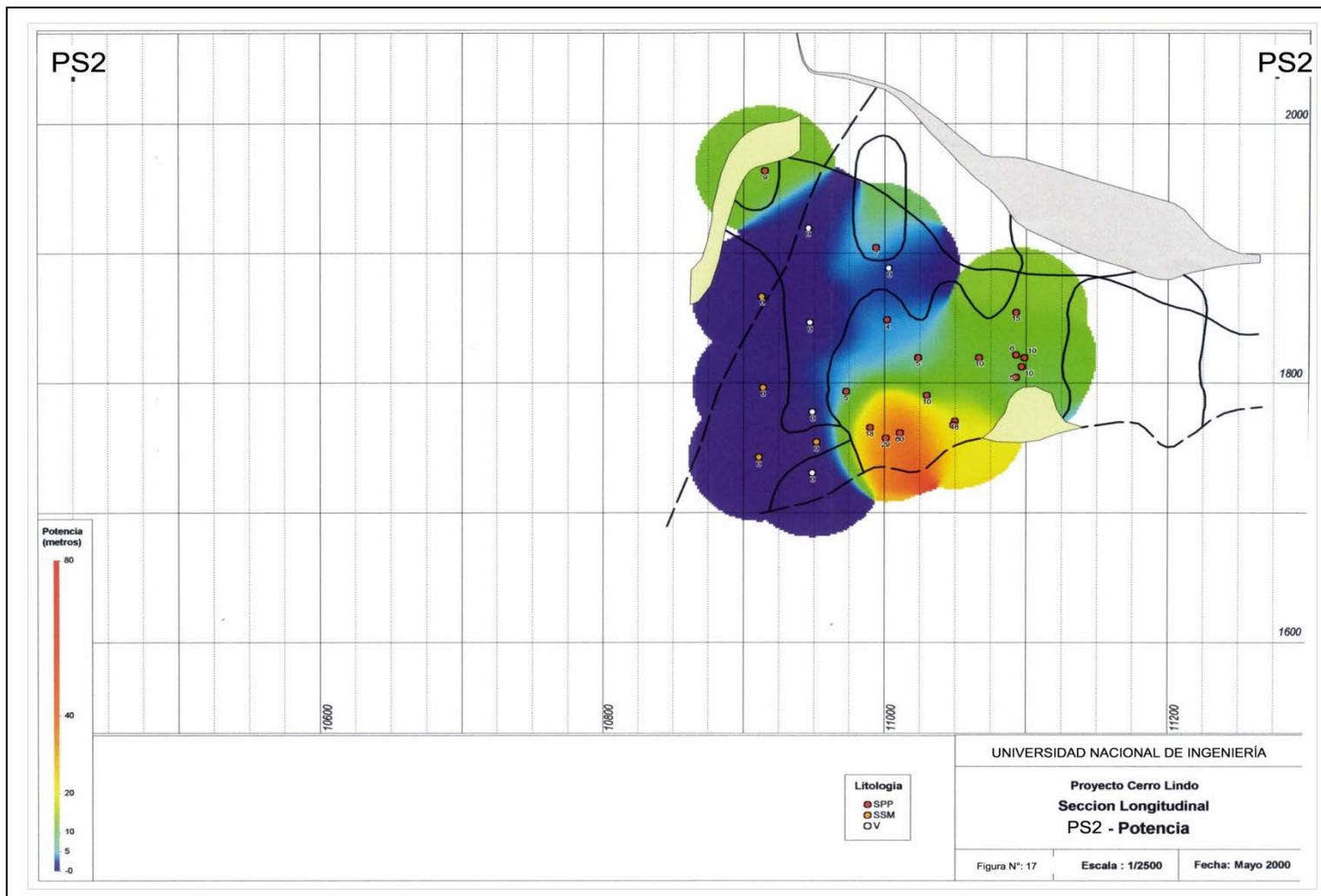


Figura 17: Sección longitudinal PS2 - Potencia

se observa que las potencias tienden a crecer al acercarse a la Falla 35, indicando que esta estructura sería el foco principal de la mineralización.

6.5.8 BS1 (Barita Superior 1)

Presenta potencias de 10 a 30 metros, está definida por la predominancia de SPB granulares bandeados (granos de 3 a 6 milímetros de diámetro), compuesta por barita, pirita, esfalerita, galena y calcopirita, con enriquecimiento de cobre en el contacto con SPP.

Longitudinalmente, abarca desde 10900 hasta 11250, principalmente el Cuerpo 2 con débil proyección hacia el Bloque estructural 5; verticalmente tiene una extensión de 30 a 200 metros (Figuras 18 y 19).

Cerca de la Falla 35 grada a SPP (realmente es remplazado por SPP), hacia los niveles superiores grada parcialmente a volcánico y hacia el norte grada a SSM (gradación normal al acercarse al límite de la cuenca).

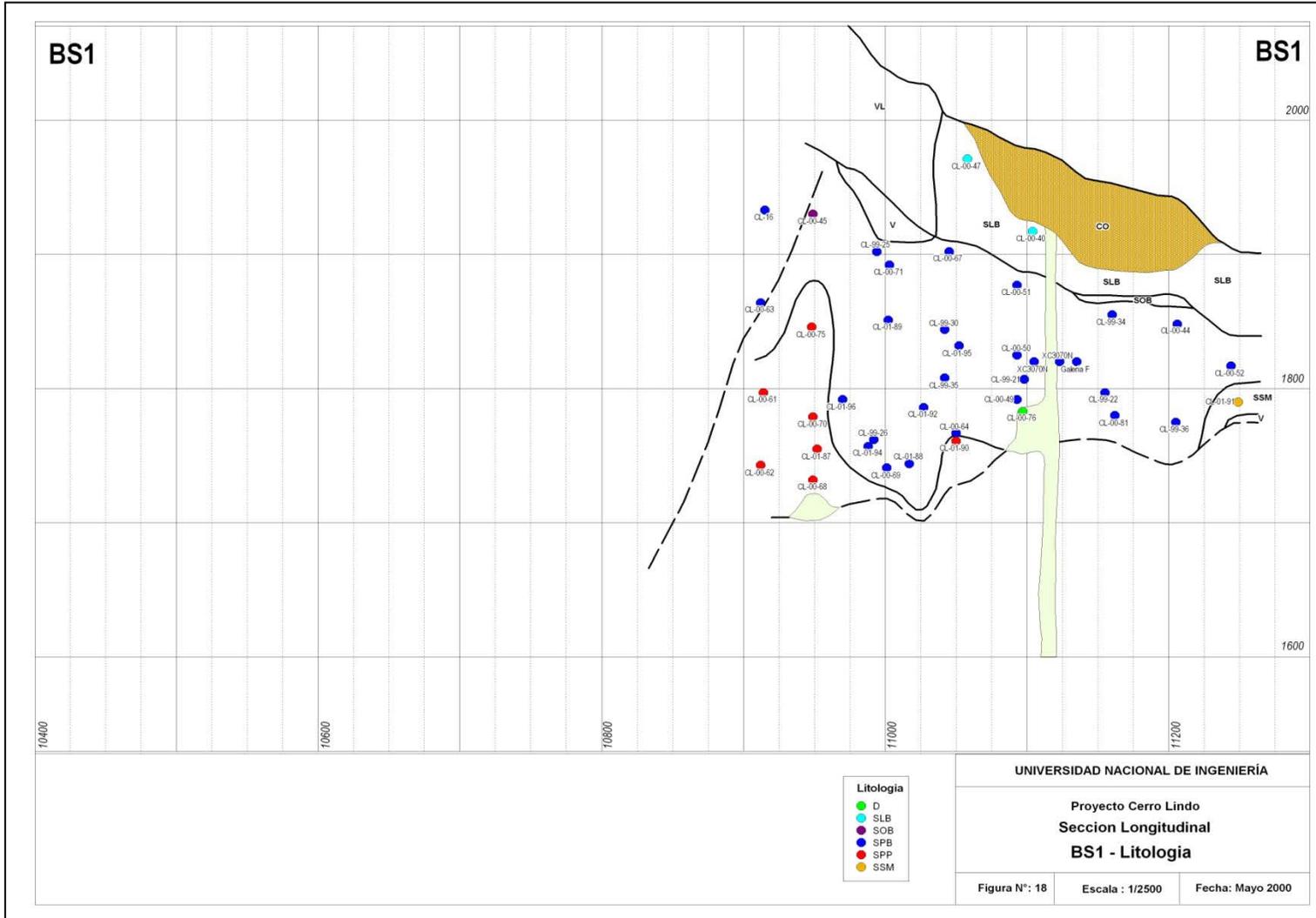


Figura 18: Sección longitudinal BS1 - Litología

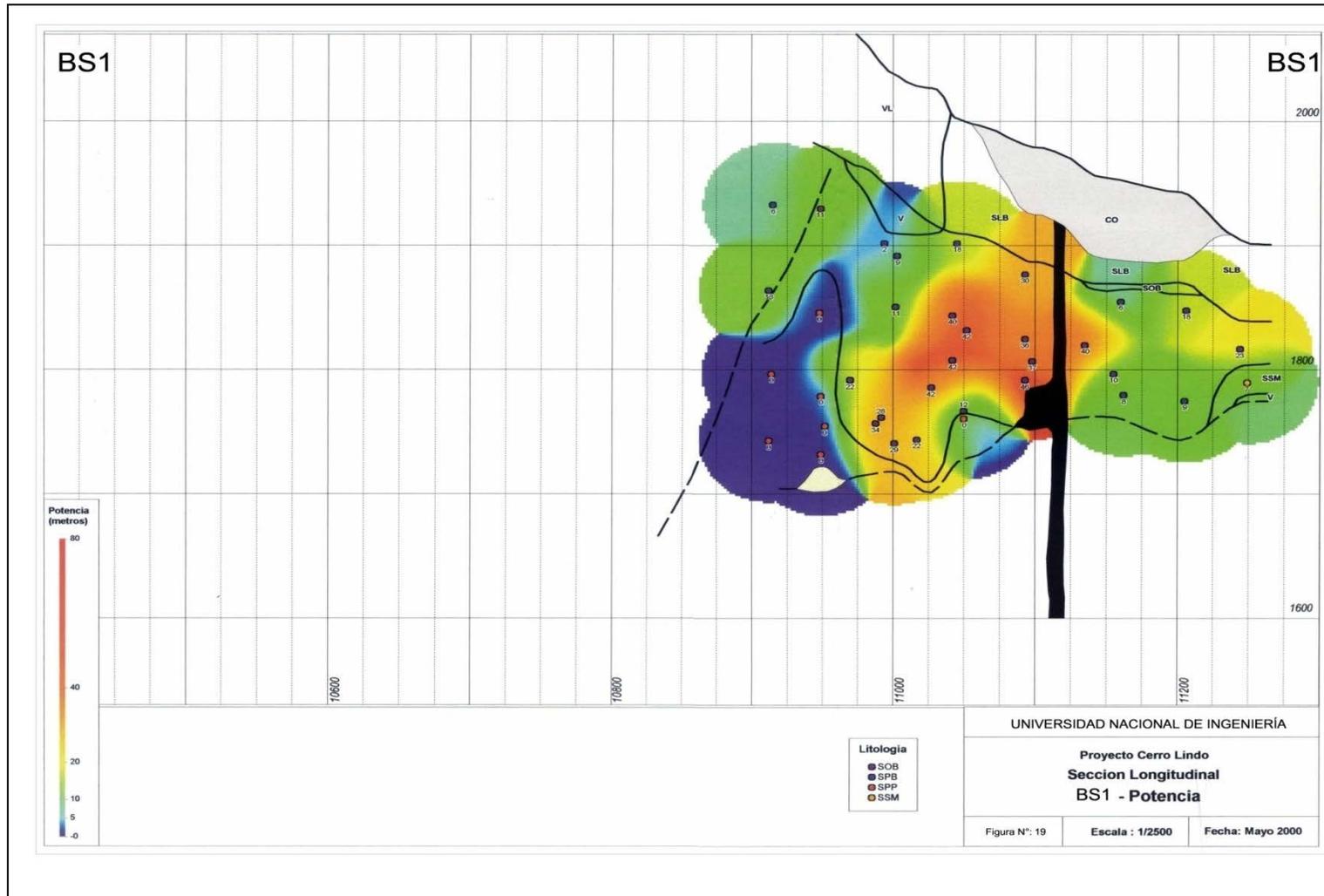


Figura 19: Sección longitudinal BS1 - Potencia

Las potencias estarían controladas por la morfología de la cuenca de deposición, la disminución de la potencia se debe a este hecho o al reemplazamiento por SPP.

Cerca de superficie se ha detectado el desarrollo de horizontes de Sulfuros Oxidados Baríticos (SOB) y Sulfuros Lixiviados Baríticos (SLB).

6.5.9 PS1 (Pirita Superior 1)

Presenta potencias de 4 a 40 metros, está definida por la predominancia de SPP masivos granulares (granos de 3 a 6 milímetros de diámetro), compuesto casi exclusivamente de pirita con algo de calcopirita intersticial y ocasionalmente pirrotita.

Longitudinalmente abarca desde 10850 hasta 11250, correspondiendo principalmente al Cuerpo 2 con leve proyección hacia el Bloque Estructural 5. Verticalmente, alcanza longitudes de 80 a 230 metros (Figuras 20 y 21).

Realmente es una unidad muy persistente, hacia los niveles superiores grada a volcánico y SSM, como parte natural de la gradación en los sulfuros masivos.

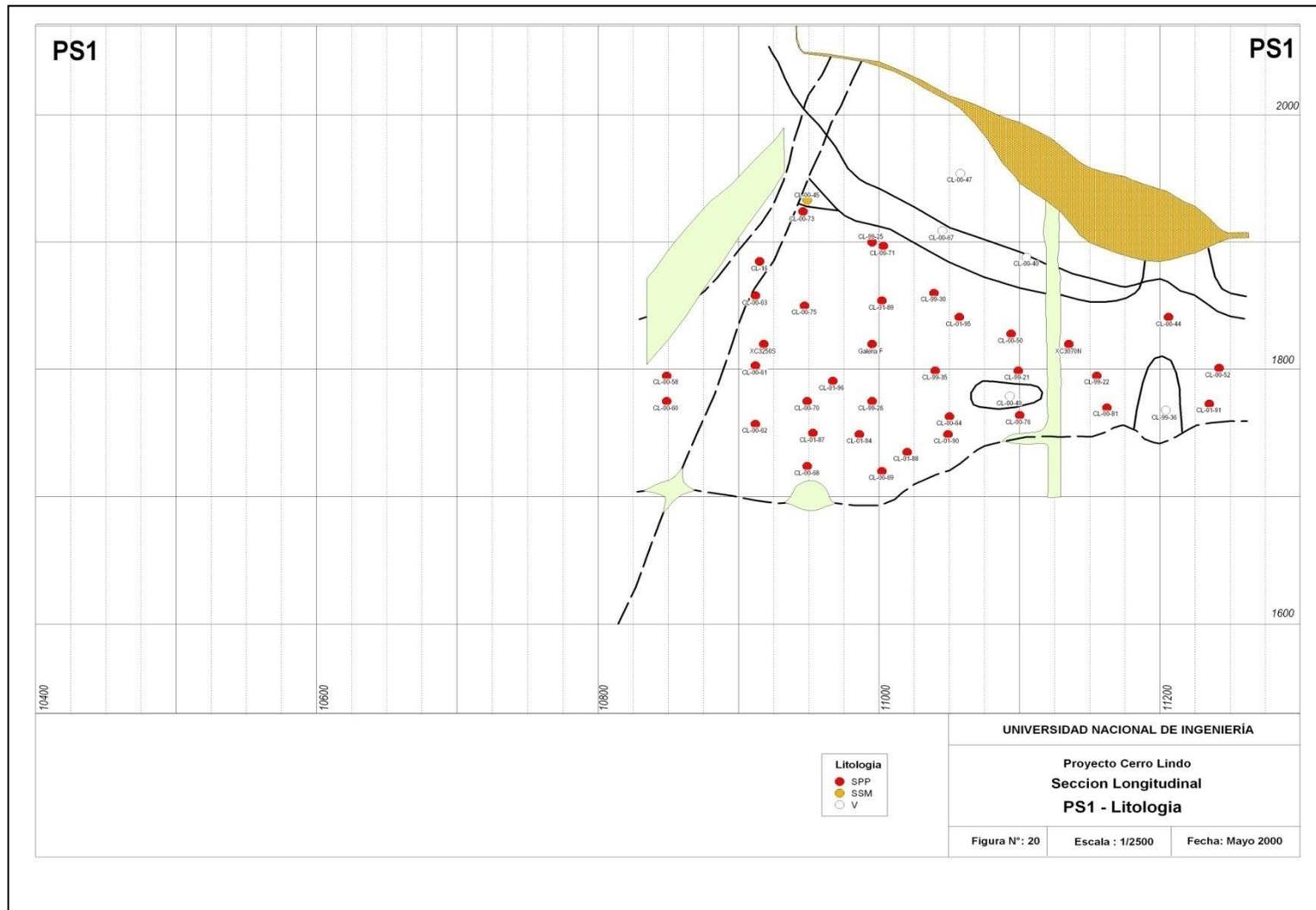


Figura 20: Sección longitudinal PS1 - Litología

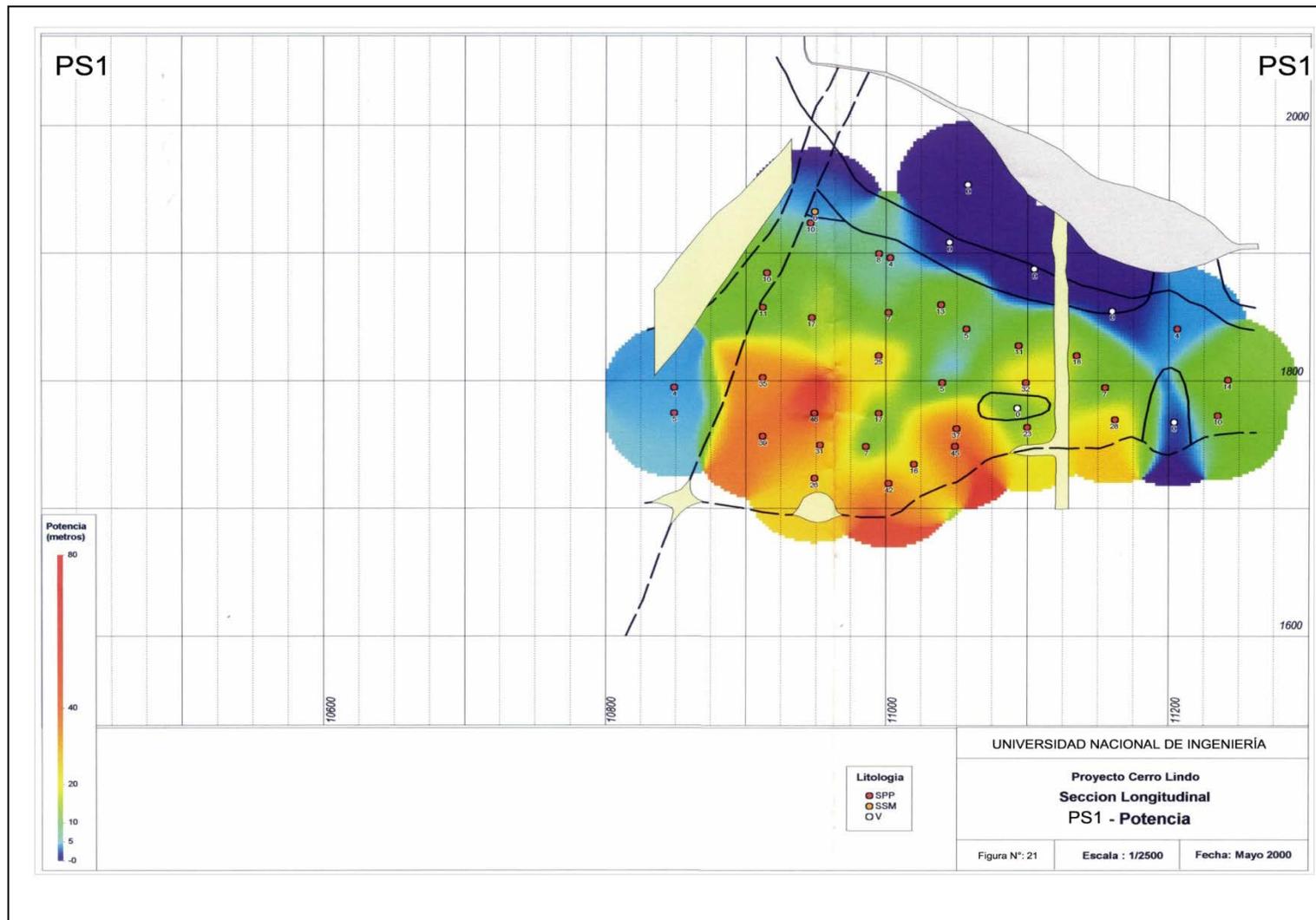


Figura 21: Sección longitudinal PS1 - Potencia

Las potencias tienden a aumentar al acercarse a la Falla 35, indicando que esta estructura es genéticamente importante.

6.5.10 BI2 (Barita Inferior 2)

Presenta potencias de 3 a 75 metros, está definida por la predominancia de SPB granulares bandeados (granos de 3 a 6 milímetros de diámetro), compuesta por barita, pirita, esfalerita, galena y calcopirita, con enriquecimiento de cobre en el contacto con SPP.

Longitudinalmente, esta unidad abarca los Cuerpos 2 y 5, con 2 tramos continuos, de 10475 a 11025 y de 11050 a 11250 (550 y 175 respectivamente). Verticalmente, alcanza longitudes de 130 a 250 metros. Es una unidad muy continua en el Cuerpo 5, a diferencia de lo observado en el Cuerpo 2; esto se debería al mayor tiempo de invasión de SPP de las unidades superiores en el Cuerpo 2 (Figuras 22 y 23).

Hacia los niveles superiores y hacia el norte grada a SSM y volcánico; hacia el sur está abierto quedando por definir su continuidad. Entre 11000 y 11075, hacia la Falla 35 se encuentra remplazada por SPP, indicando una vez más la relación de la Falla 35 con la mineralización.

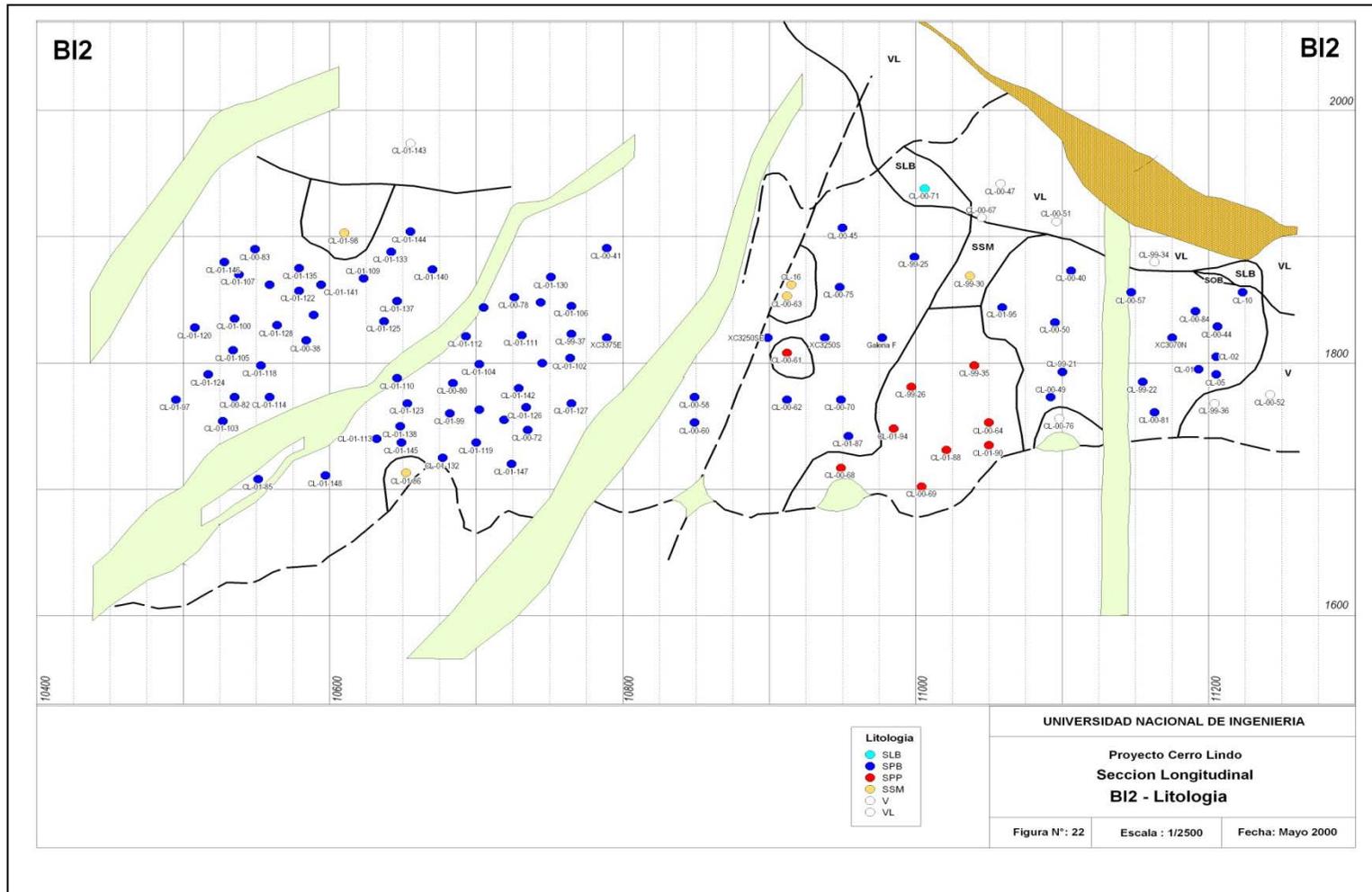


Figura 22: Sección longitudinal BI2 - Litología

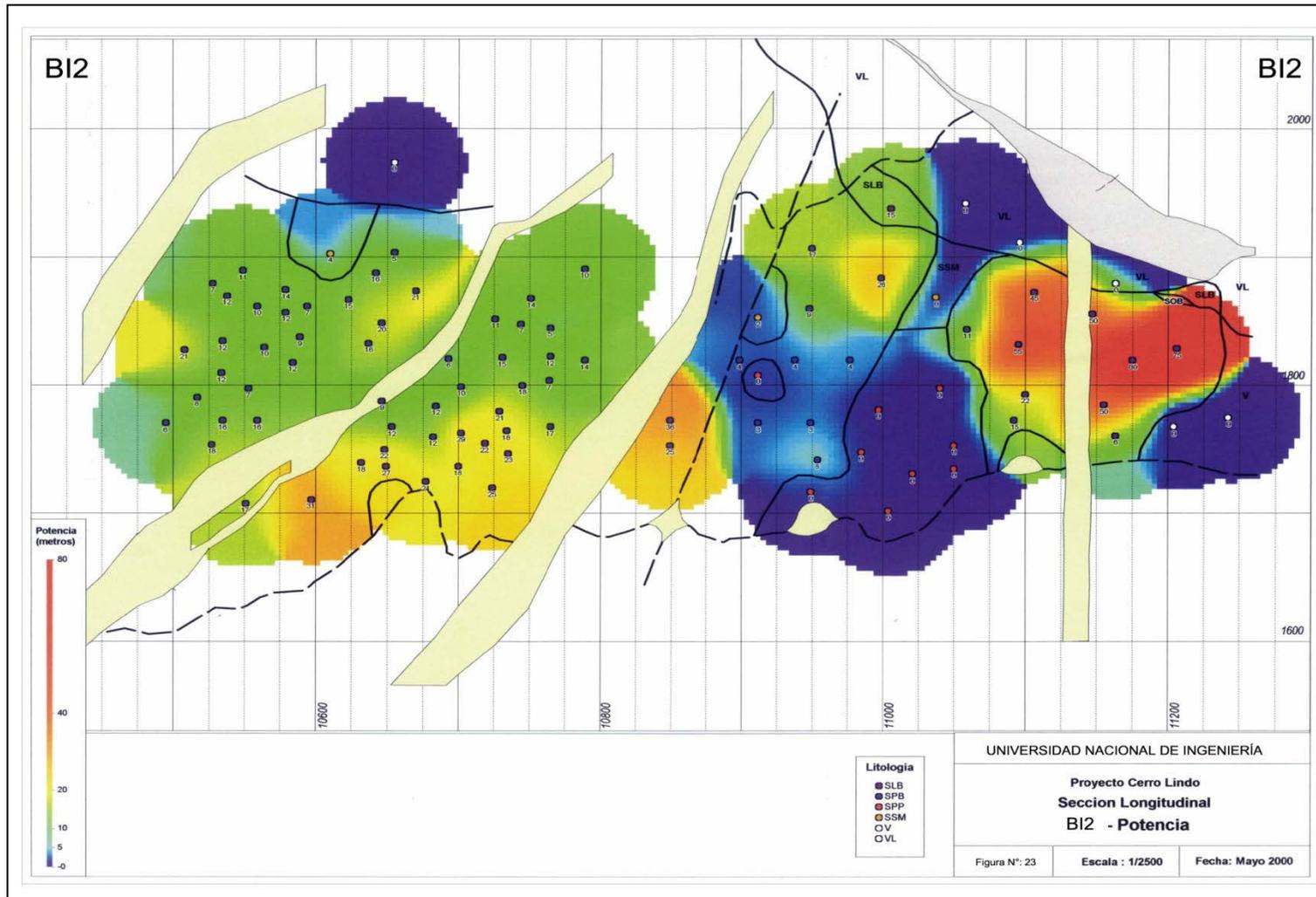


Figura 23: Sección longitudinal B12 - Potencia

Con respecto a las potencias, en el Cuerpo 5 se observa una gradación natural de la potencia desde la Falla 35 hacia los niveles superiores, indicando la ausencia o escasez de reemplazamiento por SPP. En el Cuerpo 2, por el contrario, se observa disminución de potencias por reemplazamiento cerca a la Falla 35.

Cerca de superficie se determino la existencia de horizontes SOB y SLB, aunque según la información de taladros se interpreta que esta unidad deja de existir antes de llegar al cuaternario.

6.5.11 PI2 (Pirita Inferior 2)

Presenta potencias de 3 a 50 metros, está definida por la predominancia de SPP masivos granulares (granos de 3 a 6 milímetros de diámetro), compuesto casi exclusivamente de pirita con algo de calcopirita intersticial y ocasionalmente pirrotita.

Longitudinalmente, esta unidad es muy continua en el Cuerpo 5 y 2, siendo reconocido desde 10450 hasta 11250 (800 metros). Verticalmente, alcanza una longitud de 110 a 300 metros (Figuras 24 y 25).

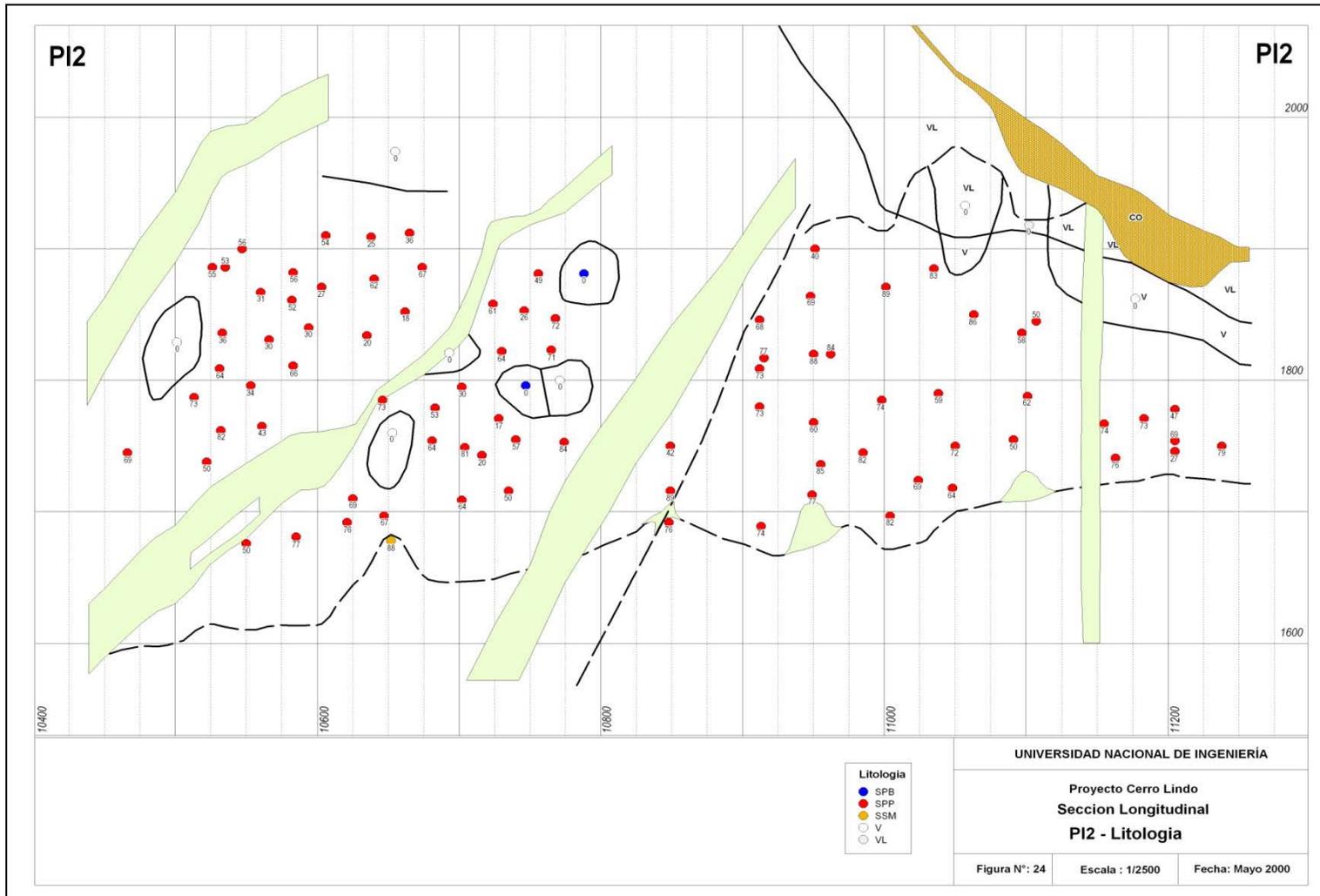


Figura 24: Sección longitudinal PI2 - Litología

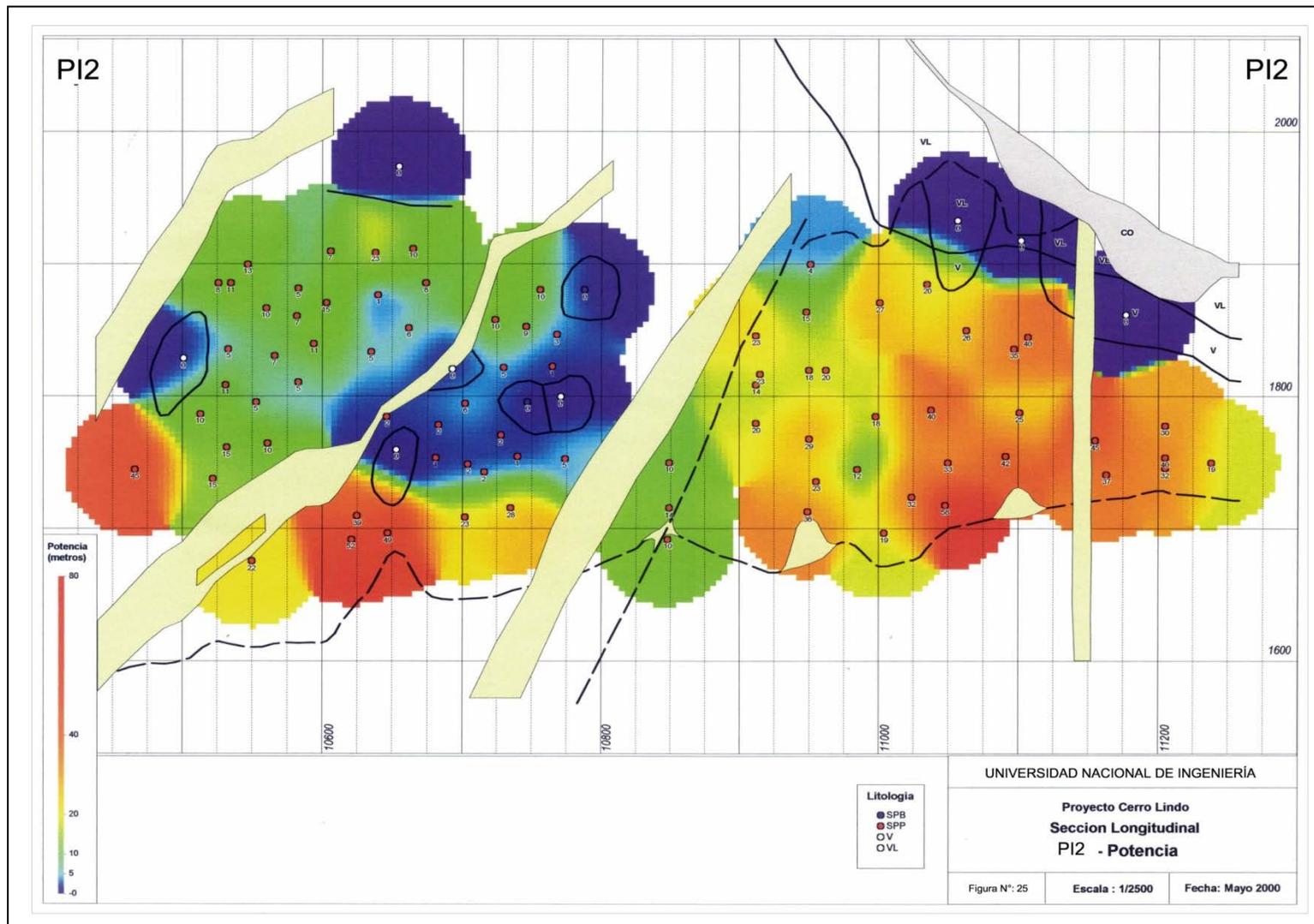


Figura 25: Sección longitudinal PI2 - Potencia

Hacia los niveles superiores y hacia el norte grada a volcánicos; hacia el sur tiene buenas perspectivas de continuación.

Las potencias, en general, tienden a incrementarse al acercarse a la Falla 35, indicando la relación de esta estructura con la mineralización.

6.5.12 BI1 (Barita Inferior 1)

Presenta potencias de 5 a 30 metros, está definida por la predominancia de SPB granulares bandeados (granos de 3 a 6 milímetros de diámetro), compuesta por barita, pirita, esfalerita, galena y calcopirita, con enriquecimiento de cobre en el contacto con SPP (Figuras 26 y 27).

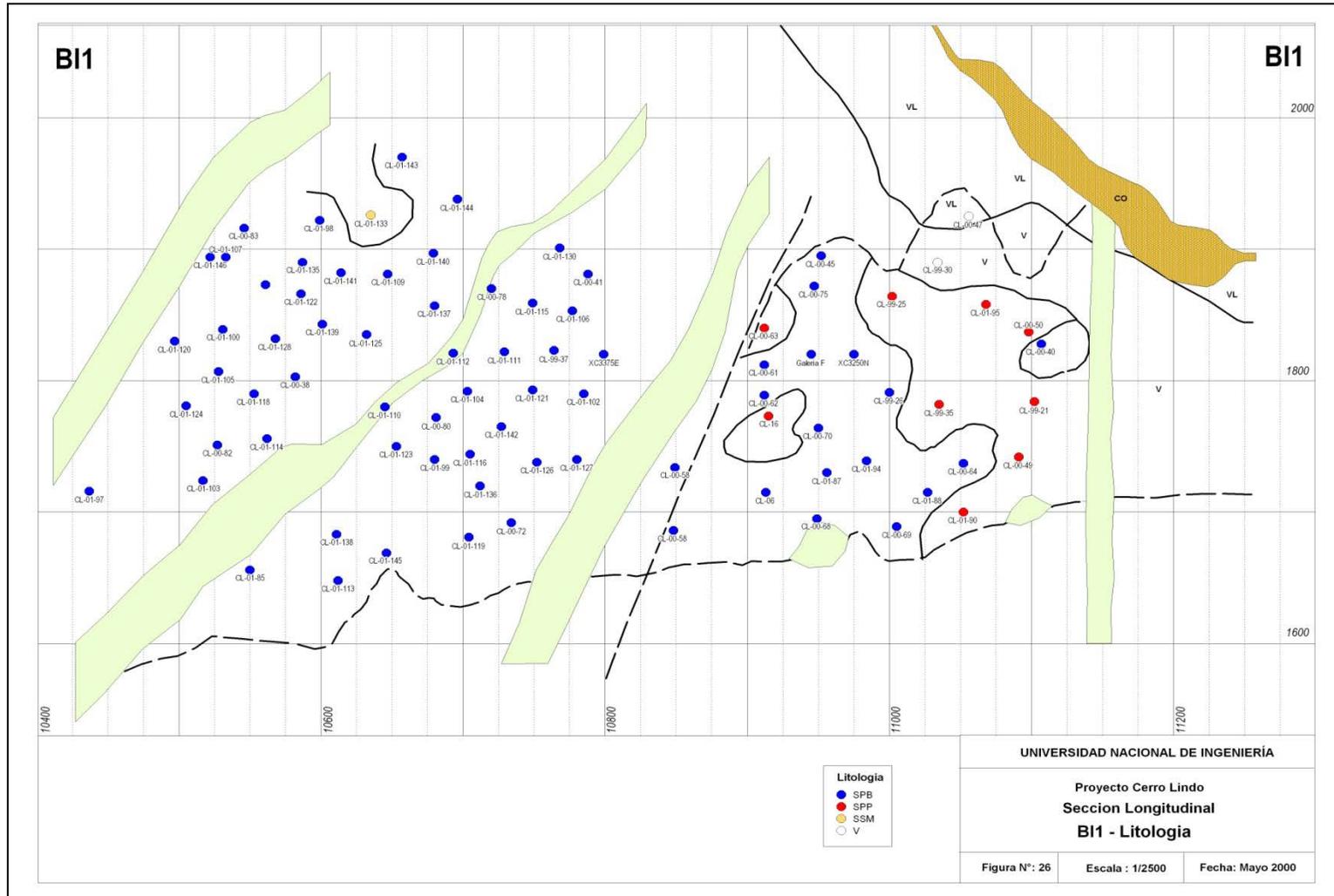


Figura 26: Sección longitudinal B11 - Litología

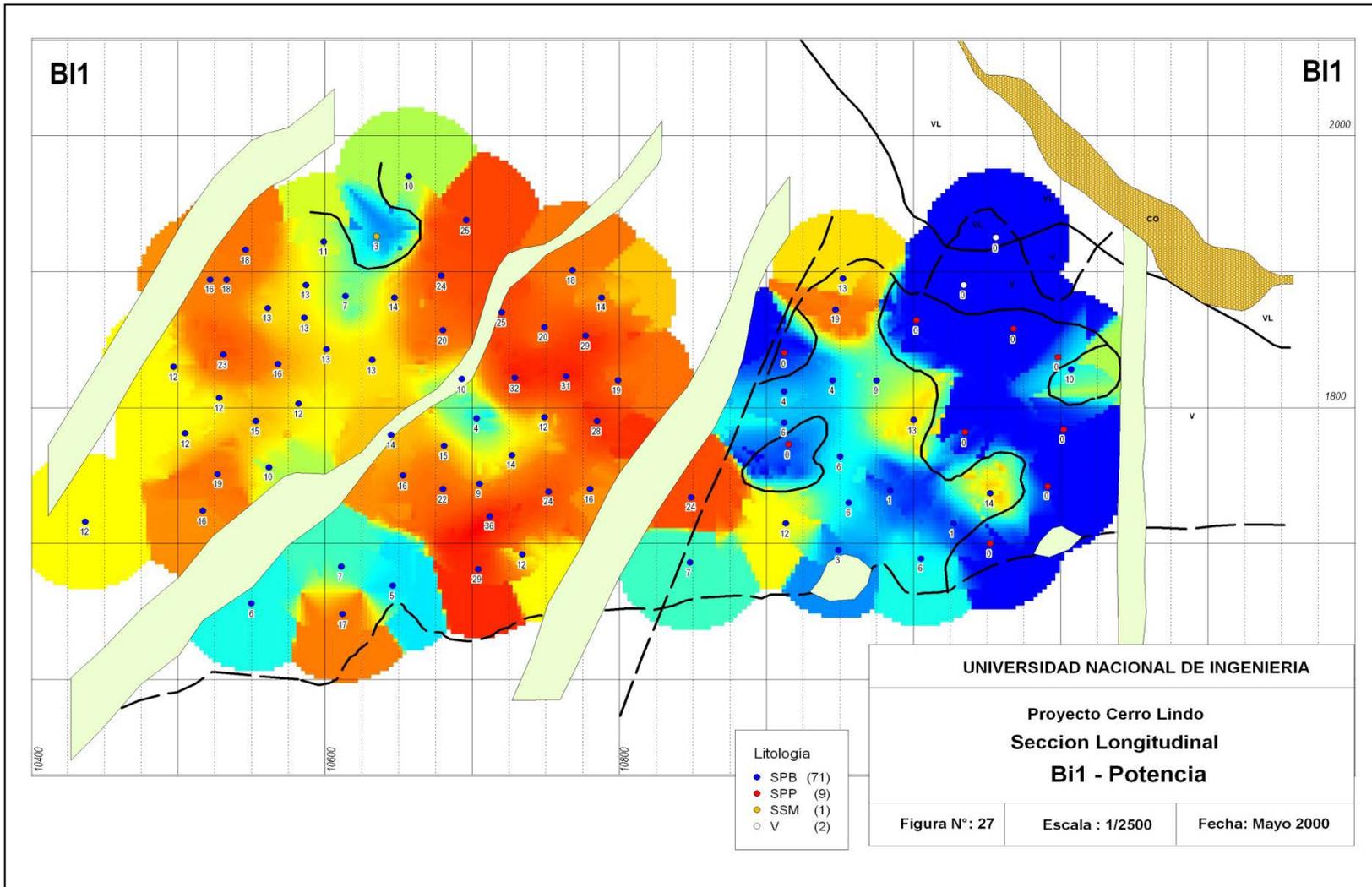


Figura 27: Sección longitudinal BI1 - Potencia

Longitudinalmente, esta unidad está reconocida desde 10425 hasta 11050 (625 metros), con una ocurrencia muy local en 11100; según la interpretación esta unidad no existiría después de 11150 por corresponder un antiguo alto estructural. Verticalmente alcanza una longitud de 250 a 330 metros, quedando abierta para futuras exploraciones entre 10650 y 10850.

Verticalmente grada a volcánicos, hacia el norte grada a SPP (reemplazada por SPP); existen 2 ocurrencias de SPP en 10900 que indicarían la magnitud del reemplazamiento. Las potencias reconocidas mediante los taladros tienden a disminuir hacia la falla 35 y hacia los puntos con SPP, acorde al reemplazamiento por SPP.

6.5.13 PI1 (Pirita Inferior 1)

Presenta potencias de 0 a 60 metros, está definida por la predominancia de SPP masivos granulares (granos de 3 a 6 milímetros de diámetro), compuesto casi exclusivamente de pirita con algo de calcopirita intersticial y ocasionalmente pirrotita.

Esta unidad es muy continua en los Cuerpos 5 y 2, abarcando desde 10475 hasta 11150 (675 metros); después de 11150 no existe esta unidad. Verticalmente, alcanza una longitud de 180 a 350 metros (Figuras 28 y 29).

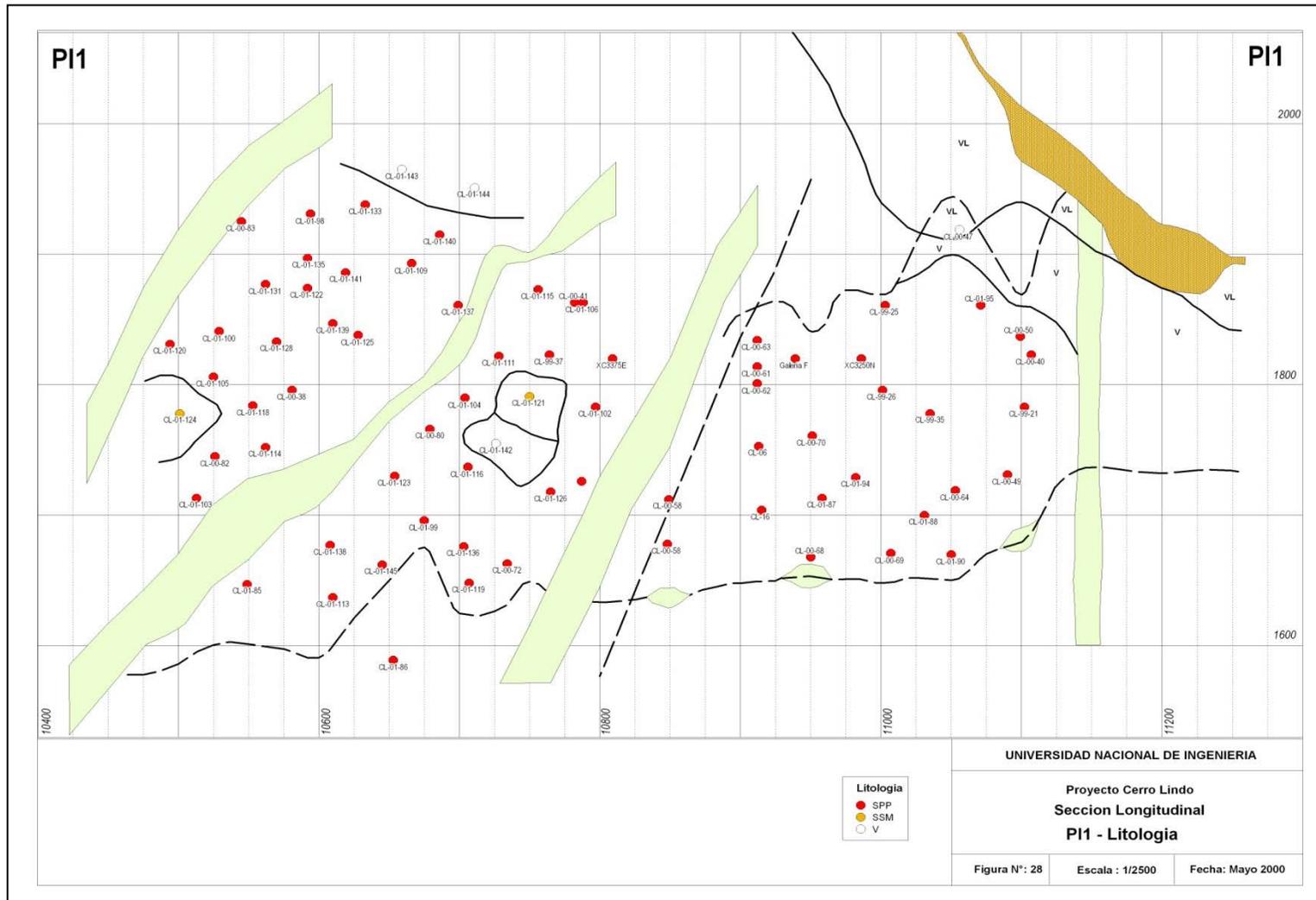


Figura 28: Sección longitudinal PI1 - Litología

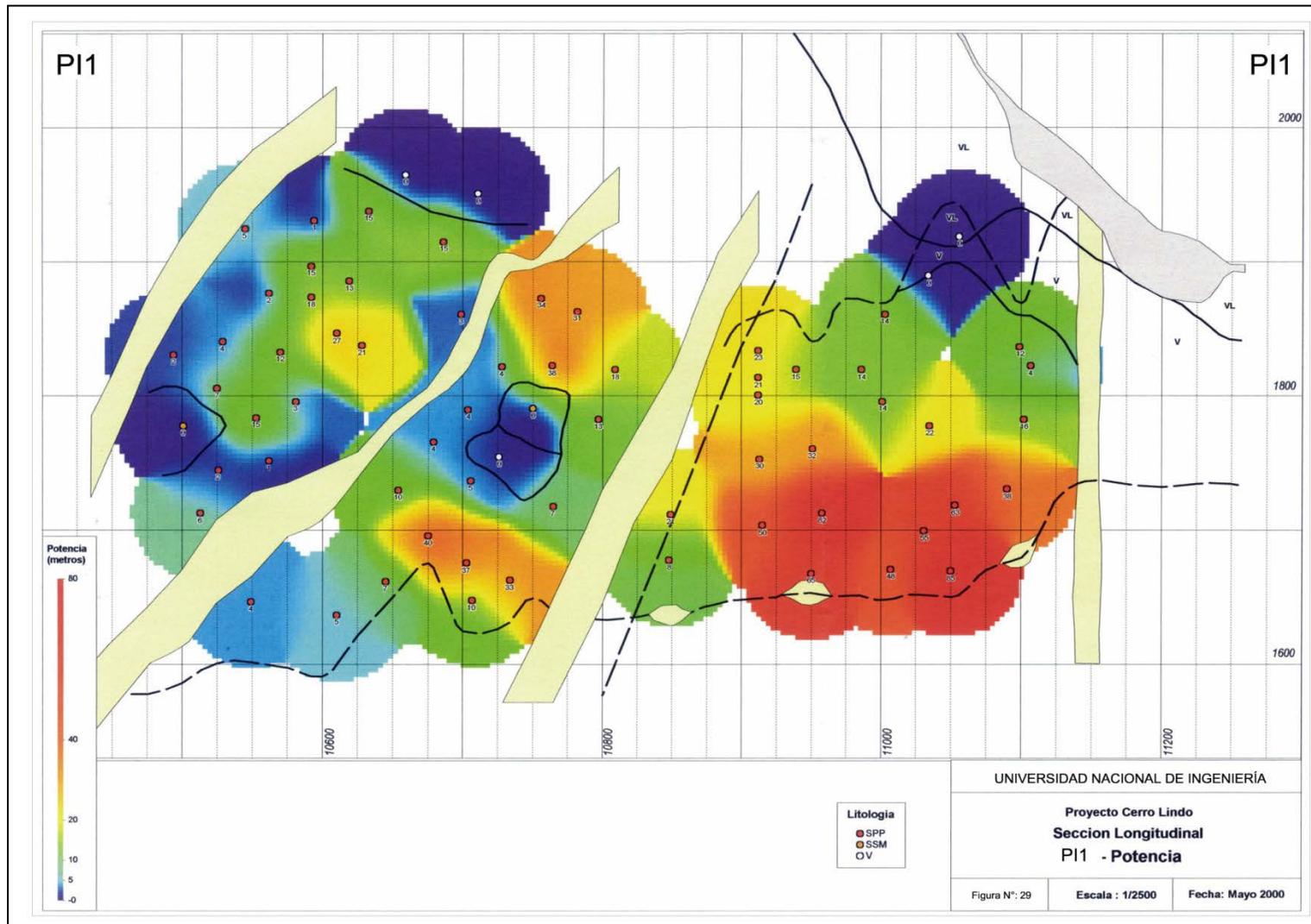


Figura 29: Sección longitudinal P11 - Potencia

Hacia los niveles superiores y hacia el norte grada a volcánicos, indicando su estrangulamiento o interdigitación; hacia el sur se encuentra abierto con buenos indicios de continuidad.

Las potencias tienden a incrementarse al acercarse a la Falla 35, indicando la relación de esta falla con la mineralización.

6.5.14 SI1 (Semimasivo Inferior 1)

Presenta una potencia de 1 a 30 metros, está definida por la presencia de SSM entre PI1 y el HW, compuesto por stockwork, venillas y/o diseminación de casi exclusivamente pirita con diseminación y venillas de pirita en cantidad variable y esporádica presencia de pirrotita. Predominancia de grano medio a fino (2.0 a 0.3 milímetros de diámetro).

Esta unidad es continua en los Cuerpos 2 y 5, abarcando desde 10475 hasta 11225 (750 metros). Verticalmente, abarca desde 100 hasta 350 metros de longitud (Figuras 30 y 31).

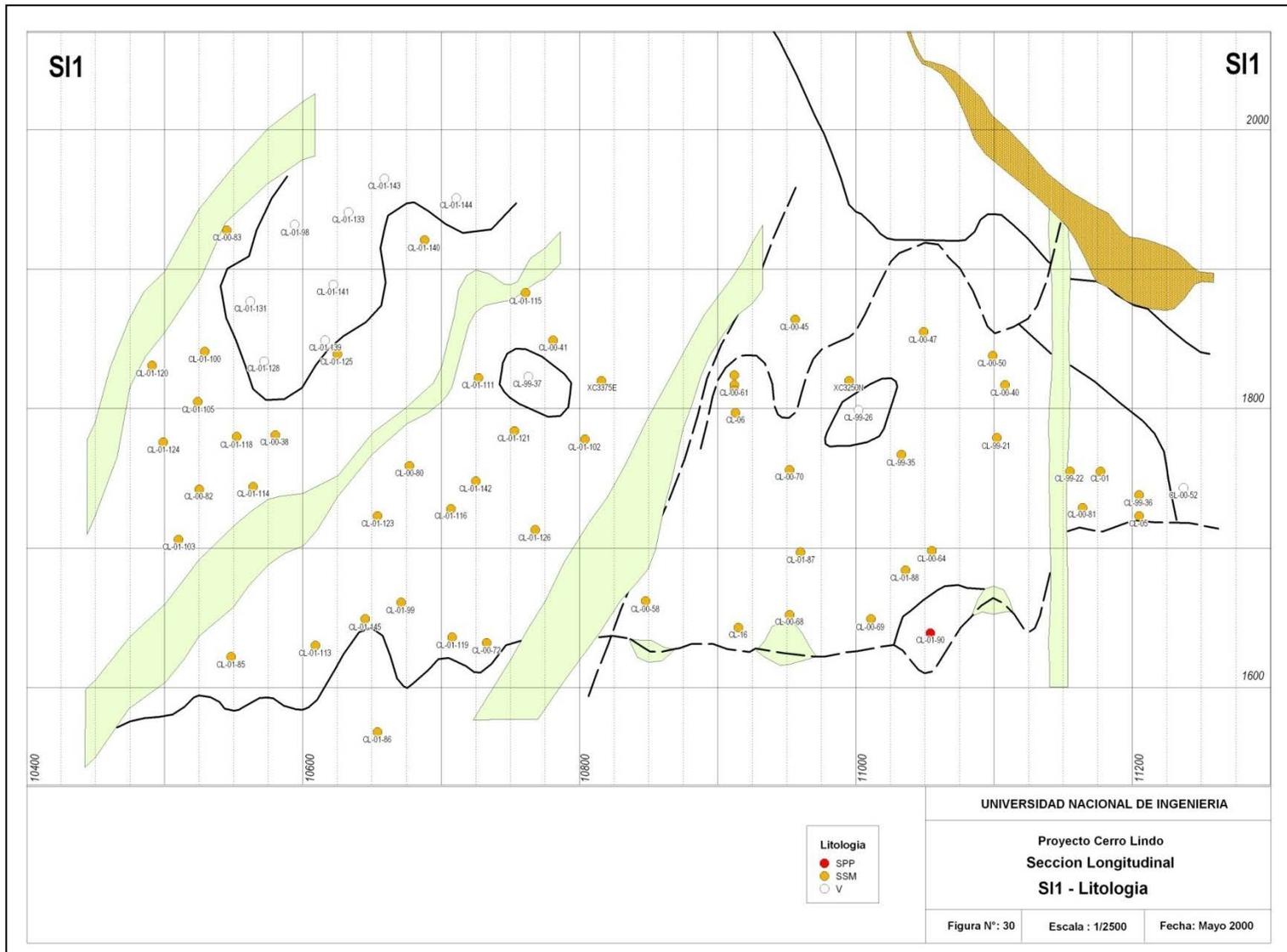


Figura 30: Sección longitudinal SI1 - Litología

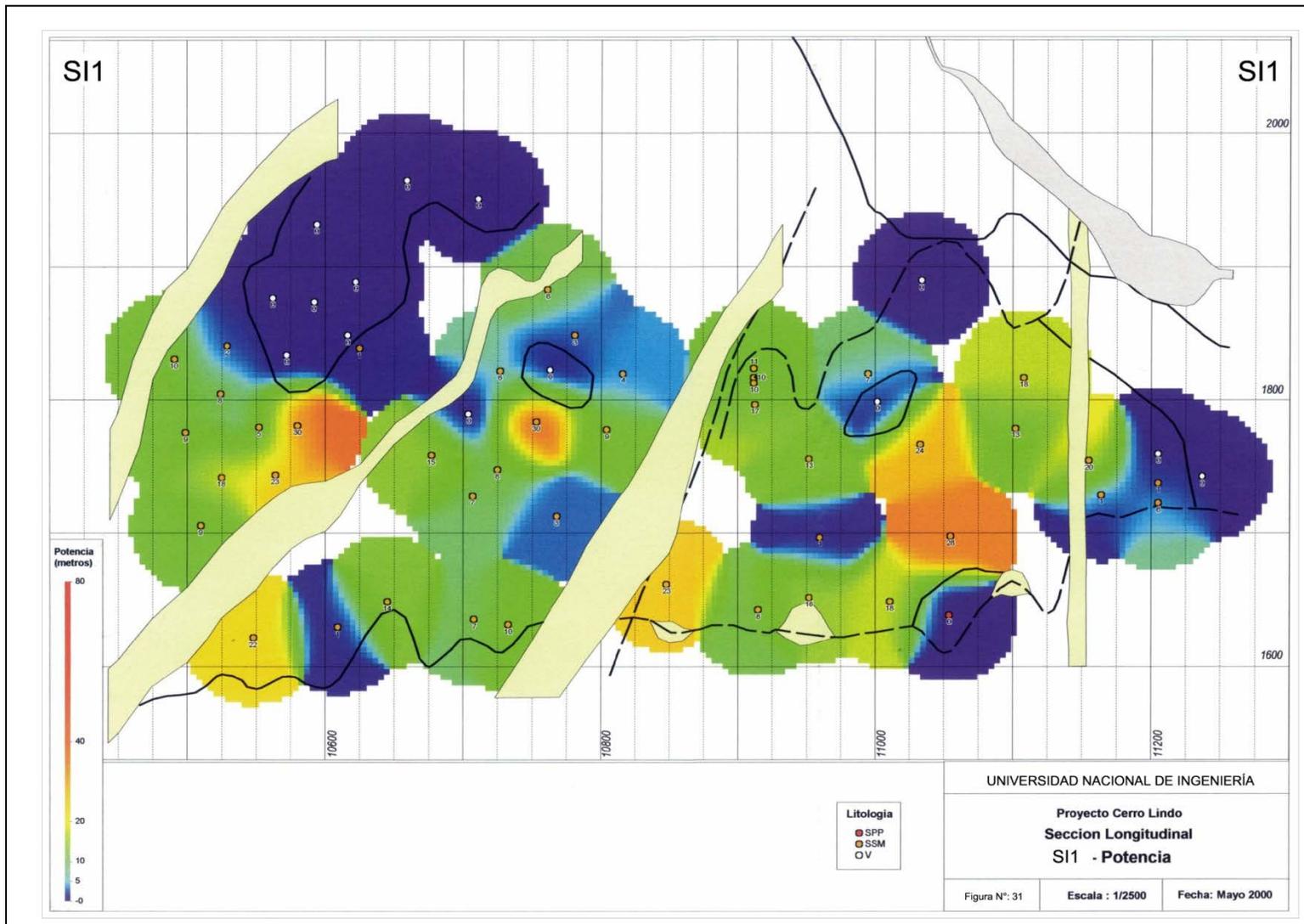


Figura 31: Sección longitudinal S11 - Potencia

Como es lógico grada a volcánicos hacia los niveles superiores y hacia el norte; hacia el sur tiene buena extensión vertical que supone continuidad hacia este sector. Hacia la Falla 35 se presenta SPP en 11150 que indicaría la relación de esta falla con la mineralización.

Las potencias tienden a incrementarse al acercarse a la Falla 35, relacionando esta falla con la mineralización. Existen puntos de considerable potencia que pueden estar relacionados a otros stringers transversales a la Falla 35 o a ramales relacionados a fallas secundarias que están unidas a la Falla 35.

6.5.15 FW (Foot Wall)

Viene a ser la roca que se encuentra por debajo de los sulfuros masivos. Tal como en el Hanging Wall, solo tomamos en cuenta los resultados del muestreo de unos 25 metros por debajo de S11.

6.6 Alteración hidrotermal

La alteración en Cerro Lindo estaría definida por:

La principal alteración hidrotermal reconocida en Cerro Lindo es la asociación sericita-pirita, el cual se encuentra rodeando a los cuerpos de Sulfuros Masivos, tanto en la caja techo (HW) como en la caja piso (FW).

El intemperismo de esta alteración es la que es responsable de la intensa anomalía de color que caracteriza al proyecto. Sin embargo:

- Existen áreas no muy amplias con presencia de silicificación y están circunscritas principalmente a la caja piso (FW), asociadas a zonas de stockwork y englobados de volcánicos en sulfuros masivos donde estos fragmentos redondeados parecen flotar con un cementante siliceo.
- La alteración clorítica, caracterizada por clorita magnesífera negra esta circunscrita a algunas zonas de debilidad y fallas con presencia de calcopirita y pirrotita; sin embargo hasta el momento no se ha podido detectar un gran pipe de alteración.

Por otro lado, se ha podido detectar presencia de biotita y andalucita en el proyecto:

- Según estudios de secciones delgadas, la biotita presente en las rocas encajonantes se habrían formado como parte del proceso de metamorfismo regional; además se ha reconocido biotita recristalizada muy lejos de los cuerpos de sulfuros masivos.
- La andalucita tiene mayor presencia en el Foot Wall, e incluso es normal encontrarla por debajo o como parte de S11. En el Hanging Wall ocurre en mucha menor cantidad y menor continuidad lateral. La presencia de andalucita se debería al metamorfismo de una zona con

alto contenido de aluminio, relacionado a una mayor intensidad de la sericitización y/o la presencia de otros minerales de alteración hidrotermal con aluminio (montmorillonita?). Por otro lado, es común encontrar andalucita como mineral asociado a la caja piso de los depósitos vulcanogénicos (Noranda, Kuroko).

6.7 Metamorfismo Regional

El metamorfismo regional ha sido el causante de:

- Incremento en el tamaño de grano dentro de los sulfuros masivos, esto ha sido reportado en varias minas y tienen una implicancia económica porque incrementa el grado de liberación de los minerales durante el proceso metalúrgico.
- La roca encajonante que en principio consistían de tufos ceniza, tufos lapilli y lavas de composición riolítica a dacítica, se hayan metamorfizados presentando desde texturas porfidoblásticas con blastos de diferentes dimensiones y formas, hasta texturas granoblásticas. Los estudios de secciones delgadas categorizan las rocas metamórficas como gneises a hornfels con ensamble cuarzo – feldespatos – (muscovita) – (biotita) – (andalucita).

6.8 Alteración Supérgena

El intemperismo afecta a los volcánicos reemplazando los ferromagnesianos por limonitas y los feldespatos por arcillas o sericita, llegando a ensombrecer las texturas y coloraciones originales de los volcánicos, dificultando su reconocimiento para definir su posición estratigráfica.

Por acción del intemperismo, ha ocurrido la lixiviación de algunos elementos y minerales, y la redepositación de elementos conformando nuevos minerales, resultando los horizontes de enriquecimiento secundario y oxidación típicos para cualquier depósito. En la Tabla 3 se muestran las litologías producidas por el intemperismo de depósitos VMS.

Tabla 3: Litología producidas por intemperismo de las litologías básicas de sulfuros masivos

Litología	Abrev.	Descripción
Volcánico Lixiviado	VL	Volcánico afectado por la lixiviación.
Sulfuro Lixiviado Barítico	SLB	Lixiviación del Sulfuro Primario Barítico.
Sulfuro Lixiviado Pirítico	SLP o BXC	Lixiviación del Sulfuro Primario Pirítico, manifestándose como Brechas de Colapso (BXC) producto del desmoronamiento al lixiviarse la pirita.
Sulfuros Enriquecido Barítico	SEB	Horizonte de Sulfuros Enriquecidos afectando los Sulfuros Primarios Baríticos.
Sulfuro Enriquecido Pirítico	SEP	Horizonte de Sulfuros Enriquecidos afectando los Sulfuros Primarios Piríticos.

6.8.1 Enriquecimiento Secundario

Los minerales lixiviados (principalmente el cobre) de los niveles superficiales intemperizadas se concentran en condiciones atmosféricas normales y un ambiente reductor por debajo del nivel de agua, precipitando la covelita y calcosita. En Cerro Lindo se encuentra la calcosita como mineral principal con covelita en algunos casos con un notorio cambio físico al pasar hacia el horizonte de oxidación.

En la Figura 32 se muestra el zonamiento metálico por acción del intemperismo (Taladro CL-01-129, perforado en el Cuerpo 2), donde en el horizonte de enriquecimiento secundario:

- El oro tiende a enriquecerse levemente, aunque el promedio para SPB y SPP en este horizonte es menor a la zona de sulfuros.
- La plata parece conservarse e incluso incrementarse levemente, aunque el promedio de este horizonte es menor que el promedio de SPB y SPP.
- El zinc disminuye drásticamente, al igual que en los promedios presentados en el cuadro anterior, demostrando su tendencia a la lixiviación bajo estas nuevas condiciones fisicoquímicas.

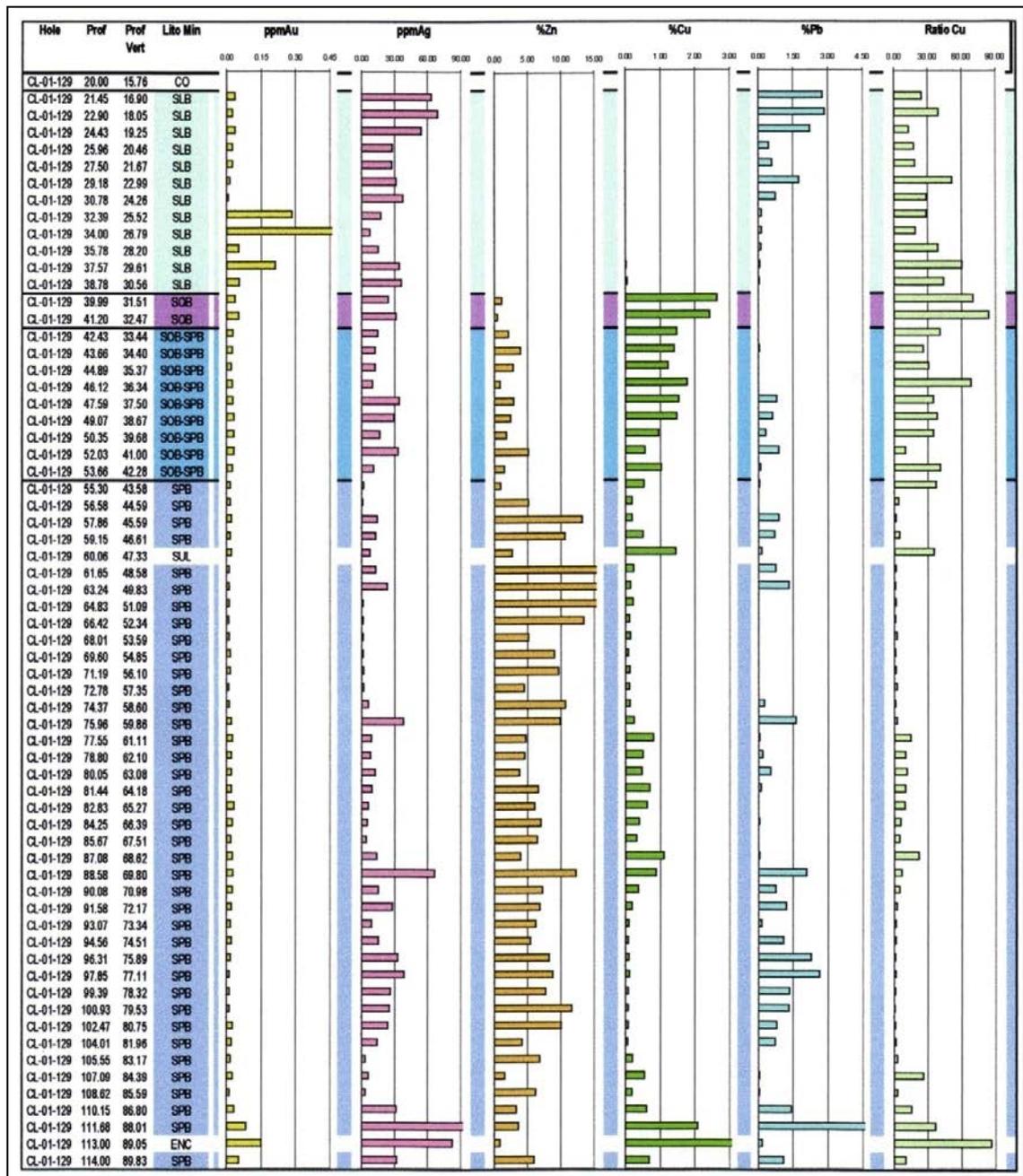


Figura 32: Zonamiento metálico por intemperismo

- El cobre se incrementa notablemente alcanzando su mayor contenido en este horizonte; en este horizonte predomina la calcosita con algo de covelita, de manera similar a lo presentado en el cuadro anterior. Este incremento es gradual, incluso llega a reconocerse un horizonte intermedio donde la calcosita acompaña a los sulfuros primarios.
- El plomo disminuye drásticamente; aunque en promedio no parece haber variación entre SOB y SPB, es posible que se deba a la escasa cantidad de muestras provenientes de SOB.
- El Ratio de Cu se incrementa al igual que el cobre.

6.8.2 Horizonte de oxidación

Los SPP compuestos principalmente por pirita, pierden consistencia al oxidarse y pueden colapsar generando brechas de colapso (BXC), caracterizadas por fragmentos angulares a redondeados de los clastos en una matriz limonitizada; estas brechas pueden confundirse con secuencias volcánicas porfidoblásticas que al oxidarse pueden dar texturas parecidas a las encontradas en las brechas de colapso.

Los SPB solo se mantiene la baritina (muy rara vez esfalerita) acompañada de arcillas sulfatos y cloruros; en el gráfico que muestra el Zonamiento determinado por la acción del intemperismo se observa que en el Horizonte de Oxidación (Figura 32):

- El contenido de oro se incrementa en este horizonte, ocupando la sección inferior de este horizonte.
- La plata se enriquece, al parecer se forma el cloruro de plata (Querargirita – AgCl) que se concentra muy cerca de la superficie.
- El zinc disminuye mucho más que en horizonte de enriquecimiento secundario, hasta casi desaparecer.
- El cobre disminuye drásticamente hasta casi desaparecer; en realidad no llega a conformar acumulaciones importantes de óxidos - sulfatos de cobre y cobre nativo.
- El plomo se incrementa paulatinamente, hasta llegar a su máximo valor cerca a la superficie. Se piensa que debe encontrarse como sulfato de plomo (anglesita).
- El Ratio Cu tiende a disminuir paulatinamente al acercarse a la superficie, obteniendo un contenido promedio de 30.

CAPITULO VII - ESTADÍSTICA

Todas las muestras recolectadas en Cerro Lindo han sido analizadas por Au, Ag, Zn, Cu y Pb. En este capítulo se determina los parámetros estadísticos de estos elementos en las diferentes litologías reconocidas, se define asociaciones de correlación entre estos elementos para cada litología y se discute sus contenidos o variaciones en las diferentes litologías.

7.1 Parámetros Estadísticos de Au, Ag, Zn, Cu y Pb

Para conocer el contenido metálico de cada unidad litológica se presenta la Tabla 4 con los parámetros estadísticos para cada tipo de litología y las Figuras 33, 34 y 35 que permiten comparar los contenidos promedio de cada litología. Se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Se ha calculado los resultados promedio para las unidades SPB y SPP.
- Los SSM se han dividido en 2 grupos, SI1 cuando los sulfuros semimasivos se encuentren en contacto con la caja piso y solamente SSM para todas las otras unidades de sulfuros semimasivos dentro de los sulfuros masivos.
- También se muestra Sulfuros Enriquecidos Baríticos (SEB), Sulfuros Lixiviados Baríticos (SLB) y Sulfuros Enriquecidos Piríticos (SEP) que vienen a ser el producto del intemperismo de las unidades SPB y SPP. No existe o es débil y no muy desarrollado el horizonte de oxidación, por lo que no se le toma en cuenta en este estudio.

Tabla 4: Estadística de los Contenidos en Diferentes Litologías

	Lito Cd														
Datos	01-SPB	02-SLB	03-SEB	04-SPP	05-SEP	06-SSM	07-V	08-ENC	09-LS1	10-VLS1	11-HW	12-FW	13-EXH	14-P	15-D
Contar de Muestra	2863.00	118.00	22.00	2780.00	16.00	864.00	892.00	119.00	302.00	100.00	340.00	363.00	24.00	30.00	549.00
Mín de ppmAu	0.00	0.01	0.01	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00
Máx de ppmAu	0.99	1.73	0.09	1.98	0.07	7.88	4.07	2.33	1.34	0.23	2.56	1.81	0.21	1.79	3.07
Promedio de ppmAu	0.05	0.10	0.04	0.07	0.04	0.10	0.11	0.18	0.07	0.05	0.07	0.06	0.08	0.26	0.09
Desvest de ppmAu	0.06	0.21	0.02	0.08	0.02	0.33	0.29	0.29	0.10	0.05	0.19	0.14	0.05	0.43	0.29
Mín de ppmAg	0.30	2.70	2.30	0.05	1.90	0.10	0.10	0.50	0.50	0.70	0.05	0.05	4.00	0.20	0.05
Máx de ppmAg2	630.90	462.00	73.30	618.30	7.00	1428.20	872.20	465.40	1202.70	78.00	510.50	270.00	84.60	496.70	1227.60
Promedio de ppmAg	30.36	57.52	24.34	18.83	3.89	25.33	28.86	53.95	17.00	10.62	19.96	9.30	25.96	51.19	25.83
Desvest de ppmAg	43.10	64.60	19.84	26.31	1.49	78.20	68.02	69.36	74.69	14.89	45.34	22.35	22.76	103.98	80.56
Mín de %Zn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Máx de %Zn	28.85	3.24	9.21	26.65	0.03	21.36	12.13	5.79	5.00	1.98	3.75	2.59	4.68	0.93	10.08
Promedio de %Zn	5.60	0.08	2.63	0.54	0.01	0.88	0.48	0.62	0.13	0.06	0.48	0.07	0.64	0.13	0.16
Desvest de %Zn	4.88	0.36	2.95	1.38	0.01	1.77	1.08	0.95	0.45	0.21	0.63	0.27	1.34	0.22	0.59
Mín de %Cu	0.00	0.00	0.01	0.00	0.03	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
Máx de %Cu	22.43	2.63	2.29	12.00	0.35	10.31	5.75	7.43	2.86	1.75	3.18	1.23	1.61	4.62	7.30
Promedio de %Cu	0.60	0.05	1.21	0.80	0.13	0.32	0.27	0.94	0.17	0.16	0.12	0.07	0.46	0.39	0.31
Desvest de %Cu	1.01	0.33	0.71	0.94	0.09	0.68	0.58	1.28	0.32	0.29	0.29	0.13	0.45	0.92	0.71
Mín de %Pb	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00
Máx de %Pb	16.19	5.02	1.95	4.09	0.03	9.06	15.68	14.37	4.24	1.10	4.60	3.07	0.82	3.31	11.98
Promedio de %Pb	0.58	0.97	0.58	0.05	0.00	0.23	0.31	0.71	0.09	0.08	0.22	0.06	0.15	0.23	0.24
Desvest de %Pb	1.06	1.27	0.68	0.22	0.01	0.71	1.01	1.97	0.34	0.16	0.47	0.20	0.24	0.61	1.03
Mín de 100Cu/(Zn+Cu)	0.18	1.02	2.87	0.13	73.61	0.19	0.46	1.24	0.94	1.01	0.58	0.66	18.80	1.85	1.02
Máx de 100Cu/(Zn+Cu)	96.84	83.79	99.84	99.54	98.86	96.26	97.09	94.95	99.18	98.73	96.14	99.46	98.16	96.23	97.80
Promedio de 100Cu/(Zn+Cu)	20.51	33.56	47.48	65.48	93.66	41.86	44.98	62.59	71.23	75.14	24.78	61.45	70.26	47.60	51.57
Desvest de 100Cu/(Zn+Cu)	26.06	17.65	28.49	25.84	7.25	30.02	30.04	25.45	26.23	21.77	26.78	28.92	29.54	35.06	25.51

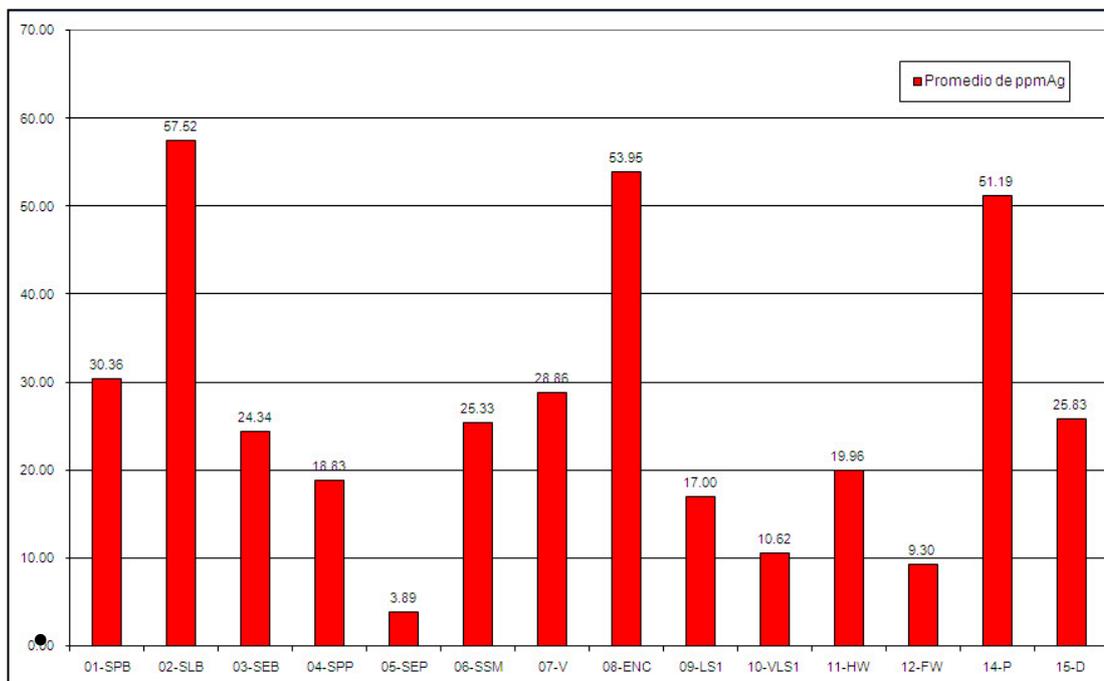
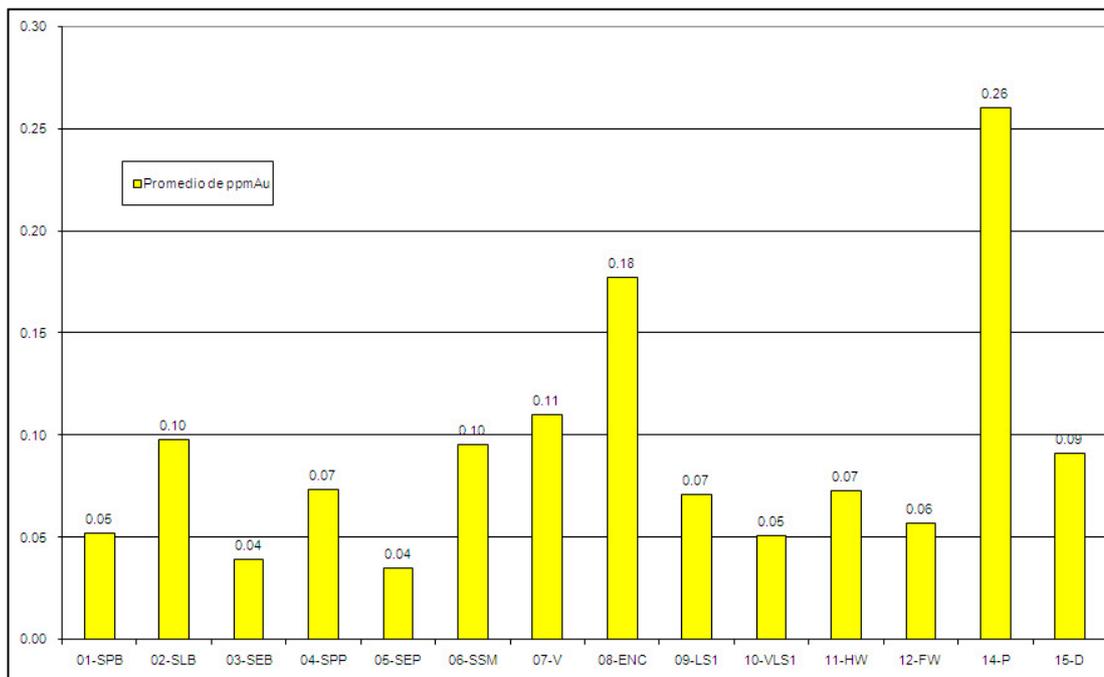


Figura 33: Promedios de Au y Ag en las diferentes litologías

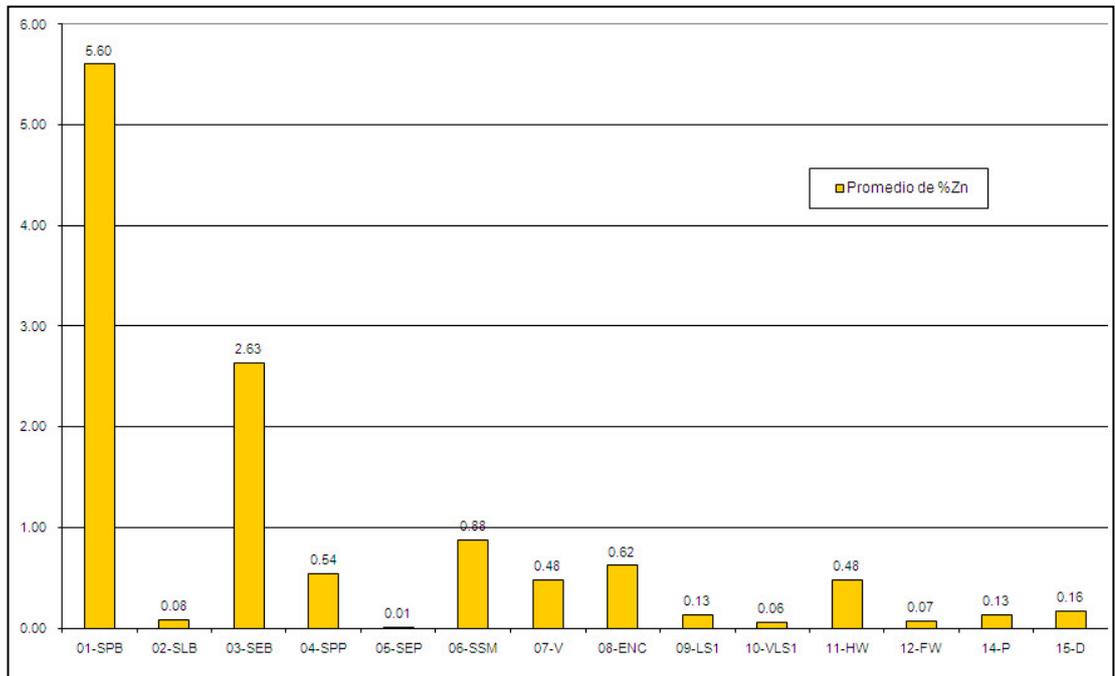
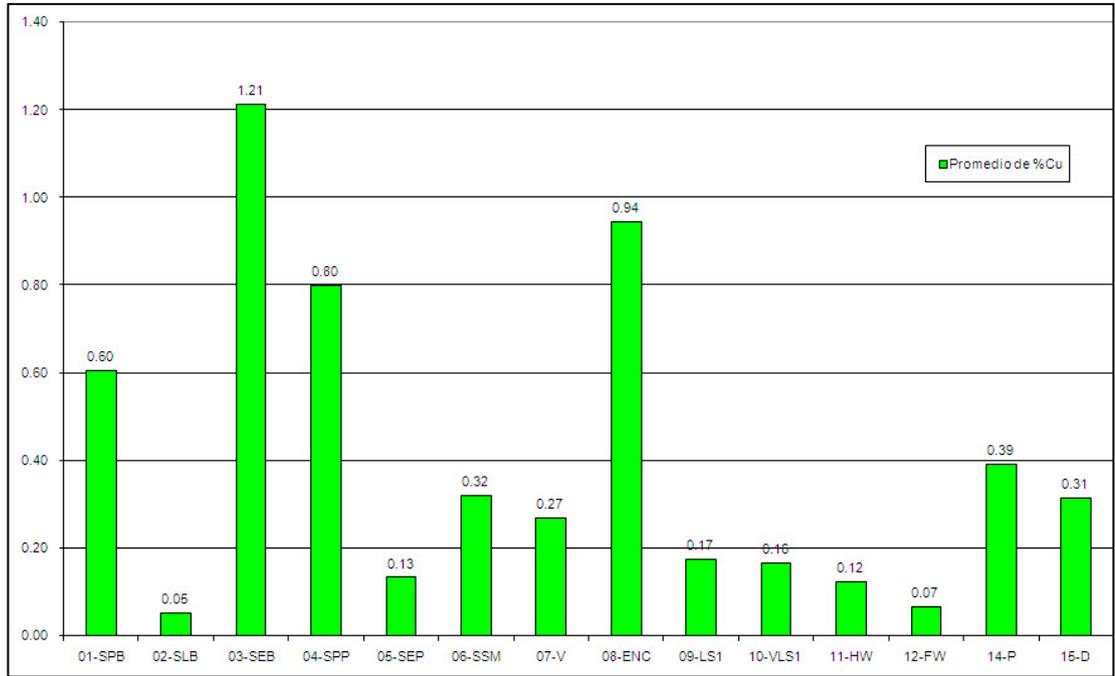


Figura 34: Promedios de Cu y Zn en las diferentes litologías

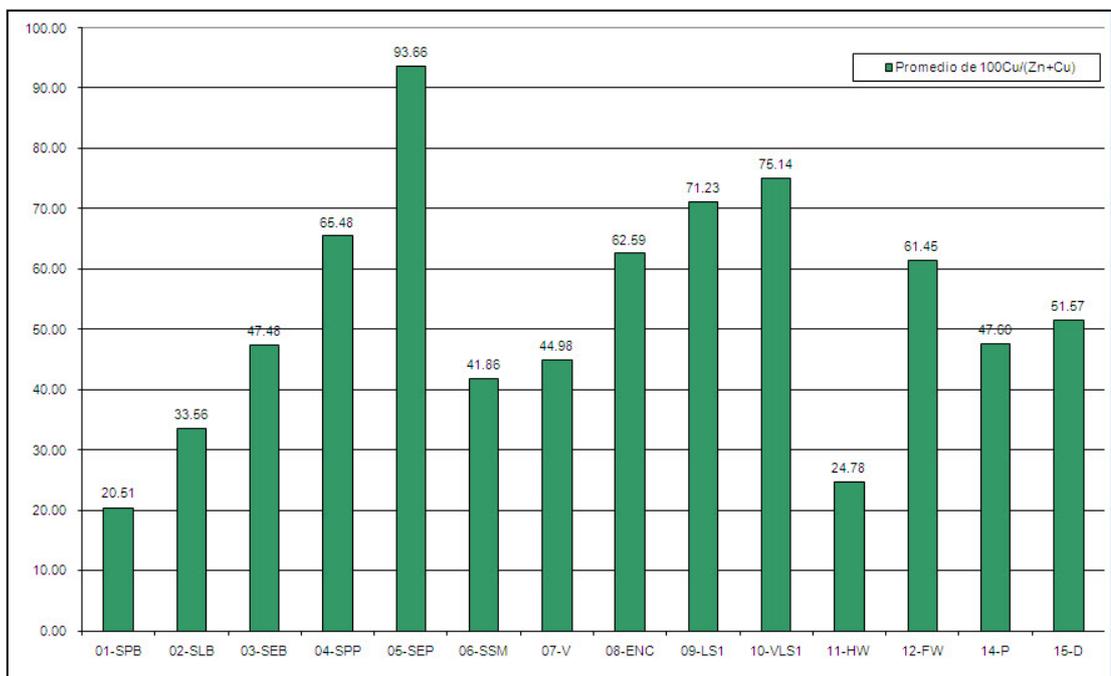
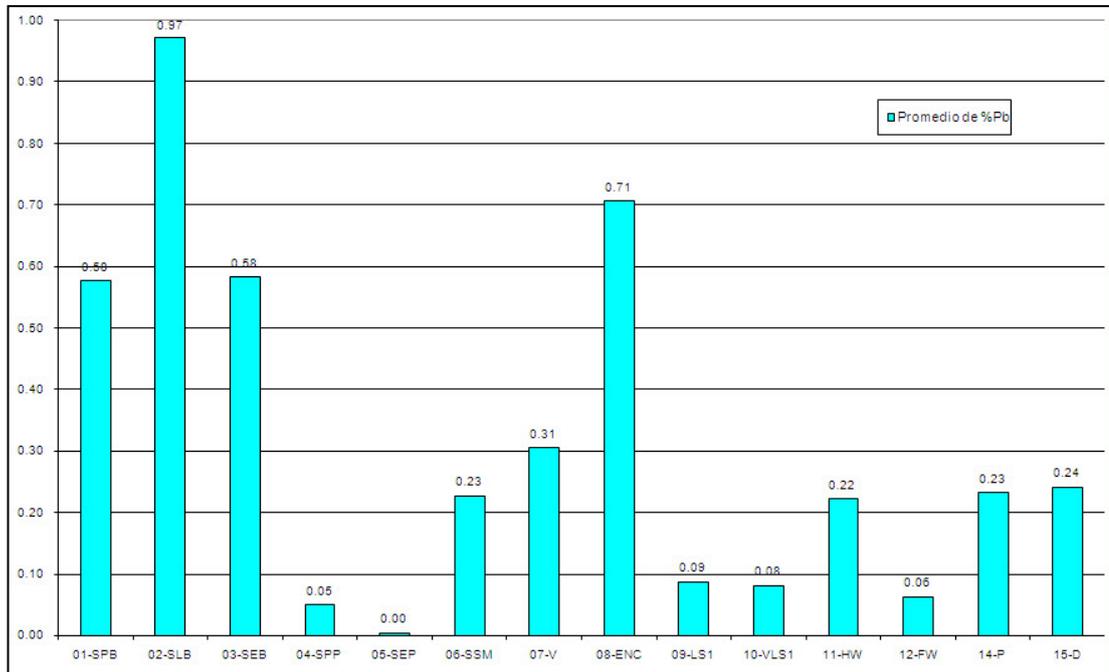


Figura 35: Promedios de Pb y Ratio Cu en las diferentes litologías

- También se muestra Sulfuros Enriquecidos Baríticos (SEB), Sulfuros Lixiviados Baríticos (SLB) y Sulfuros Enriquecidos Piríticos (SEP) que vienen a ser el producto del intemperismo de las unidades SPB y SPP. No existe o es débil y no muy desarrollado el horizonte de oxidación, por lo que no se le toma en cuenta en este estudio.
- Los datos sobre el Hanging Wall y Foot Wall se refieren a las escasas muestras que se tomaron en estas unidades.
- Exhalitas (EXH) se refiere a secuencias muy cortas de hasta 1.0 metro de longitud que presentan bandeamiento y una granulometría muy fina con alto contenido de sílica. En algunos casos se encuentra hacia el tope de la estratigrafía de sulfuros masivos, otras veces se la ha cortado en diferentes niveles dentro de los sulfuros masivos, incluso en el contacto con el Hanging Wall (donde está cortado por sulfuros masivos posteriores).
- Los Diques (D) se refieren a toda la cantidad de diques presentes en el proyecto, incluso fuera de los sulfuros masivos.
- Los Enclaves (ENC) se refieren a bloques de volcánicos de diferentes dimensiones englobados dentro de los sulfuros masivos.
- Los Volcánicos Intermedios (V), definidos como unidades volcánicas internas que no pudieron catalogarse como enclaves, aunque muchas de estas unidades deben ser en realidad enclaves por la poca continuidad que presentan.

- Las Pegmatitas o vetas de cuarzo (P), agrupadas como pegmatitas (P) porque algunas de estas venas presentan buena cristalización de cuarzo y micas.

Los resultados muestran contenidos esperados y explicados por la génesis del depósito y los diferentes procesos que al que estuvo sometido posteriormente.

- Los contenidos de Au son mayores en las pegmatitas y enclaves, demostrando un proceso de concentración posterior a la deposición de los SM. Los contenidos en SPP, SSM y V son mayores que en SPB. Se observa concentración natural en SLB y disminución en SEB.
- Los contenidos de Ag son mayores en SPB versus a SPP y SSM. Existe alto contenido en pegmatitas y enclaves que demuestran un proceso de deposición posterior (al igual que el Au). Se demuestra un alto contenidos en SLB por reconcentración y prácticamente sería el único elemento que se concentra (en vez de lixiviarse) en este horizontes. Hay un claro contenido mayor en el HW versus el FW. En general no hay mucha diferencia entre los contenidos de SPB versus SSM y V.
- Los contenidos de Cu son mayores en SEB por el proceso de enriquecimiento supergénico natural. El contenido en SPB es 75% del contenido en SPP, lo cual demuestra la movilización fuerte que ha tenido este elemento en SPB (durante la formación del depósito y

posteriormente). Los contenidos en enclaves también son importantes y se diferencian de las Pegmatitas, mostrando procesos diferentes en su precipitación. Es importante notar que el contenido promedio en HW es mayor que en FW, demostrando una penetración amplia de este elemento en todo el sistema mineralizado (podría ser el FW de otro sistema posterior (?)).

- Los contenidos de Zn son obviamente mayores en SPB versus las otras litologías. Los contenidos en enclaves y pegmatitas son tan bajas que demuestran procesos de mineralización distintos a los VMS (demostrando removilización y reconcentración). Los contenidos en SEB demuestran que persisten todavía en este horizonte. Los contenidos en SPP, SSM y V son bastante parecidos, demostrando un proceso similar paulatino de deposición. Los contenidos en LS1 y FW son similares y son notoriamente menores que el contenido en HW, demostrando el zonamiento clásico en VMS.
- El contenido de Pb en SLB es mayor que en otras unidades y se explica fácilmente por su comportamiento inicial de concentración durante la lixiviación. Los contenidos en enclaves son mayores que en pegmatitas. Los contenidos en SPB son similares a los de SEB (y contrastan extremadamente con los contenidos en SPP), no habría mucho cambio durante el proceso de enriquecimiento secundario (recién se efectuaría durante la lixiviación). Los contenidos en HW y FW son bastante discrepantes, pudiendo ser usado (al igual que el Zn, Cu y Ratio Cu) como criterio para definir la polaridad del depósito.

Los contenidos de LS1 y VLS1 son similares al HW y son casi la mitad de los contenidos en SSM y V, obviamente debido a su ubicación en el sistema.

- Los valores del Ratio Cu, demuestran su utilidad para definir la polaridad de los depósitos VMS, notándose contrastes fuertes entre SPP versus SPB y HW versus FW.

7.2 Correlación de Au, Ag, Cu, Pb y Zn en las diferentes litologías.

Se presenta las Figuras 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42 y 43 que muestran la correlación entre Au – Ag – Zn – Cu – Pb con sus respectivos índices de correlación para las diferentes litologías del yacimiento, y la Figura 44 que muestra el grado de afinidad geoquímica para cada litología.

Clasificación de la correlación geoquímica

- | | |
|-------------------------------|------------------------|
| • Correlación Directa Buena | Índice entre 1.0 y 0.5 |
| • Correlación Directa Regular | Índice entre 0.5 y 0.1 |
| • Correlación Directa Mala | Índice entre 0.1 y 0.0 |
| • Correlación Inversa | Índice negativo |

La correlación nos permite determinar asociaciones entre elementos que ayudan a determinar los minerales que precipitaron conjuntamente. Considerando esencialmente índices de correlación mayores a 0.5 se ha definido asociaciones de correlación para cada litología, las cuales se presentan en la Figura 44.

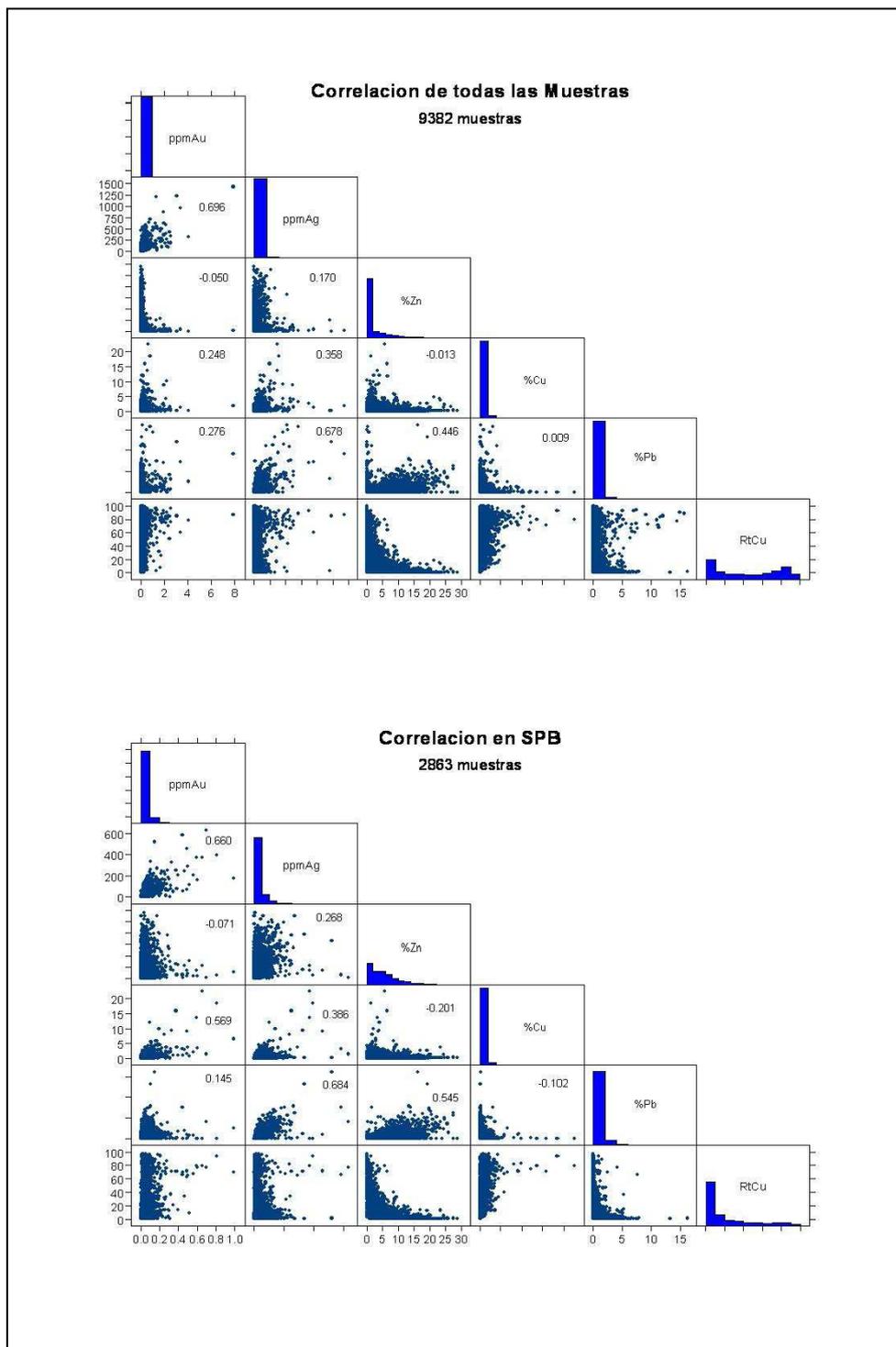


Figura 36: Correlación de todas las muestras y en SPB

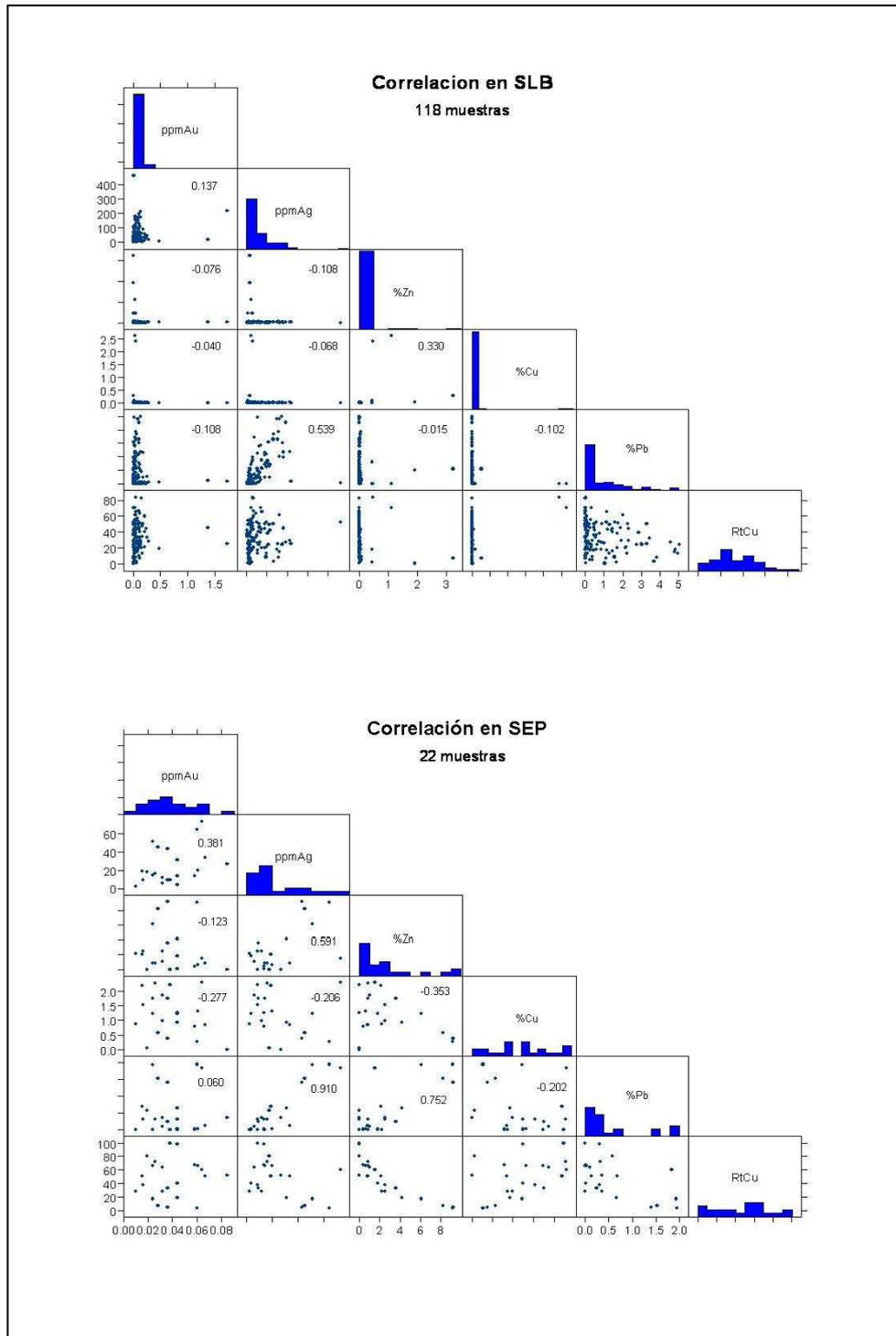


Figura 37: Correlación en SLB y en SEP

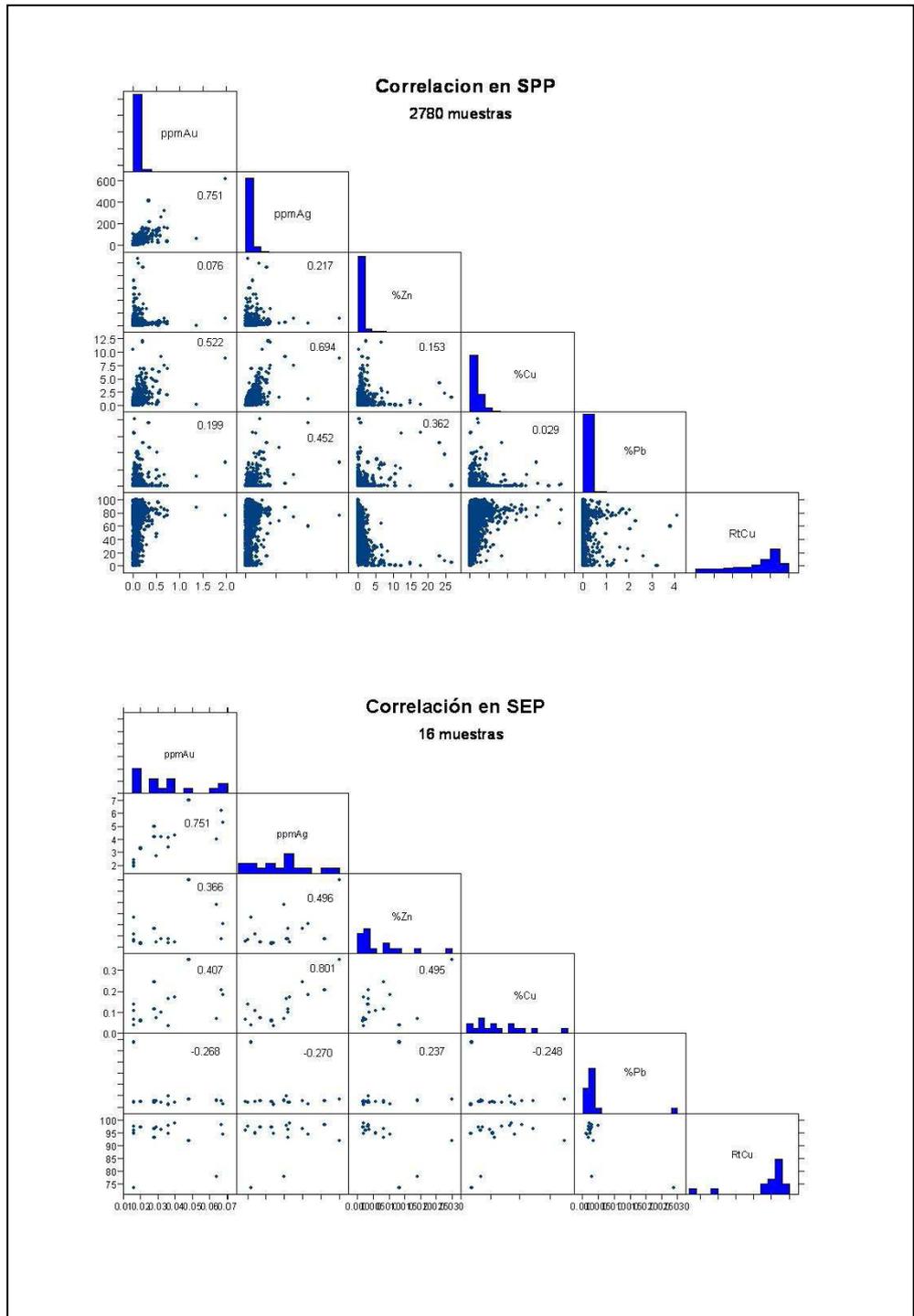


Figura 38: Correlación en SPP y en SEP

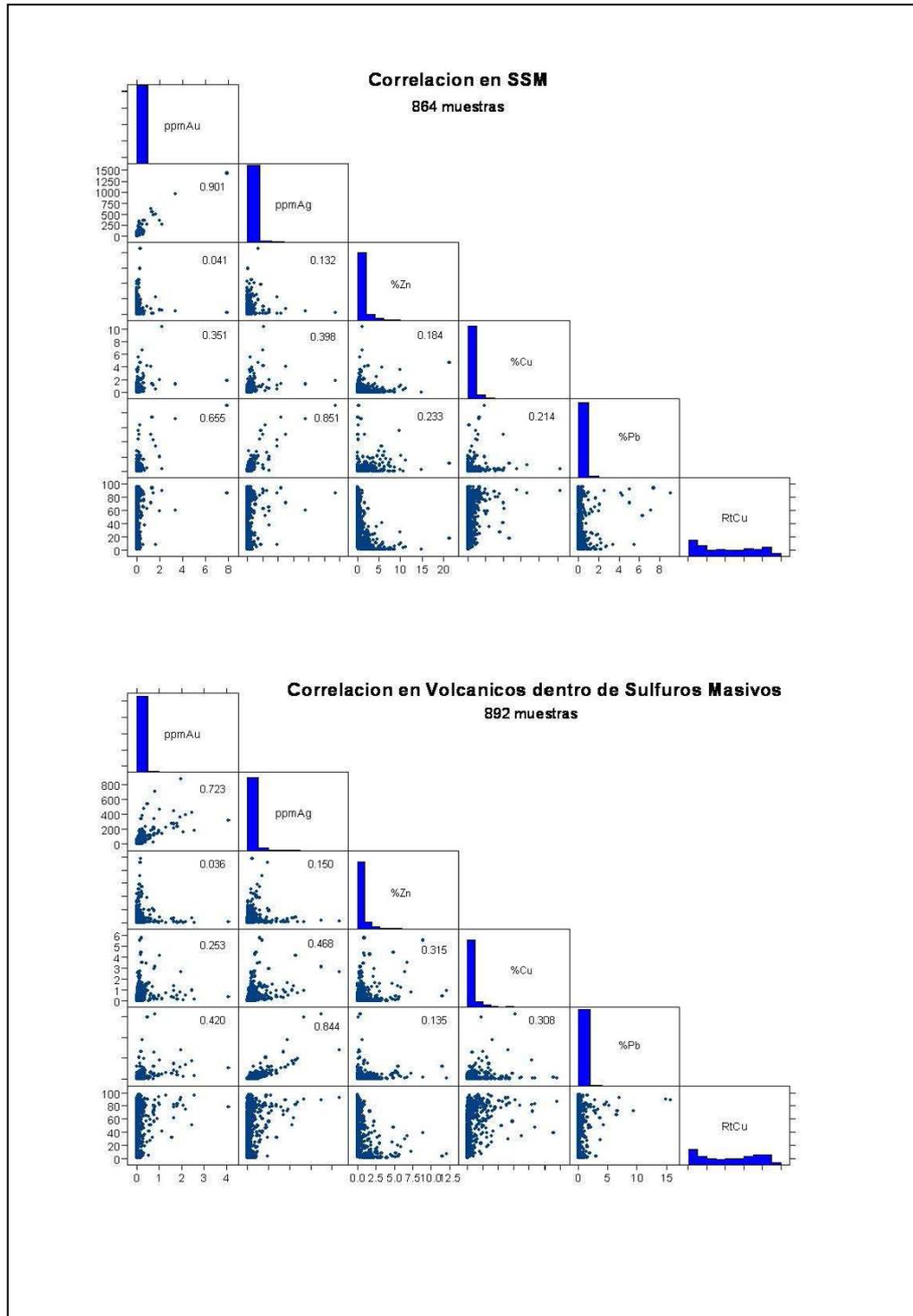


Figura 39: Correlación en SSM y en Volcánicos dentro de Sulfuros Masivos

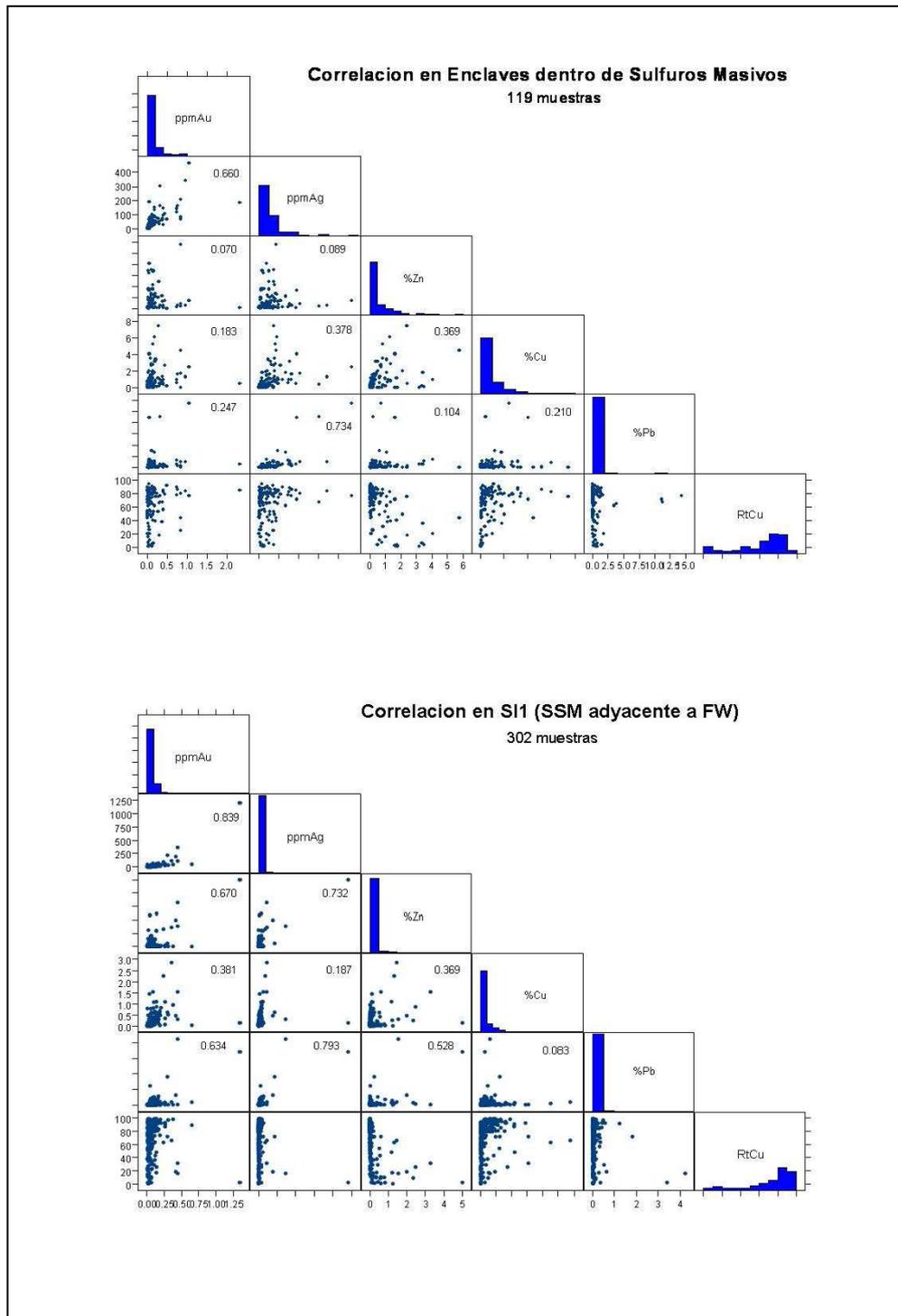


Figura 40: Correlación en Enclaves en sulfuros y en SI1

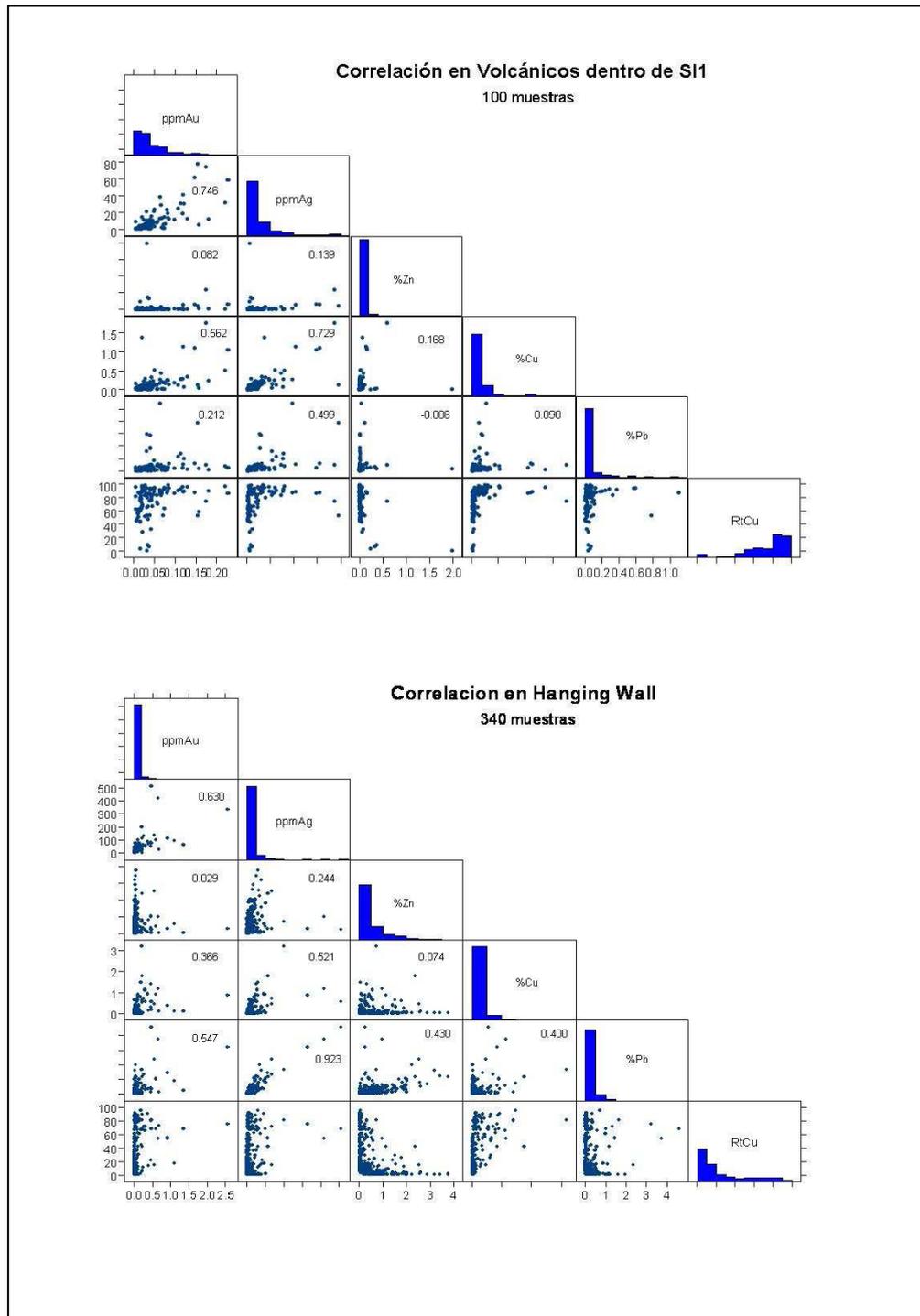


Figura 41: Correlación en Volcánicos dentro de SI1 y en Hanging Wall

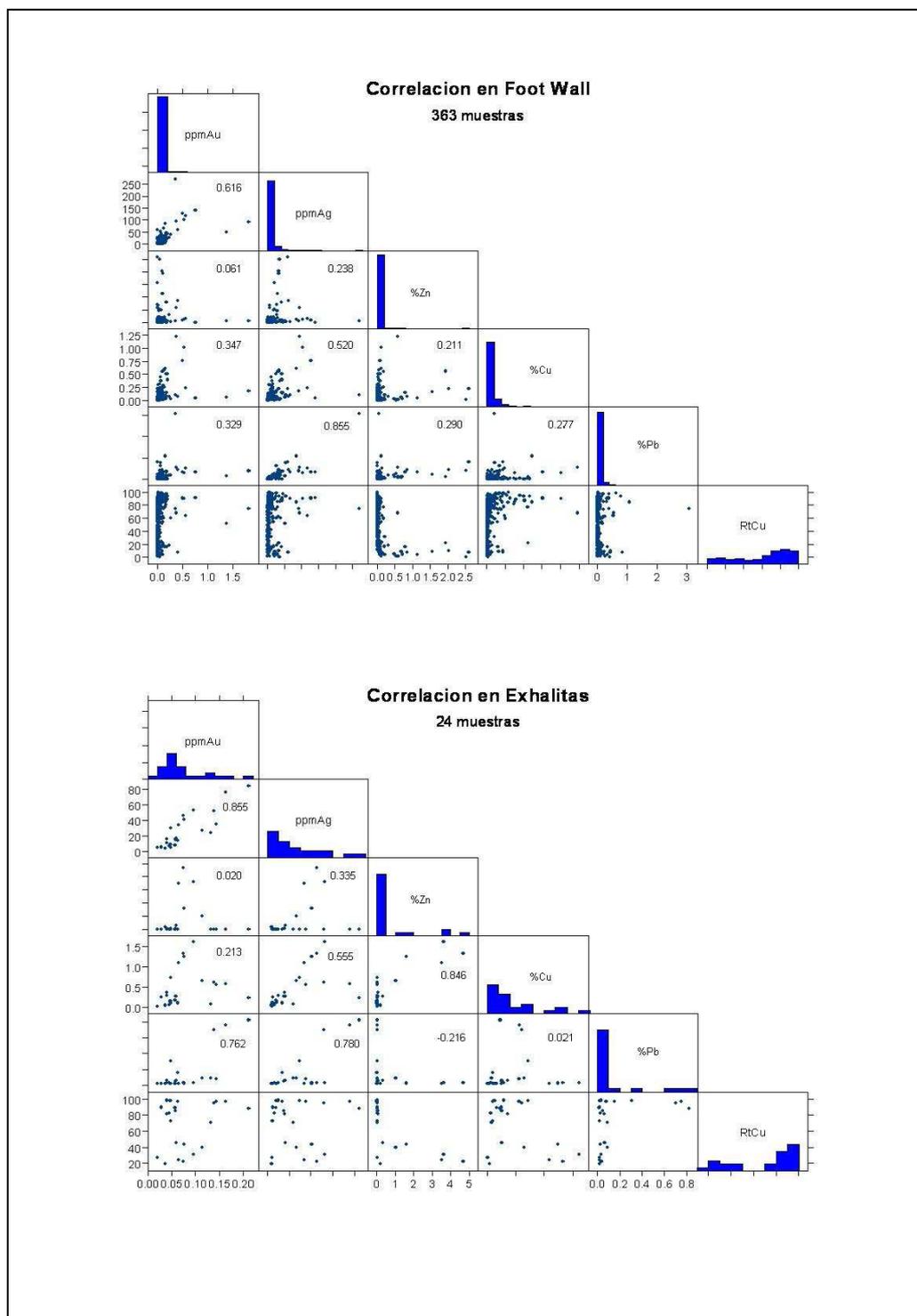


Figura 42: Correlación en Foot Wall y en Exhalitas

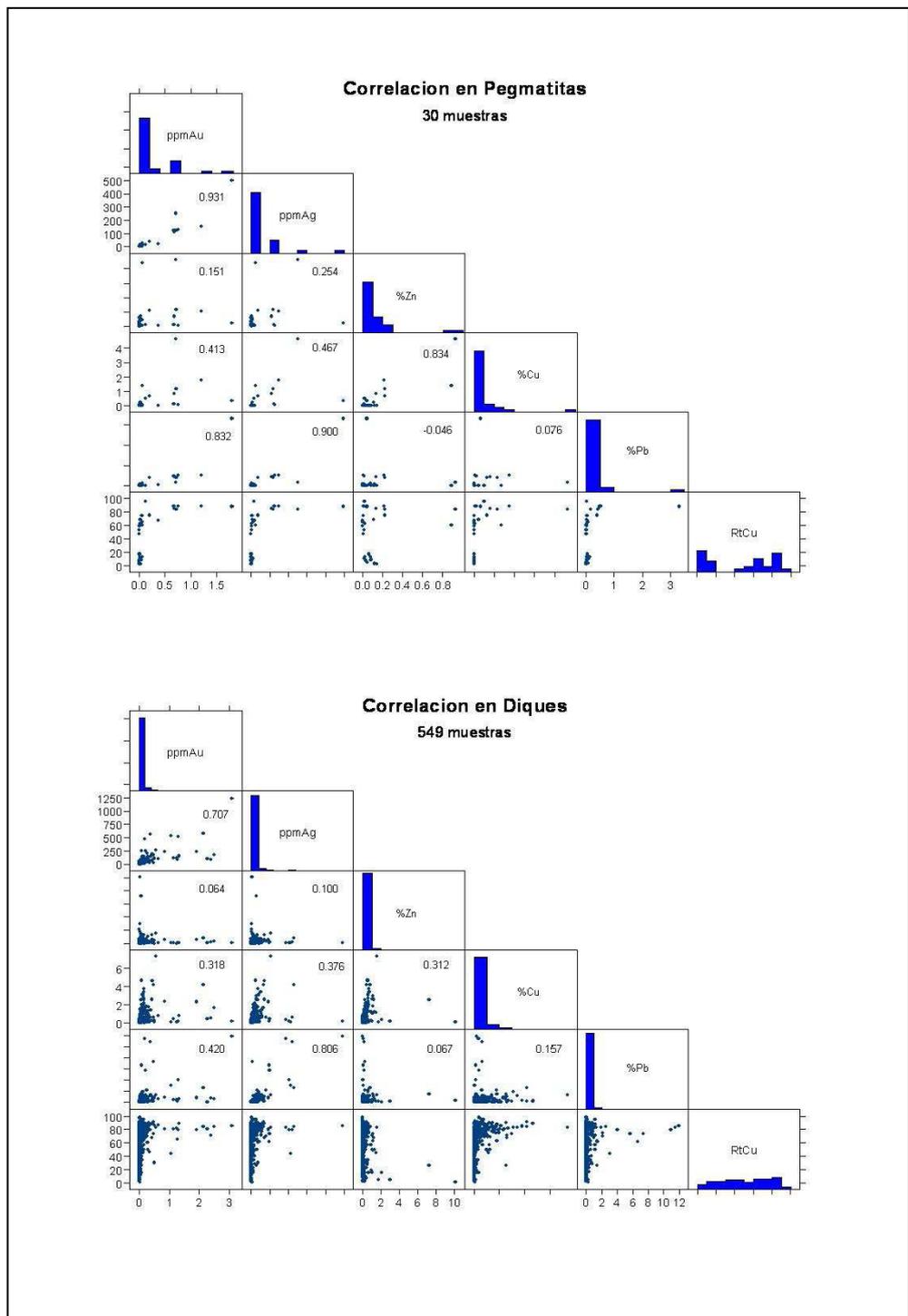


Figura 43: Correlación en pegmatitas y en diques

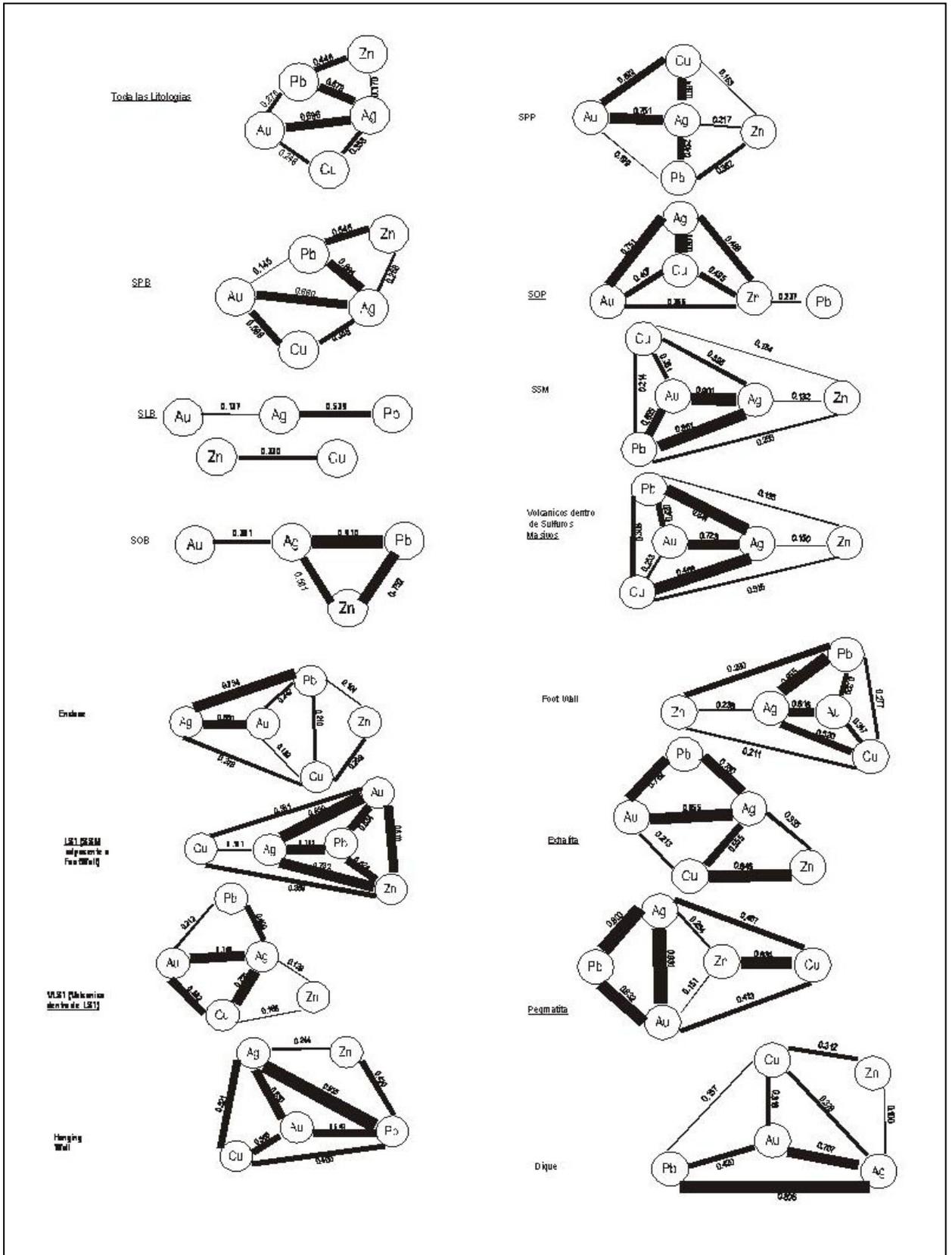


Figura 44: Resumen de correlación geoquímica

De los resultados obtenidos, se puede concluir:

- En SPB se tiene las asociaciones Au-Ag-Cu y Pb-Ag-Zn, que indicarían la superposición de eventos; el primero Ag-Pb-Zn a baja temperatura y el segundo de Ag-Au-Cu que reemplaza parcialmente a la primera a alta temperatura.
- En SLB se tiene la asociación Ag-Pb que viene a ser la manifestación de la concentración de estos elementos en horizontes lixiviados con presencia de baritina pulverulenta. En SEB se tiene la asociación Ag-Pb-Zn; esta asociación se mantendría todavía en este horizonte originado por el intemperismo, destruyéndose la asociación Au-Ag-Cu al aumentar drásticamente el contenido de Cu y la disminución en el contenido de Au y Ag en este horizonte. Estos resultados pueden no ser representativos ya que solo se cuenta con resultados de 22 muestras, insuficientes para una generalización.
- En SPP se tiene la asociación Au-Ag-Cu que representa una asociación de alta temperatura. En SEP se tiene la asociación Au-Ag-Cu, manteniendo su asociación original. Este resultado puede ser no representativo porque solo se tomo en cuenta 16 muestras.

- En SSM (emplazados en niveles superiores que SI1) se tiene la asociación Au-Ag-Pb. En los Volcánicos intercalados en los sulfuros masivos se tiene la asociación Au-Ag-Pb. En los Enclaves se tiene la asociación Au-Ag-Pb.
- En SI1 (SSM en contacto con el FW) se tiene la asociación Au-Ag-Pb-Zn. En VSI1 (volcánicos en SI1) se tiene la asociación Au-Ag-Cu.
- En el HW se tiene la asociación Au-Ag-Pb y Ag-Cu. En el FW se tiene las asociaciones Au-Ag-Pb y Au-Ag-Cu. En las Exhalitas se tiene las asociaciones Au-Ag-Pb y Ag-Cu-Zn.
- En las Pegmatitas se tiene las asociaciones Au-Ag-Pb y Zn-Cu.
- En los Diques se tiene las asociaciones Au-Ag-Pb.

CAPITULO VIII - ZONAMIENTO

En Cerro Lindo se ha definido 3 tipos de zonamiento:

- Zonamiento Litológico
- Zonamiento Cu-Zn
- Zonamiento del Ratio Cu

En realidad existe una relación muy íntima entre estos zonamientos y dependen básicamente de los procesos geológicos y fisicoquímicos que determinaron su deposición o emplazamiento del depósito.

Por otro lado existe el zonamiento vertical referido a los cambios reconocidos en sentido perpendicular a los cuerpos y el zonamiento lateral referido a los cambios que se pueden presentar en las diferentes unidades estratigráficas dentro de sulfuros masivos.

8.1. Zonamiento Litológico

Para visualizar el Zonamiento Litológico se presentan los siguientes planos:

- Secciones Geológicas Transversales 10650N y 11000 (Figuras 45, 46, 47 y 48).
- Secciones Longitudinales Litológicas y de Potencia de las unidades litológicas BS2, PS2, BS1, PS1, BI2, PI2, BI1, PI1 y SI1 (Figuras 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, y 31).

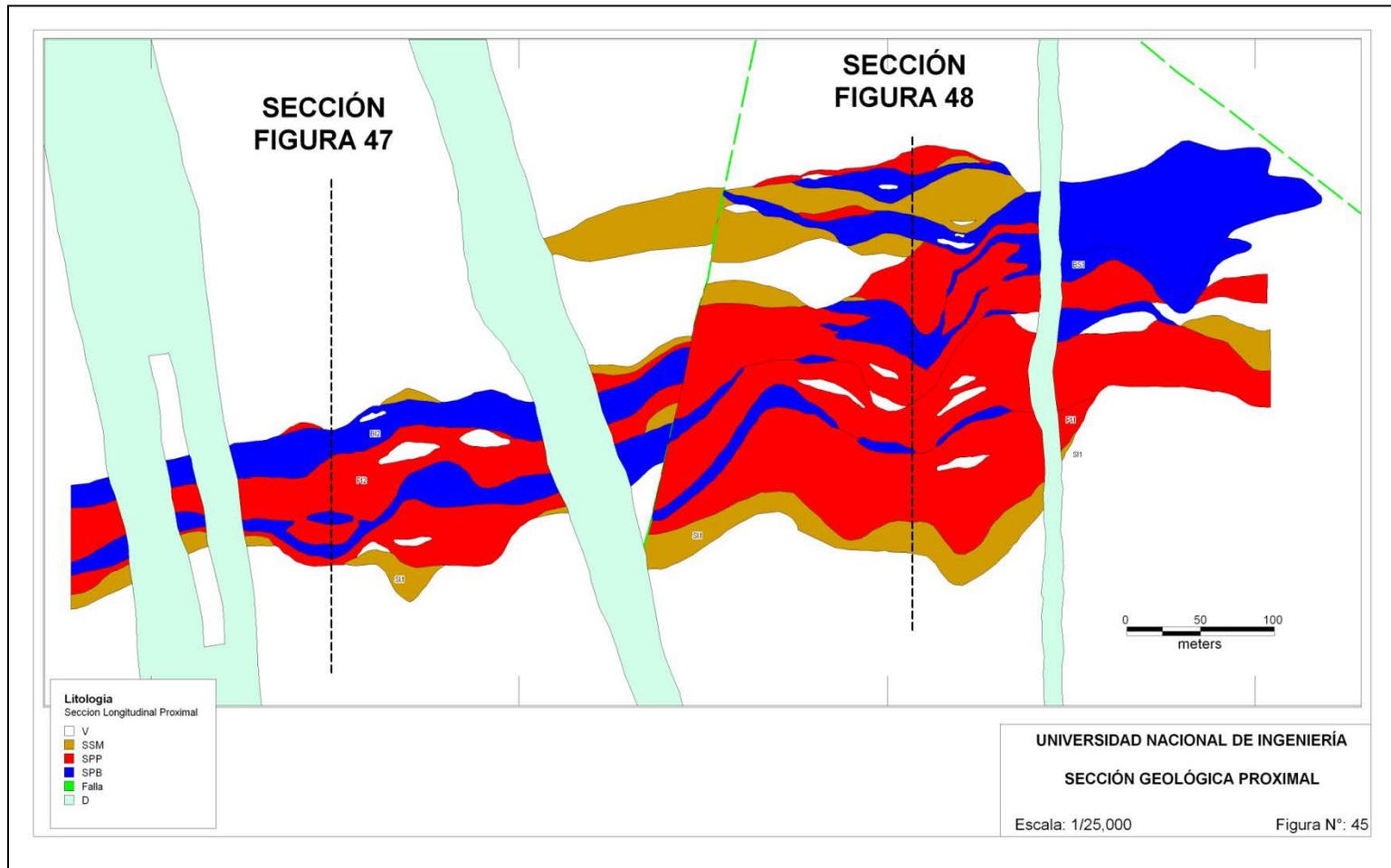


Figura 45: Sección geológica proximal

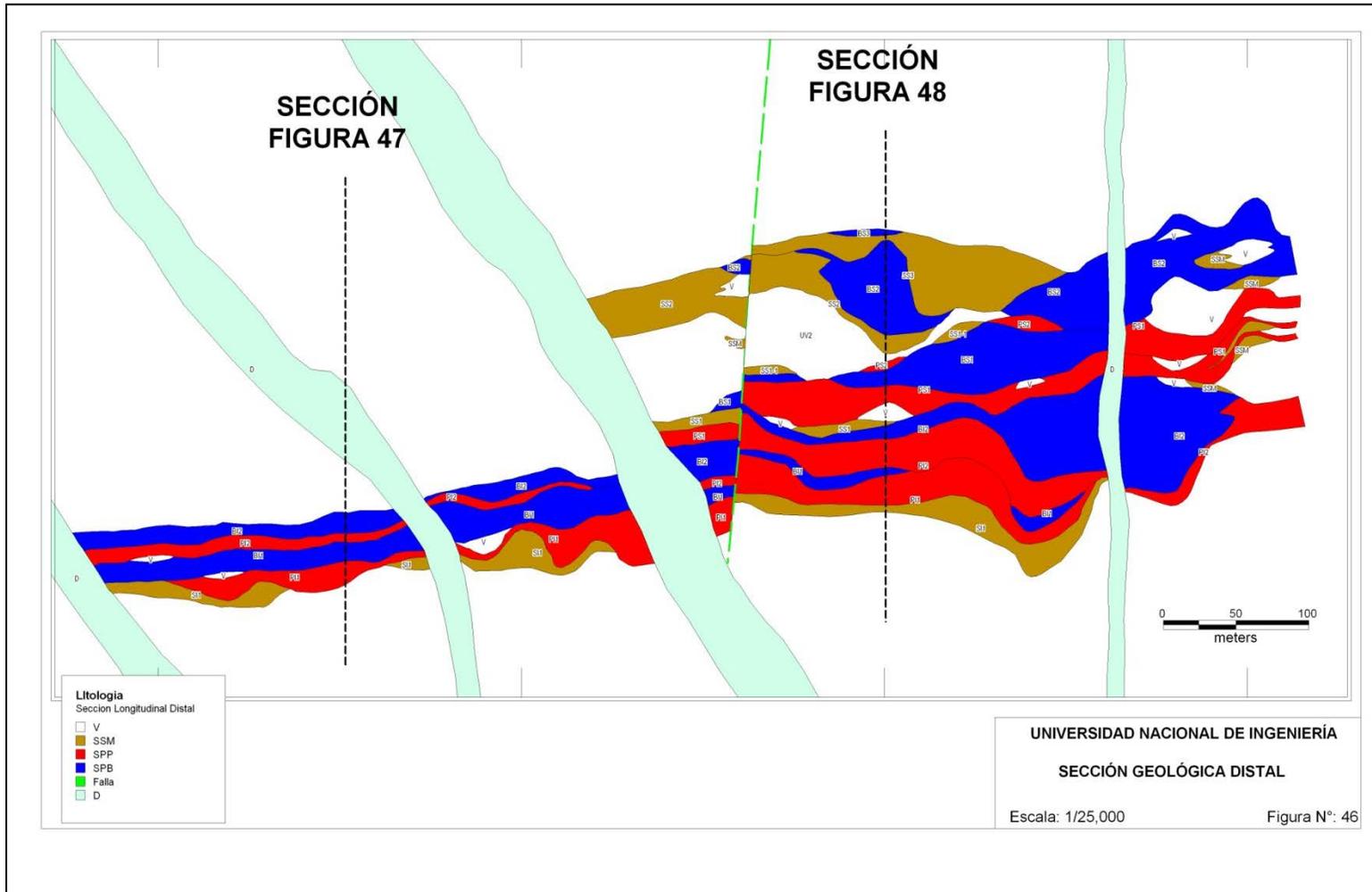


Figura 46: Sección geológica distal

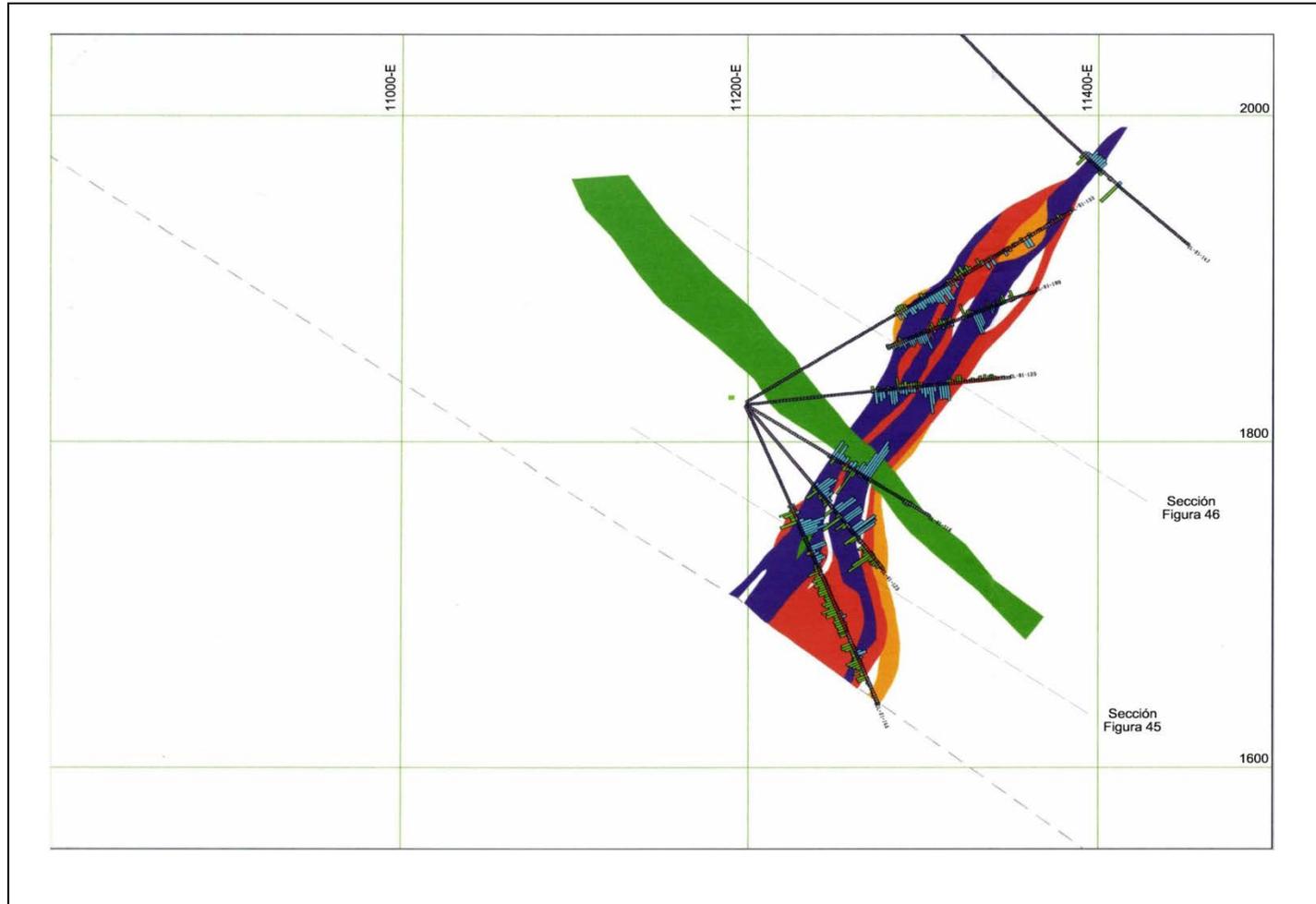


Figura 47: Sección 10650 – Cuerpo 5 - Contenidos Zn-Cu

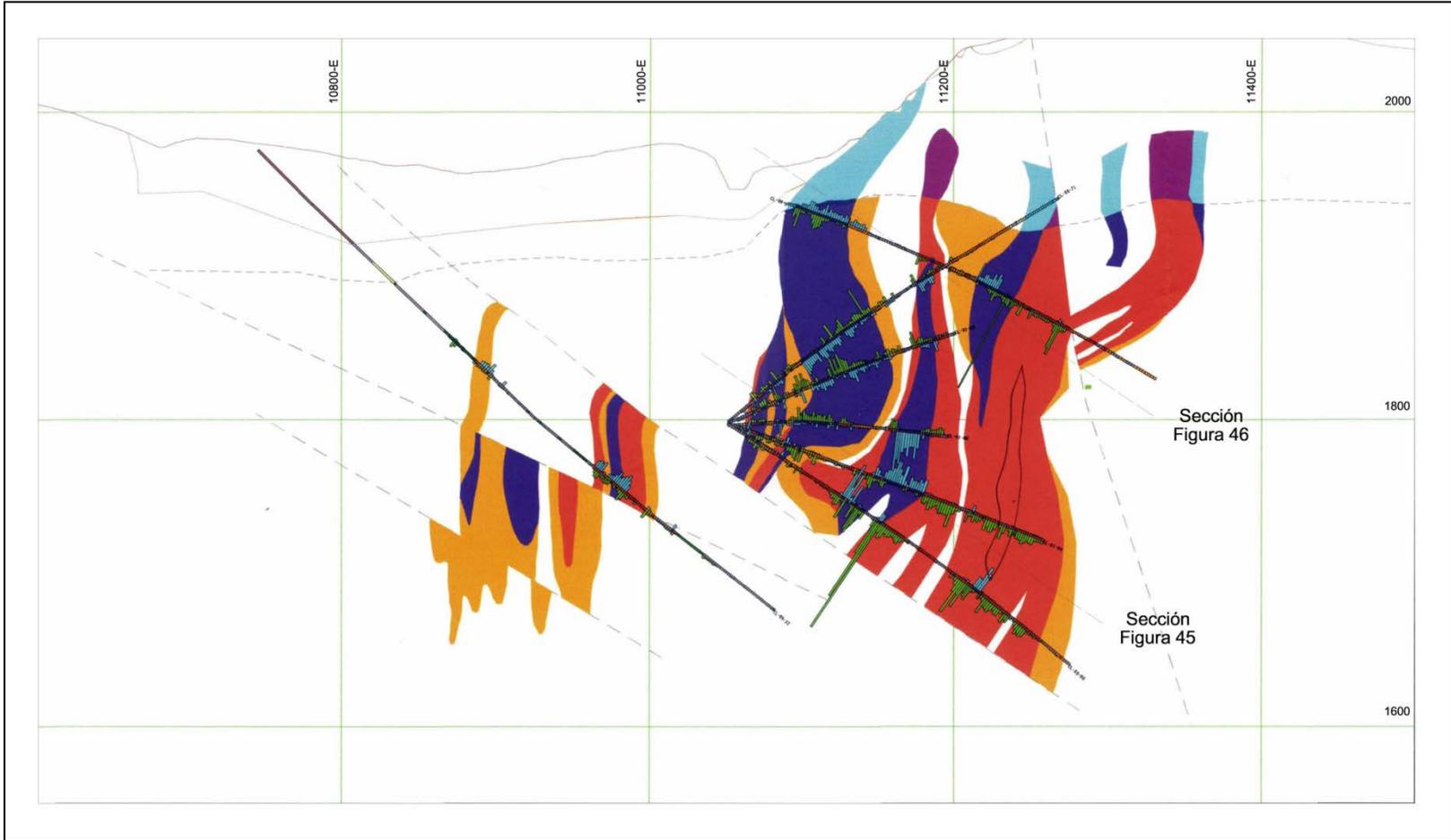


Figura 48: Sección 10000 – Cuerpo 2 - Contenidos Zn-Cu

A continuación se presenta las características físicas (dimensiones, contenido mineralógico, cambios o variaciones laterales y verticales, etc.) de las litologías y unidades estratigráficas dentro de los sulfuros masivos; mencionando las causas (o probables causas) que determinaron estas características:

- Verticalmente, existe una alternancia de unidades SPB y SPP con algunas intercalaciones de SSM y volcánicos en niveles superiores. La unidad fundamental básica está conformada desde el techo al piso por SPB, SPP y SSM (en realidad SI1); la alternancia de horizontes SPB y SPP indicaría que ha existido hasta 2 eventos de acumulación de sulfuros en el Cuerpo 5 y 6 eventos en el Cuerpo 2 (nosotros solo estudiamos los primeros 4 eventos por sus dimensiones y contenidos metálicos).
- Las unidades SPB, SPP y SSM, en general, son más potentes al acercarse a la Falla 35. Esto indica que la Falla 35 ha servido como paso a las soluciones mineralizantes, definiendo la mayor potencia de depositación que disminuye al alejarse de la falla.
- Un caso especial es el horizonte SPB que presenta acumulaciones de mayor potencia al alejarse de la Falla 35. esto se debe a que las unidades SPB son la parte sedimentaria de estos depósitos, entonces su potencia final estará muy influenciada por el paleorelieve. Otra causa para la disminución de SPB al acercarse a la Falla 35 es el

reemplazamiento de esta unidad por SPP como parte del desarrollo o crecimiento de los sulfuros masivos.

- Las unidades baríticas superiores están mejor preservadas por las unidades baríticas inferiores. Esto se debe al mayor reemplazamiento por sulfuros piritosos de los niveles baríticos inferiores mencionados en el ítem anterior.
- En general las unidades que alcanzan mayor extensión lateral son los sulfuros baríticos, pero como se ve en las secciones los sulfuros piritosos tienen gran extensión, incluso superan a algunas unidades baríticas.

Este hecho es la clara representación de que los sulfuros piritosos avanzan lateralmente paralelas a las unidades estratiformes baríticas por debajo del suelo marino y de la unidad barítica, convirtiendo las unidades volcánicas primero en SSM y después en SPP; para que esto sea posible es importante la calidad de la roca circundante.

- En algunas unidades SSM (principalmente las superiores o las que se encuentran por encima del último nivel SPB) es notoria la presencia de baritina, sílica y esfalerita rubia, cuando es natural que presenten predominancia de calcopirita como SI1. Esto se debe al ambiente de deposición, los SSM que presentan sílica, esfalerita y baritina se habrían depositado por sedimentación; por el contrario el SI1 y la mayoría de unidades SSM se ha depositado básicamente como frentes de avance lateral del proceso de piritización continua mencionada antes. Incluso es posible ver los blastos (concentración

de minerales por metamorfismo) de la roca original con presencia de venillas y diseminación de pirita en tal cantidad que llegan a constituir unidades SSM.

En estas secciones longitudinales también es posible verificar que las diferentes litologías disminuyen de potencia según se alejan de la Falla 35. Tal como en las secciones verticales se observa la existencia de unidades baríticas cuya mayor potencia está ubicada lejos de la Falla 35.

- Las unidades SPB tienden a ser remplazadas por unidades SPP con mayor predominancia cerca de la Falla 35; indicando la relación de esta falla con la mineralización y originando la presencia de bloques de diferentes dimensiones embebidos por los SPP.
- Las unidades estratigráficas SPP y SPB, gradan a semimasivos y/o volcánicos lateralmente. Existe una continuidad de 200 a 300 metros de las unidades al alejarse perpendicularmente de la Falla 35.

La continuidad de los sulfuros masivos a lo largo de la Falla 35 es muy buena, llegando a tener más de 800 metros de continuidad y con buenas posibilidades de continuidad hacia el sur (hacia el norte se tiene interdigitación con volcánicos y SSM que parecen indicar que estaría llegando a su fin en la quebrada Topara).

- Es común encontrar diseminación de esfalerita rubia en el HW. Esto puede ser parte de un proceso deposicional concordante con la deposición de los tufos ceniza que no llegaron a concentrarse para representar objetivos económicos.

8.2. Zonamiento Cu-Zn

Para estudiar el Zonamiento Cu-Zn se presenta los siguientes planos:

- Secciones Transversales 10650N y 11000N (Figuras 47 y 48).
- Secciones Longitudinales con resultados promedio de Cu y Zn de las unidades estratigráficas BS2, PS2, BS1, PS1, BI2, PI2, BI1, PI1 y SI1 (Figuras 49 al 66).

Se mencionan las variaciones verticales y laterales de las diferentes litologías y unidades estratigráficas:

- El Zn y Pb predominan en SPB
- El Cu predomina en SPP y SI1 (Sulfuro Semimasivo en contacto con HW)
- El Cu predomina cerca al contacto de SPP y SPB.
- Tal como se mencionó al inicio de este capítulo, los valores de zinc están relacionados a los horizontes baríticos.
- Los contenidos de cobre se relacionan principalmente a los niveles piríticos, aunque si comparamos los promedios para cada litología la diferencia no es tan grande como se pueda imaginar (contenido promedio 0.60% y 0.80% para las unidades baríticas y piríticas, respectivamente). Esto solo puede explicarse por el reemplazamiento por calcopirita de la pirita de las unidades baríticas originales; la calcopirita es transportada por los fluidos que generan las unidades SPP y SSM.

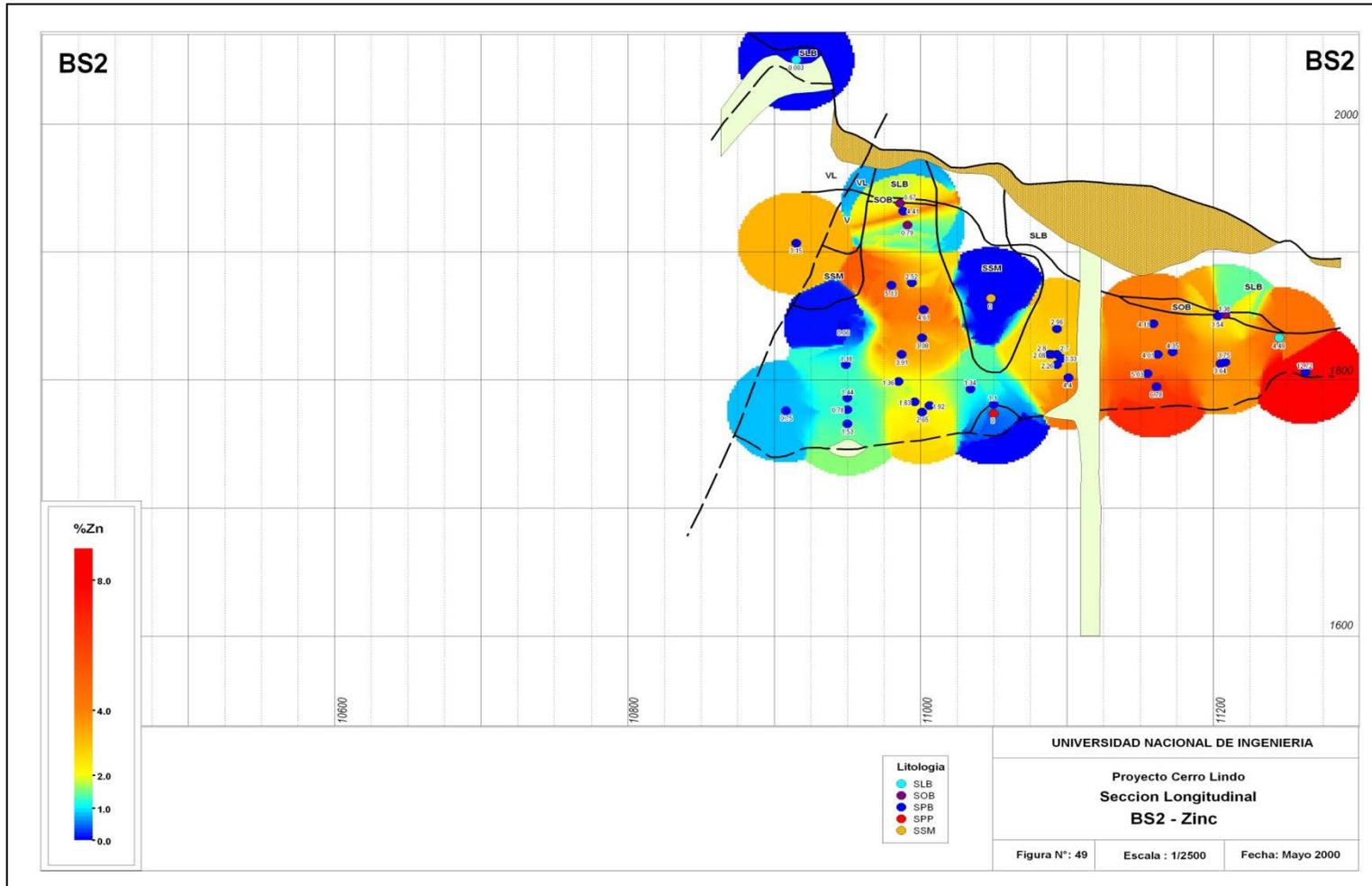


Figura 49: Sección longitudinal BS2 - Zn

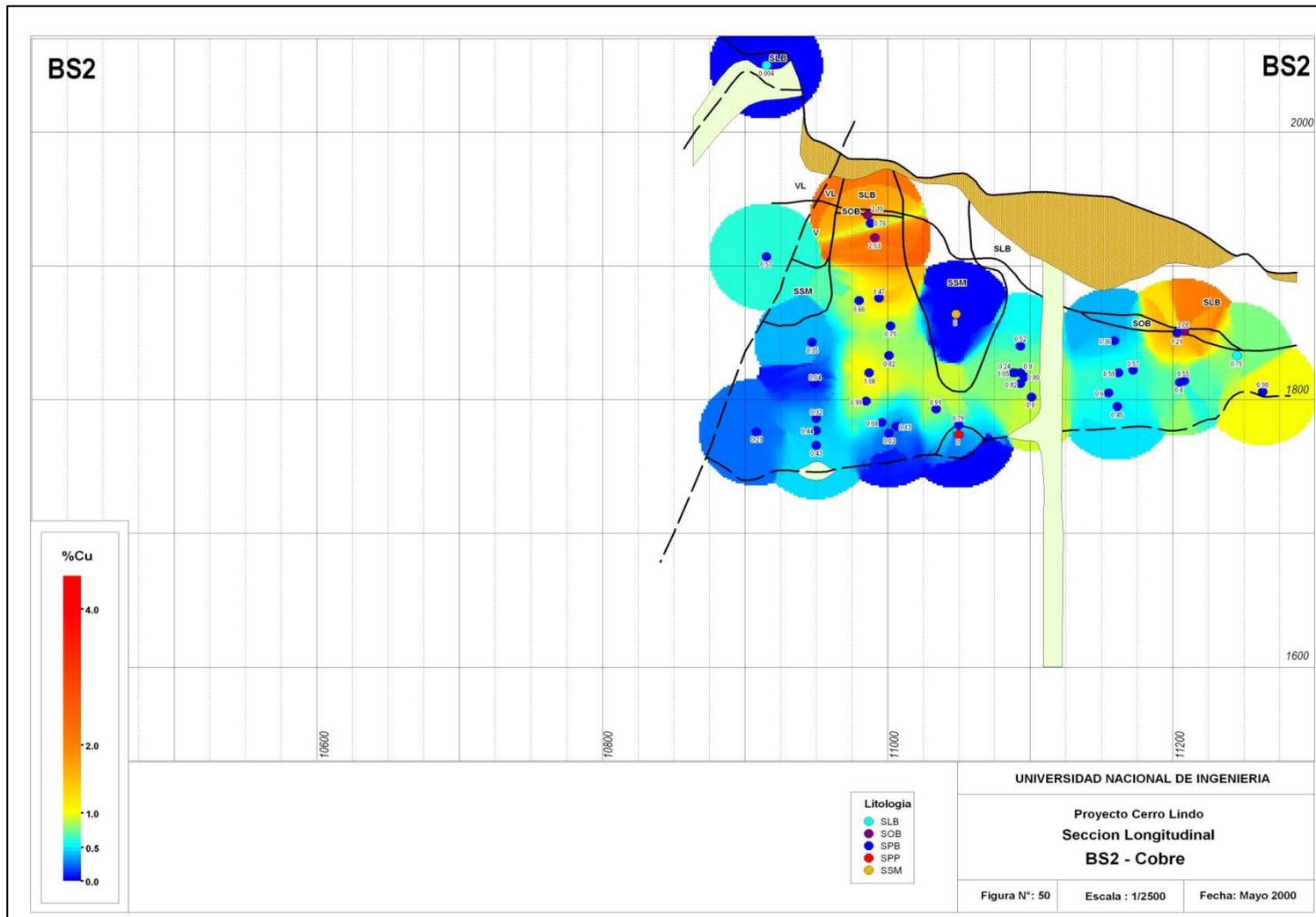


Figura 50: Sección longitudinal BS2 - Cu

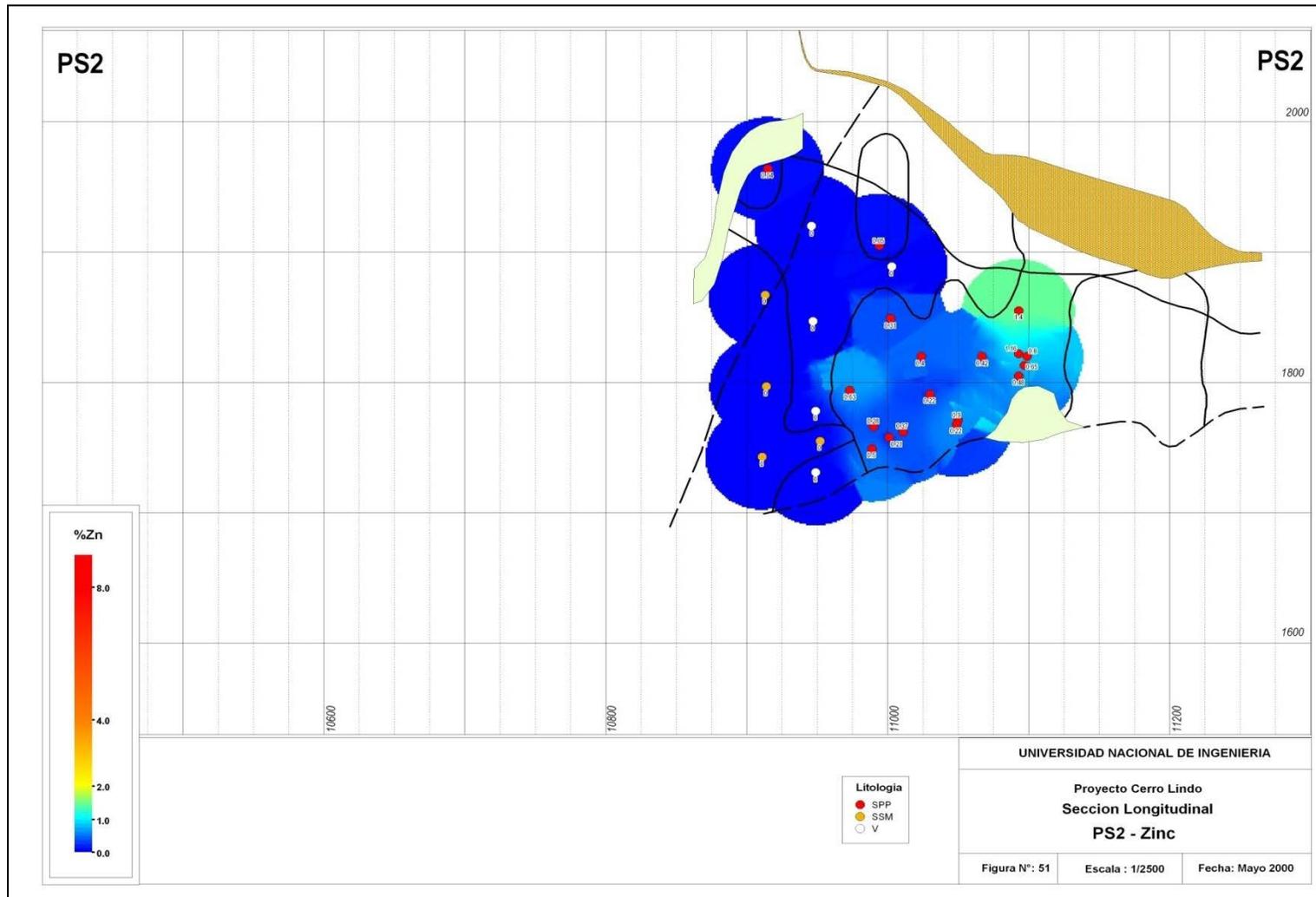


Figura 51: Sección longitudinal PS2 - Zn

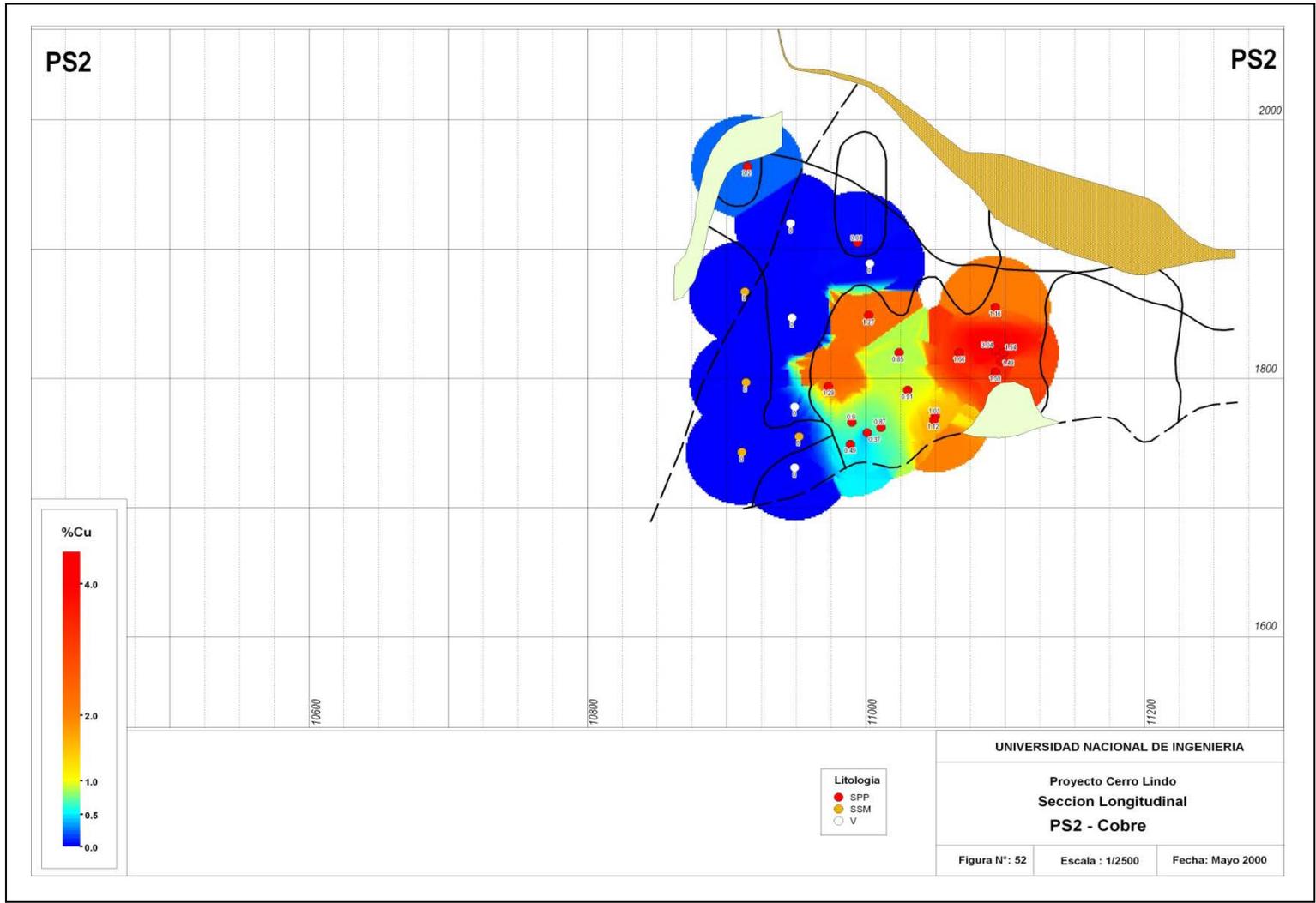


Figura 52: Sección longitudinal PS2 - Cu

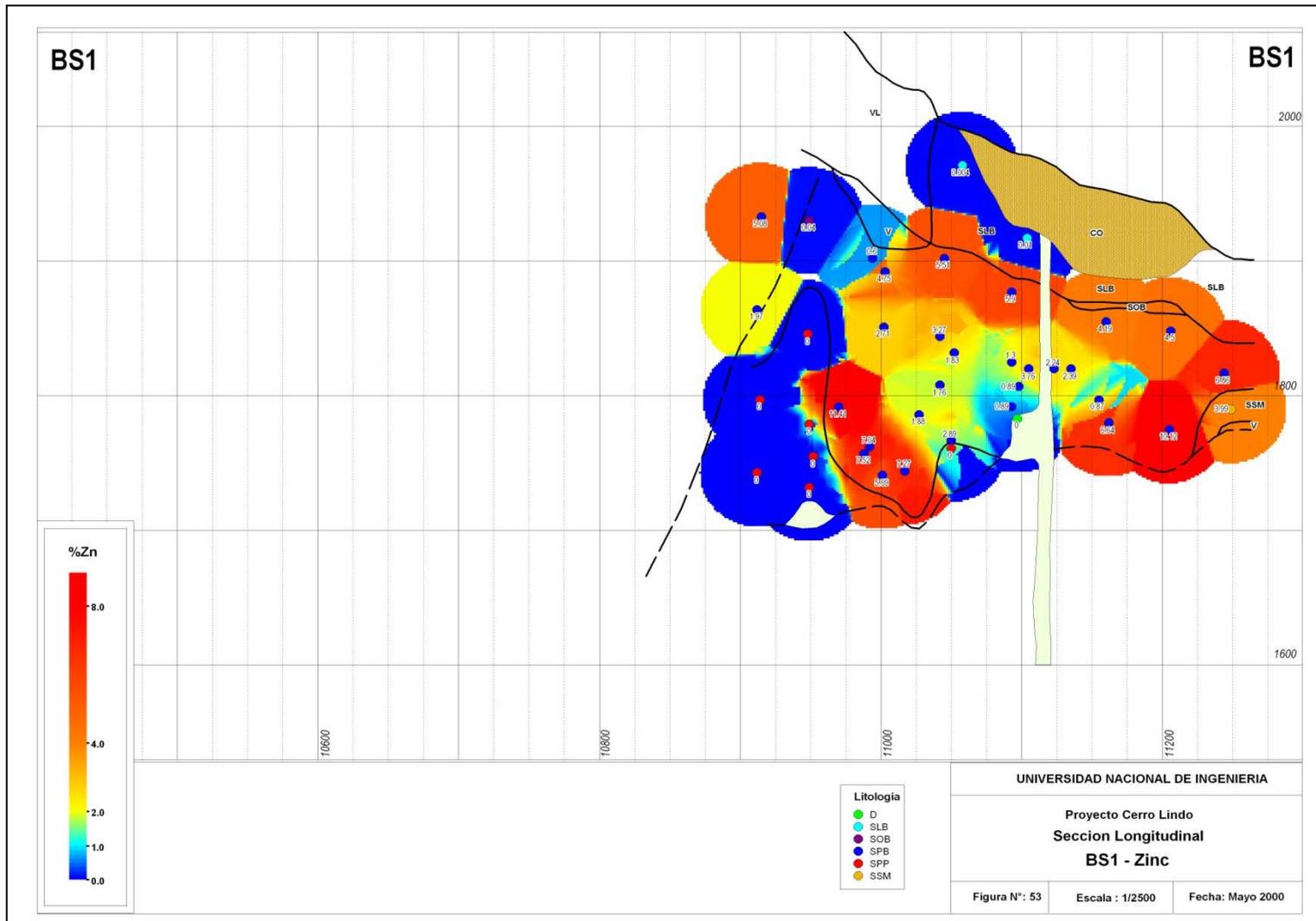


Figura 53: Sección longitudinal BS1 - Zn

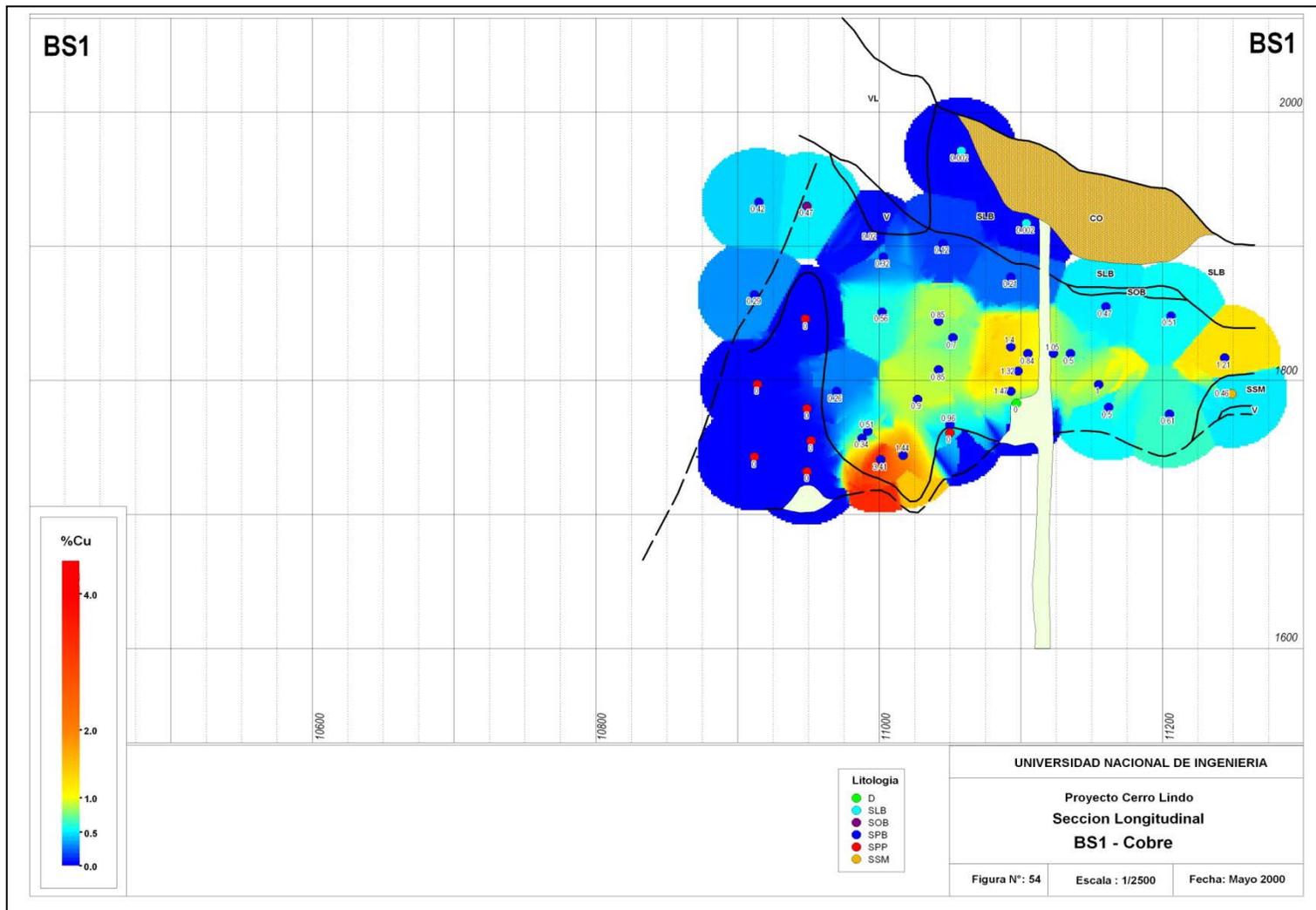


Figura 54: Sección longitudinal BS1 - Cu

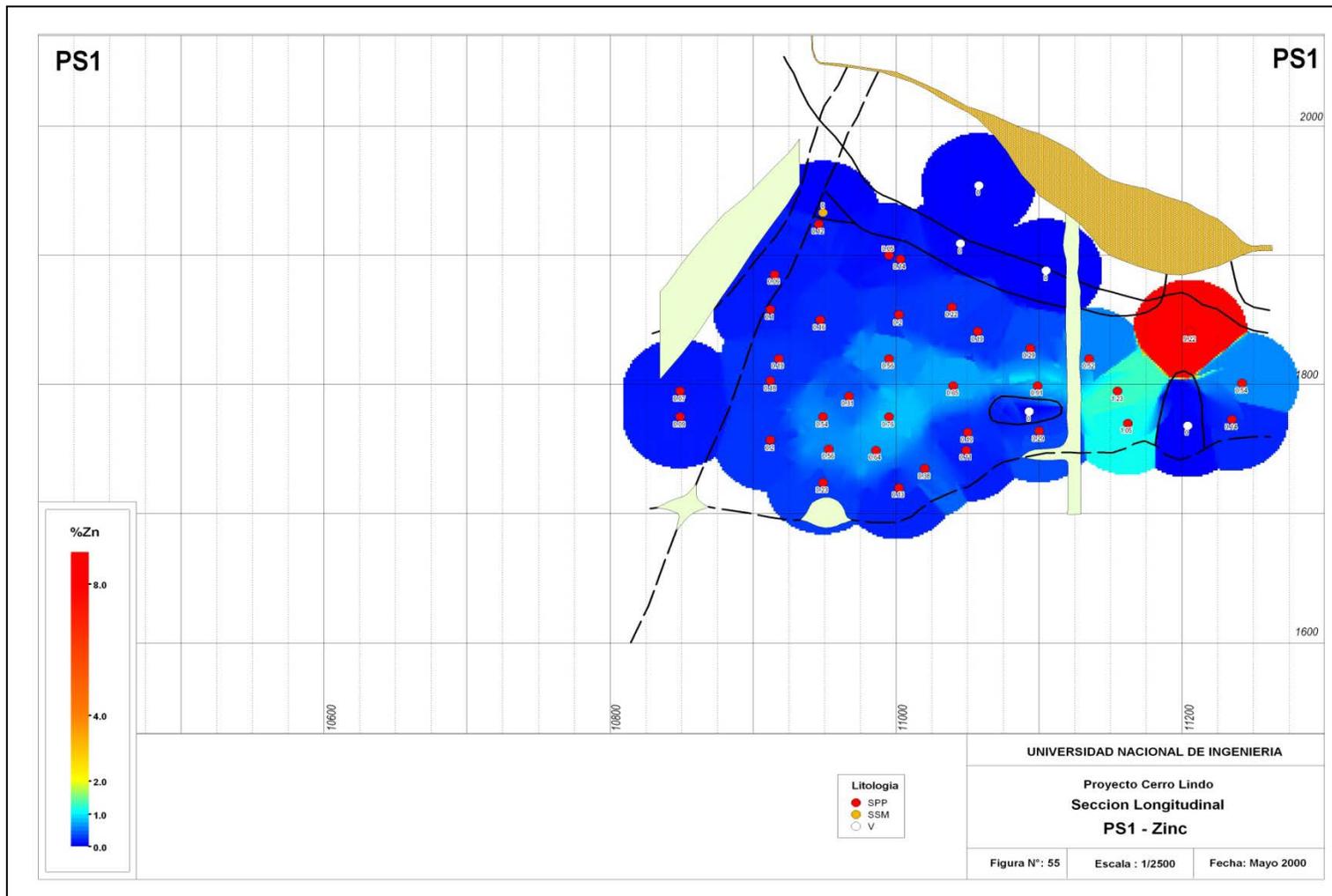


Figura 55: Sección longitudinal PS1 - Zn

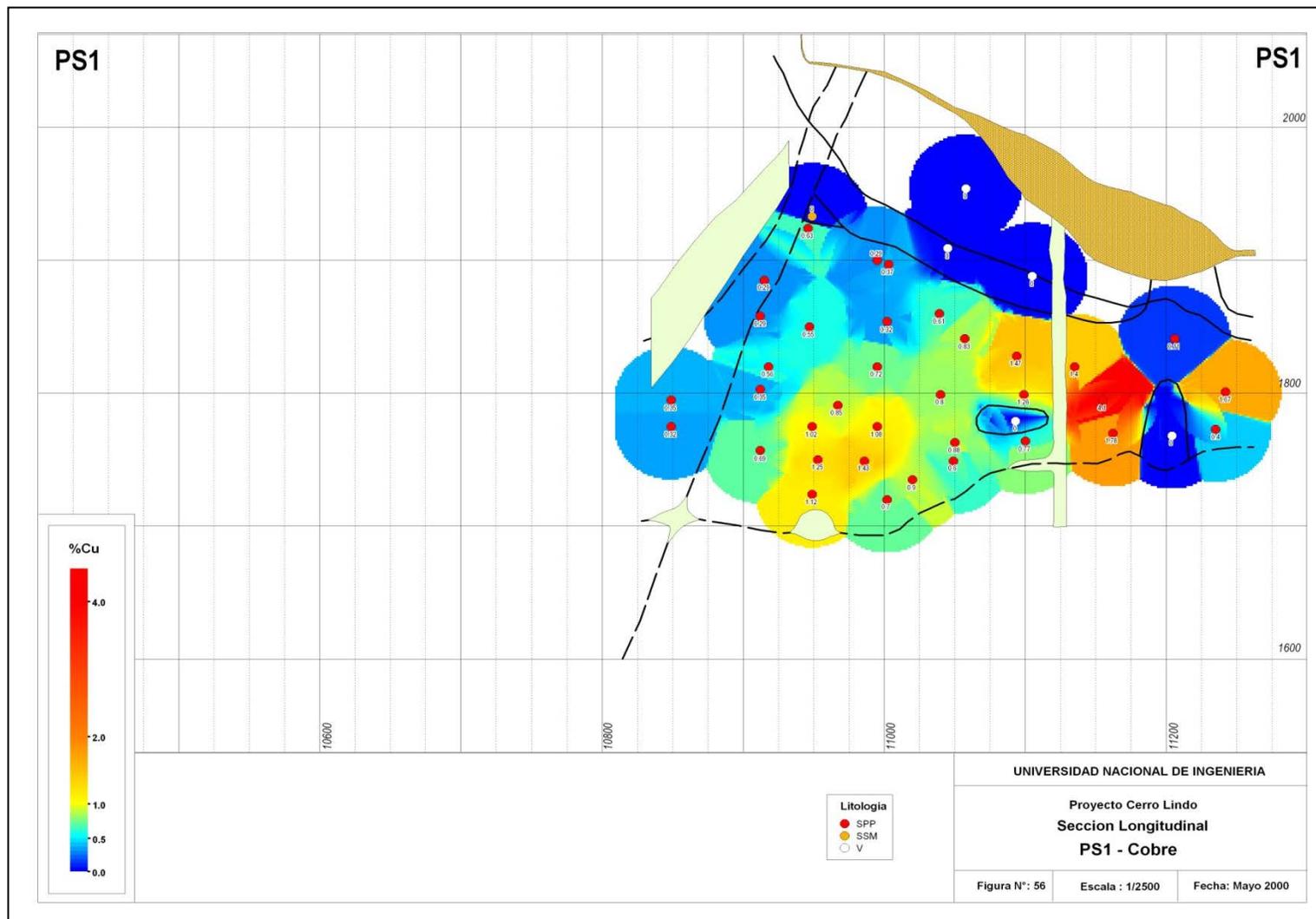


Figura 56: Sección longitudinal PS1 - Cu

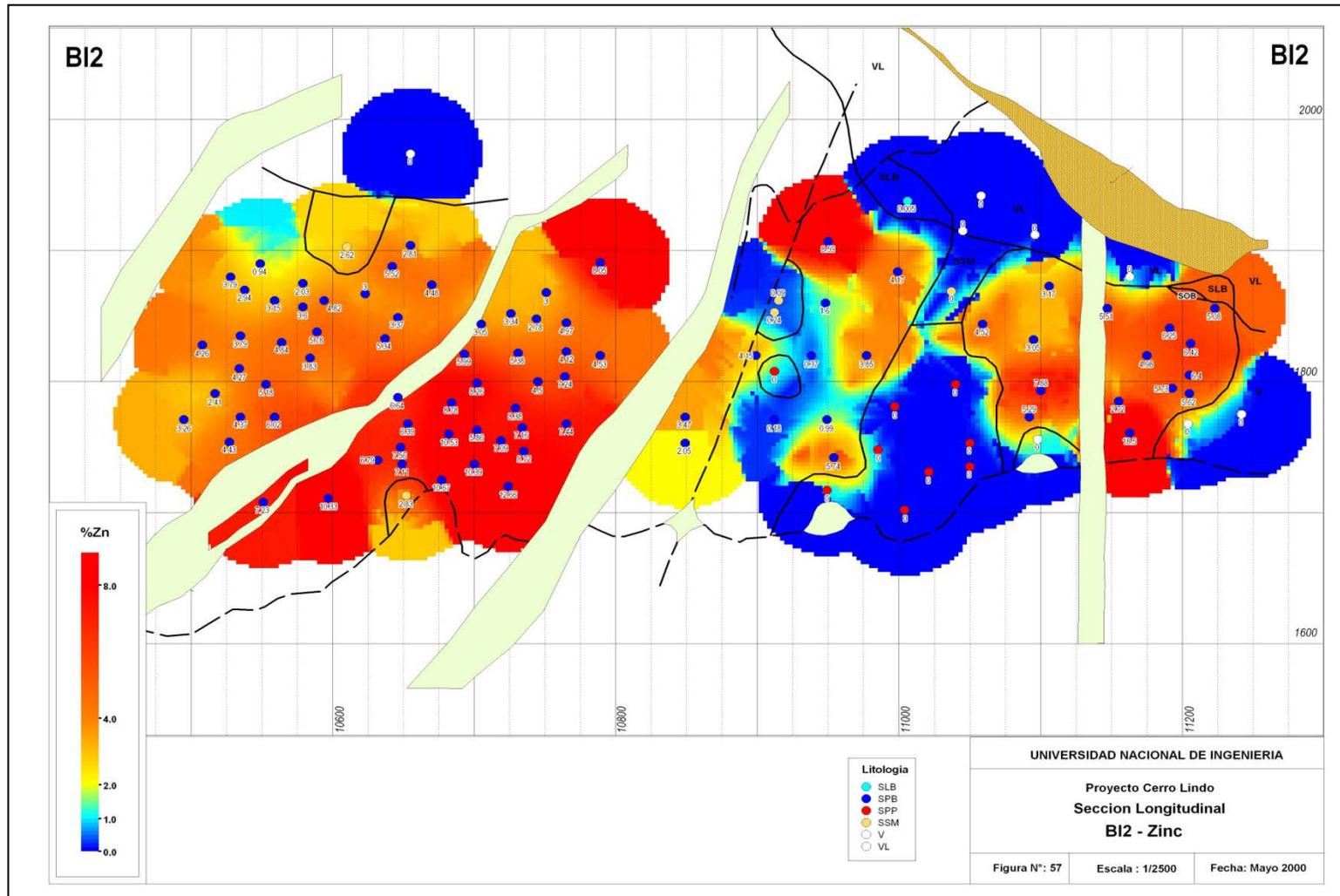


Figura 57: Sección longitudinal BI2 - Zn

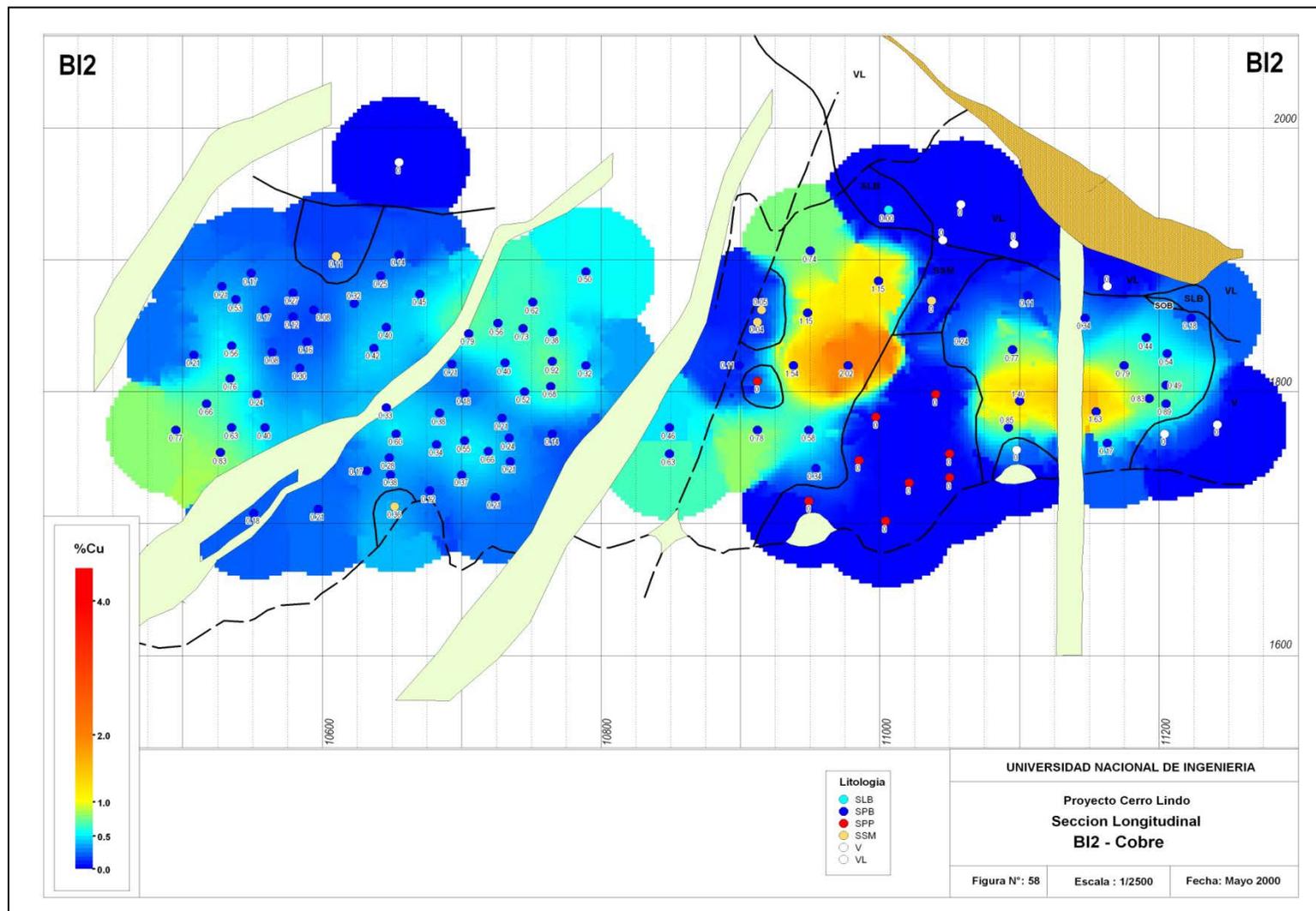


Figura 58: Sección longitudinal BI2 - Cu

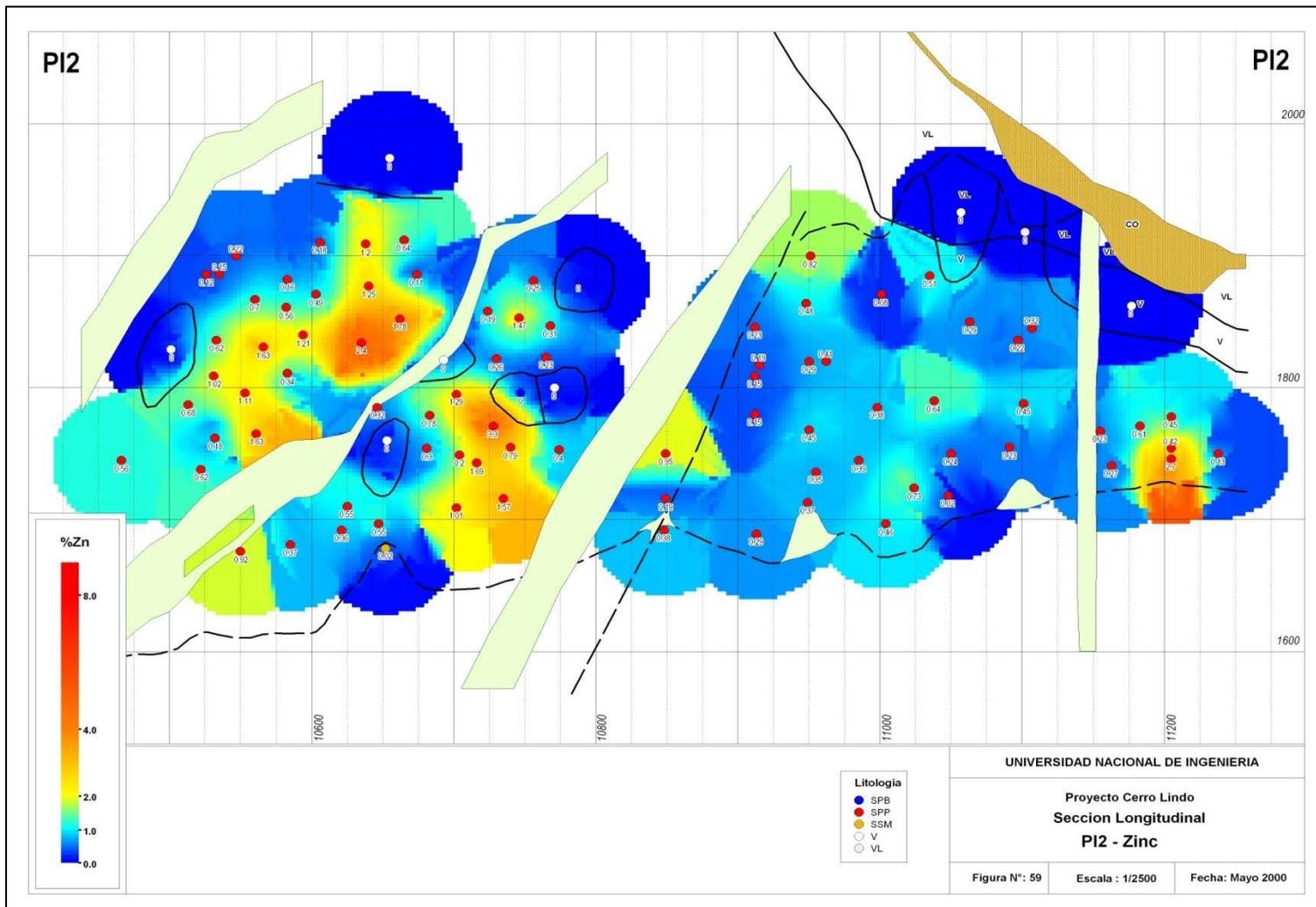


Figura 59: Sección longitudinal PI2 - Zn

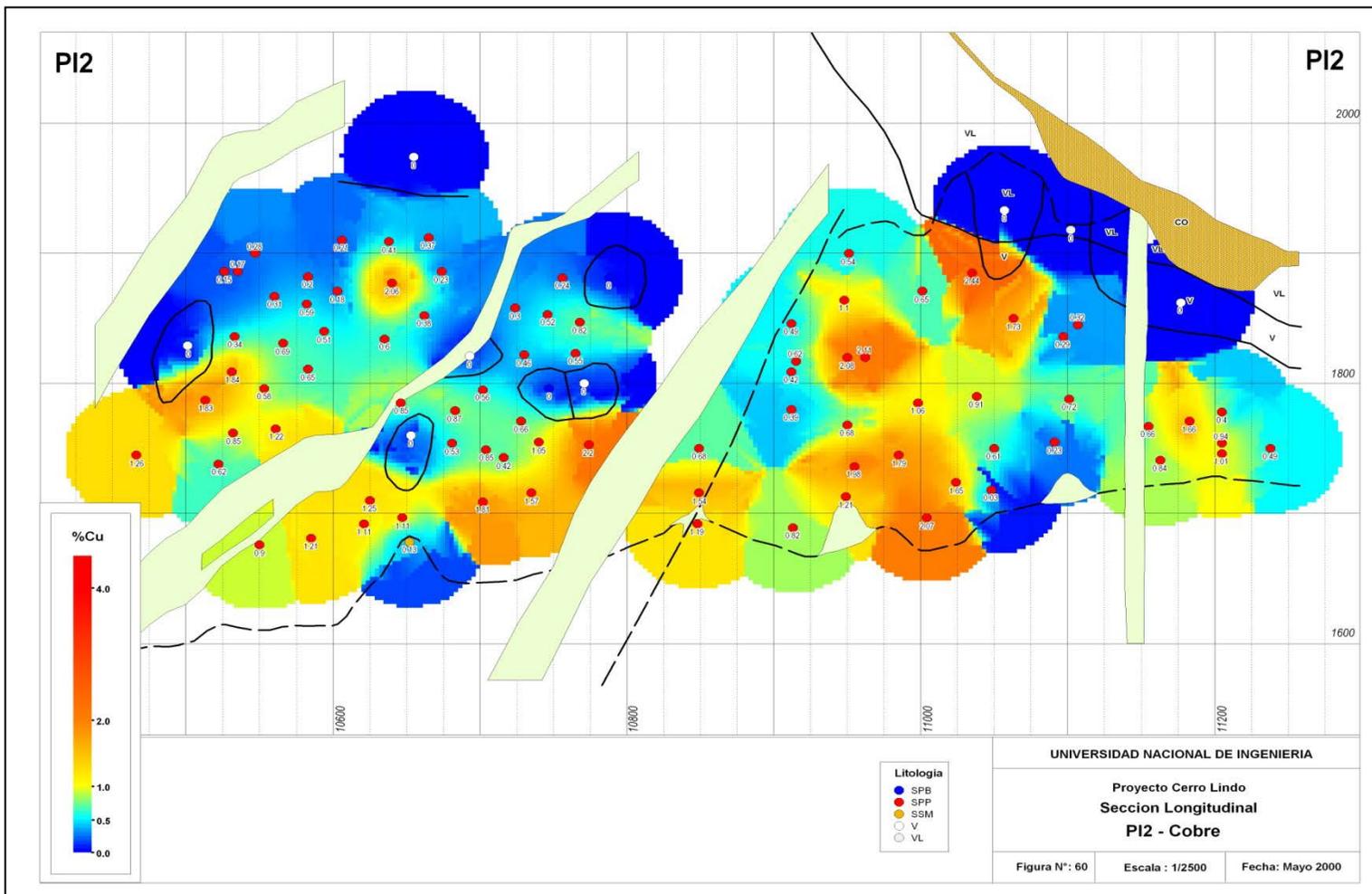


Figura 60: Sección longitudinal PI2 - Cu

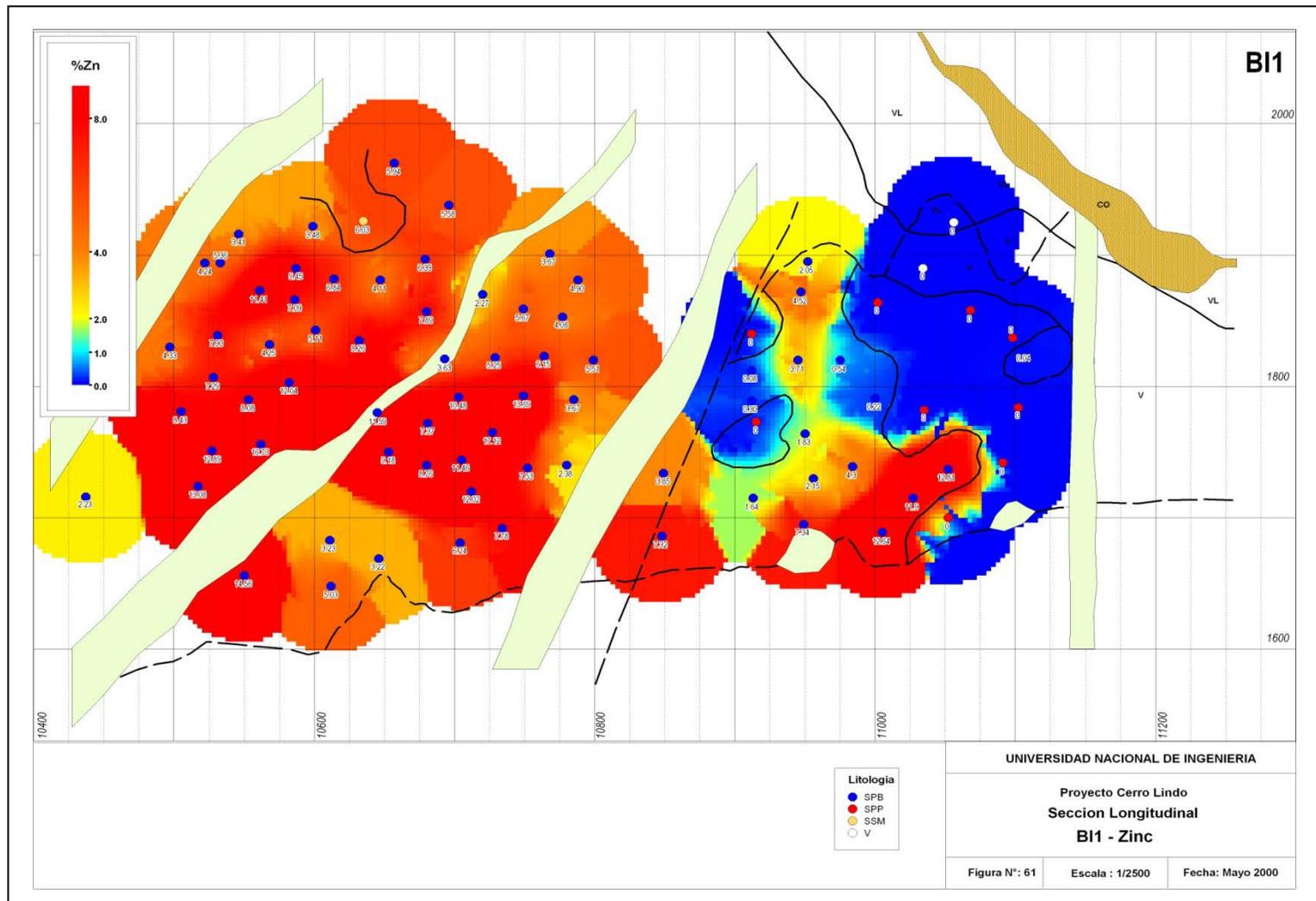


Figura 61: Sección longitudinal B11 - Zn

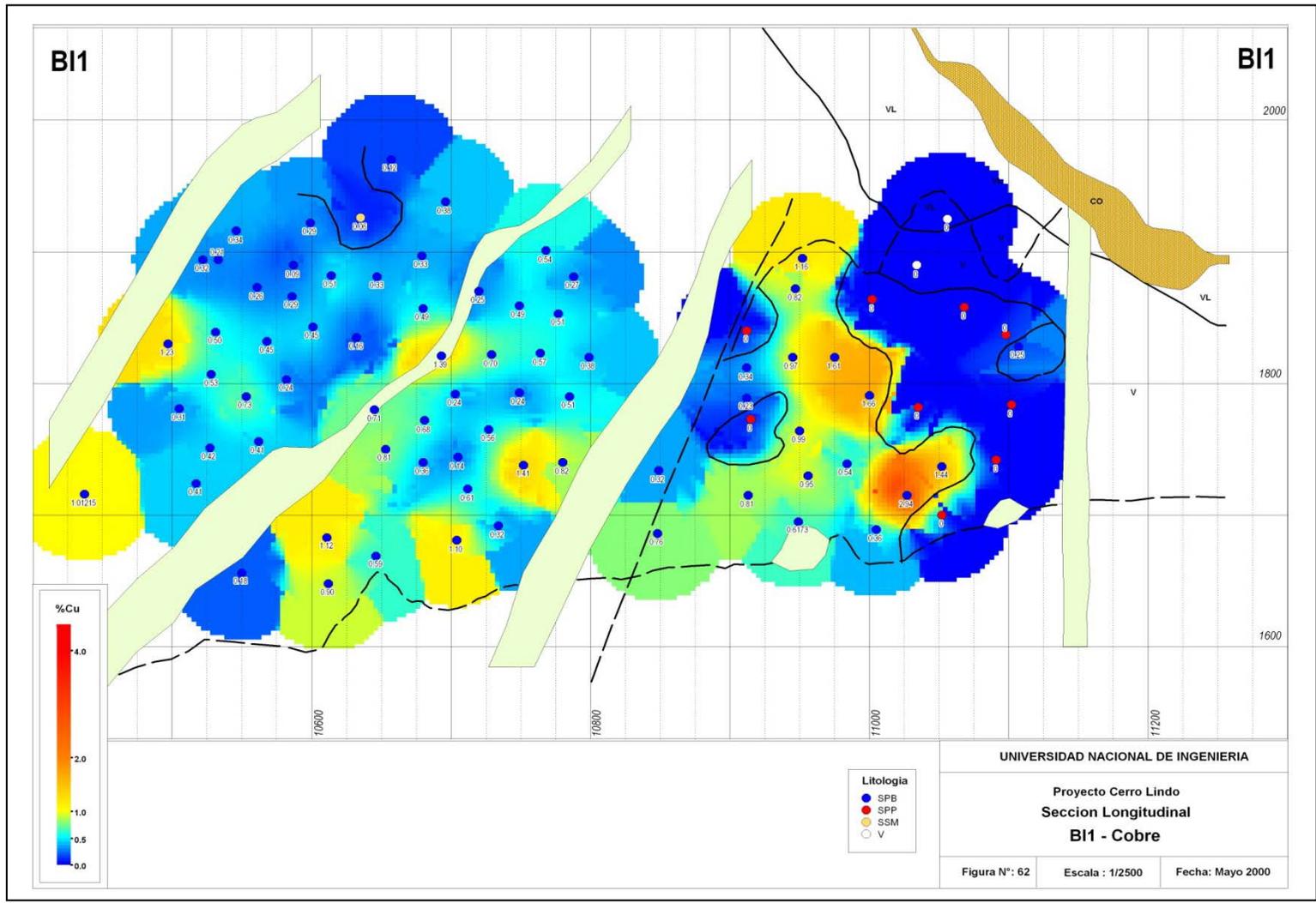


Figura 62: Sección longitudinal BI1 - Cu

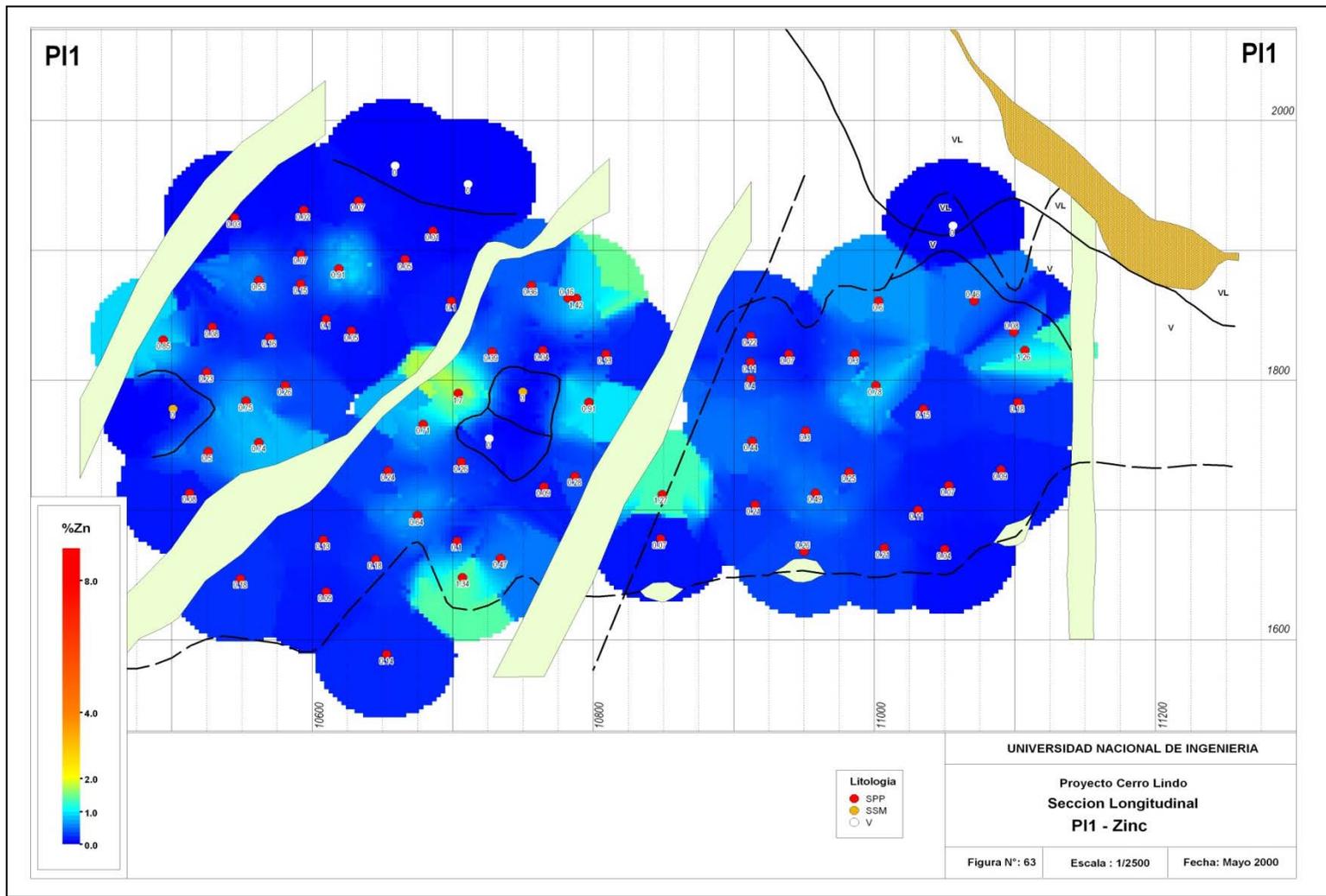


Figura 63: Sección longitudinal P11 - Zn

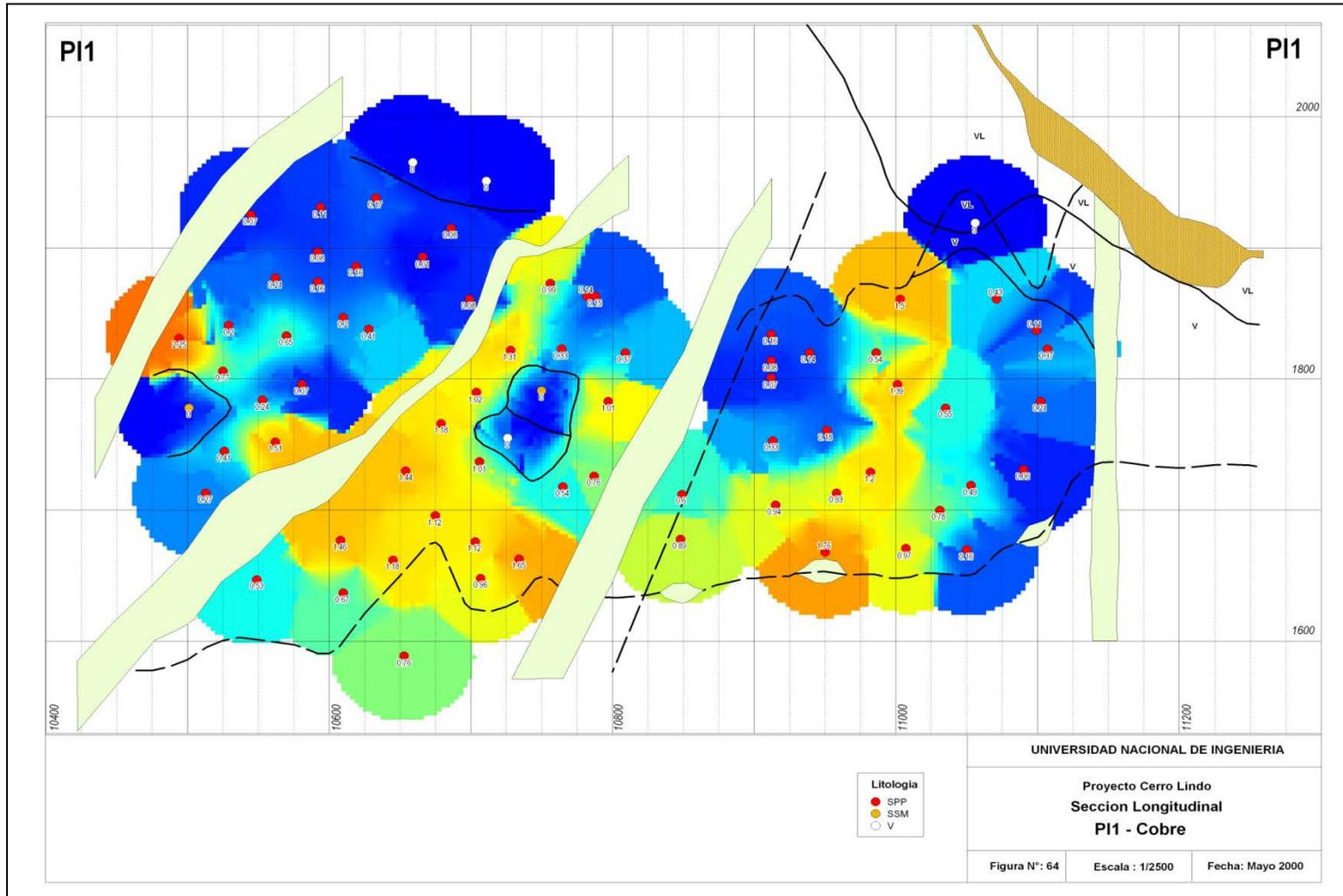


Figura 64: Sección longitudinal PI1 - Cu

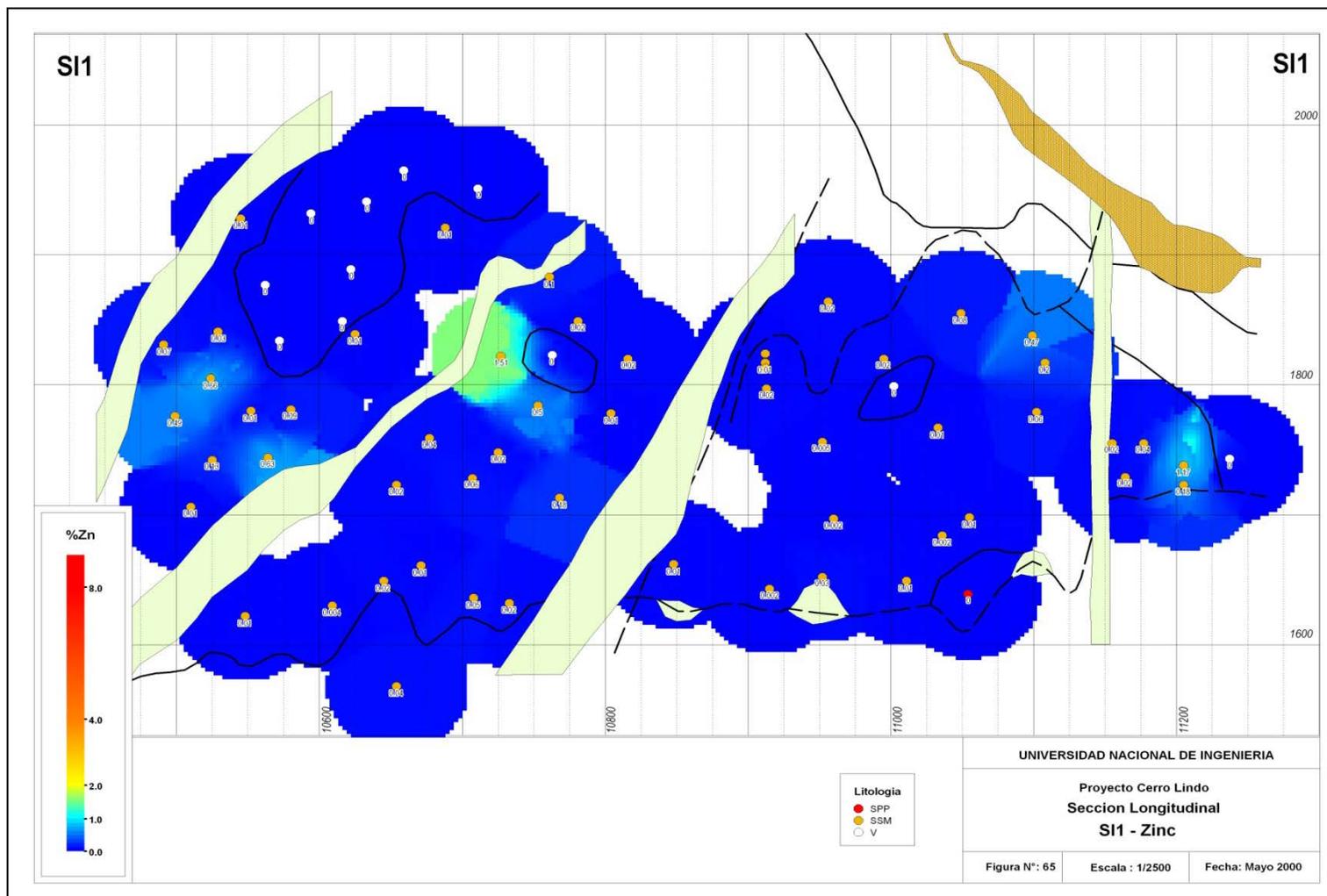


Figura 65: Sección longitudinal S11 - Zn

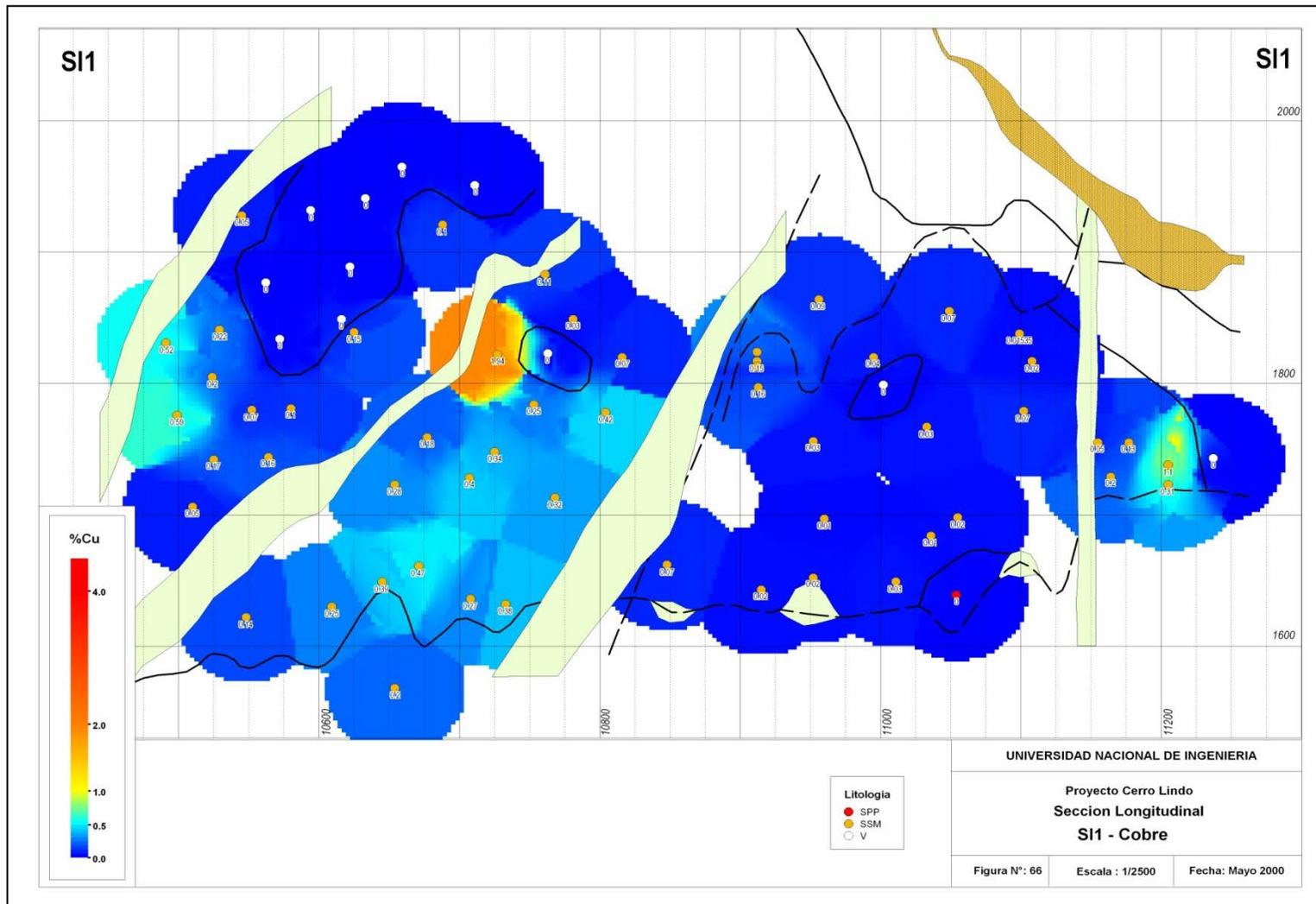


Figura 66: Sección longitudinal SI1 - Cu

- Los contenidos promedio de Au, Ag, Zn, Cu y Pb en SSM son mayores que los de SI1; sin embargo hay una gran diferencia en el Ratio Cu obteniéndose 42 para SSM y 71 para SI1, indicando un nivel estratigráfico inferior para SI1. Aquí se observa la utilidad del Ratio Cu porque solo toma en cuenta los contenidos existentes en una unidad específica.
- Los valores en cobre y zinc tienden a decrecer cuando provienen de taladros que se van alejando de la Falla 35. Esta es otra característica que indica la relación de la Falla 35 con la mineralización.
- Existe una tendencia a obtener incremento en los valores de cobre cuando las muestras son adyacentes a enclaves. Esto se debe a que los enclaves han servido como puntos de precipitación dentro de la masa de sulfuros masivos cuando circulaban los fluidos que contenían la mineralización de cobre.
- Existe una tendencia a encontrar altos valores de cobre asociado al contacto entre unidades piríticas y baríticas; esto se debe a que las unidades baríticas no solo sirven como puntos de precipitación de calcopirita cuando circulan los fluidos hidrotermales sino que con el tiempo es posible encontrar parte de unidades baríticas que por el reemplazamiento extremo ahora son unidades piríticas con alto contenido de cobre.
- Existen unidades SSM por encima de las unidades BI2 en el cuerpo 5, que presentan alto contenido de Zinc; lo cual se explicaría como una deposición mixta de tufos ceniza con precipitación de sulfuros

masivos. Sin embargo también se observa presencia de SPP por encima de BI2 en el Cuerpo 5 con alto contenido de cobre que significaría que los fluidos hidrotermales con calcopirita logra llegar a estos niveles cuando los tufos ceniza se consolidaron y preservaron. No existe razón por la que estos fluidos no logren llegar a la superficie marina, aunque dejarían su carga de cobre en el camino aprovechando los puntos de precipitación ya reconocidos.

- En líneas generales, los contenidos de Zinc y Cobre tienden a disminuir al alejarse de la Falla 35. Aunque es posible determinar otras áreas con presencia alta de Zn y Cu que al parecer no estarían relacionados a la Falla 35 (al menos directamente); por ejemplo en la coordenada norte 11200 para el plano PS1-Zn se tiene un contenido promedio de 9.22 %Zn en una unidad pirítica, concluyendo que se trata de un stringer con mineralización principalmente de esfalerita-pirita que corta previamente tufos cenizas a manera de stockwork; de igual modo ocurre en la coordenada 11000 para el cobre, casi todas las unidades piríticas y baríticas tienen alto contenido de cobre en esta coordenada. Estos hechos solo pueden explicarse por la presencia de fallas transversales a la Falla 35 que alimentaron estas zonas; la existencia de diques transversales en la actualidad indica que estas fallas existieron y que serían contemporáneos a la Falla 35.
- Las unidades SPB cuando gradan a unidades SPP (o son absorbidas parcialmente por estas unidades) presentan disminución de su contenido en zinc e incremento en su contenido de cobre.

8.3. Zonamiento en función del Ratio Cu

El Ratio Cu ha sido usado anteriormente como un medio para determinar la polaridad de los cuerpos de sulfuros masivos (definir caja piso y caja techo) y la localización del foco o focos de mineralización.

Como es sabido, en este tipo de depósitos hay un gran control en función a la temperatura, por lo que consideramos que el cobre (calcopirita) se emplaza a mayor profundidad y más cerca al foco de la mineralización; a diferencia del zinc (esfalerita) que es en gran parte depositado con carácter sedimentario sobre el fondo marino.

El Ratio Cu, resulta de ejecutar la siguiente formula $[100 \times \text{Cu} / (\text{Cu} + \text{Zn})]$, tiende a acercarse a 100 en tramos con alta predominancia de Cu con respecto al Zn y se acerca a 0 cuando se trata de tramos con predominancia de Zn sobre Cu. Como se observa en los cuadros con los contenidos promedio de Au, Ag, Zn, Cu y Pb, siempre existe una cantidad mínima de estos elementos en cada uno de las litologías presentes en depósitos VMS, sin embargo existe una predominancia de algunos elementos en determinadas litologías.

Algo muy importante de determinar en el presente estudio es saber si estudiar el Ratio de Cu en cada uno de las diferentes unidades dentro de la estratigrafía de los sulfuros masivos también nos puede indicar la ubicación del foco de mineralización.

Con respecto al ratio en las diferentes unidades litológicas se puede concluir (Figuras 67 al 77):

- El Ratio promedio del HW es mucho menor que el del FW (25 y 61 respectivamente).
- El Ratio de SPB es mucho menor que el de SPP (20 y 65 respectivamente).
- El Ratio en el Horizonte de Enriquecimiento Secundario para SPB y SPP crece significativamente (de 20 a 48 en SPB y de 65 a 94 en SPP).
- El Ratio en SLB es mayor que el de SPB (34 y 20 respectivamente).
- El Ratio promedio de todas las unidades SSM que se encuentran en los sulfuros masivos es inferior que el Ratio de SI1 (42 y 71, respectivamente).
- El Ratio de SI1 y VSI1 (tramos de volcánico dentro de SI1) son muy parecidos (71 y 75, respectivamente), lo cual indicaría que el factor más importante que controla la deposición de Cu y Zn es la temperatura o en todo caso que la litología no es elemento importante.

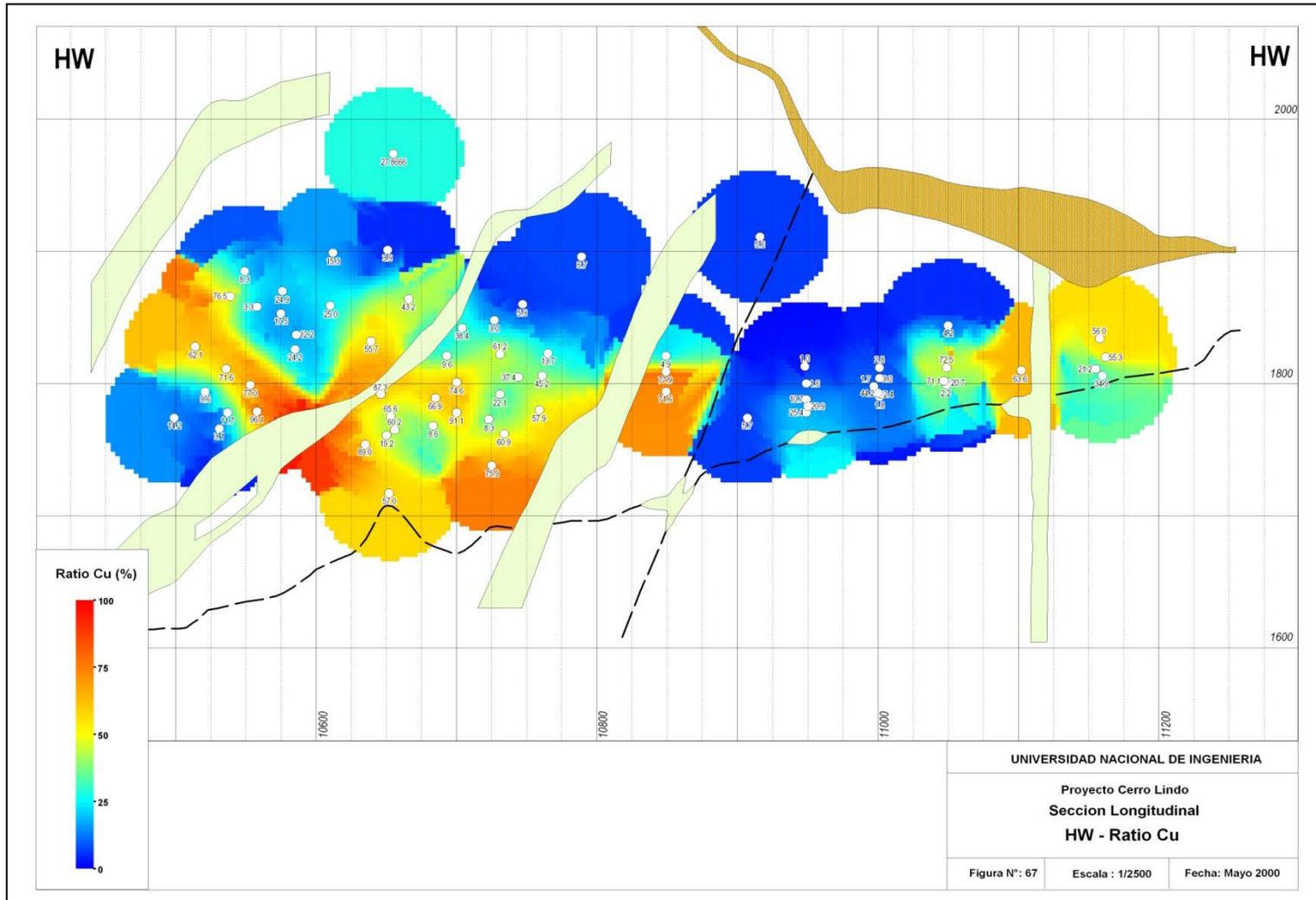


Figura 67: Sección longitudinal HW – Ratio Cu

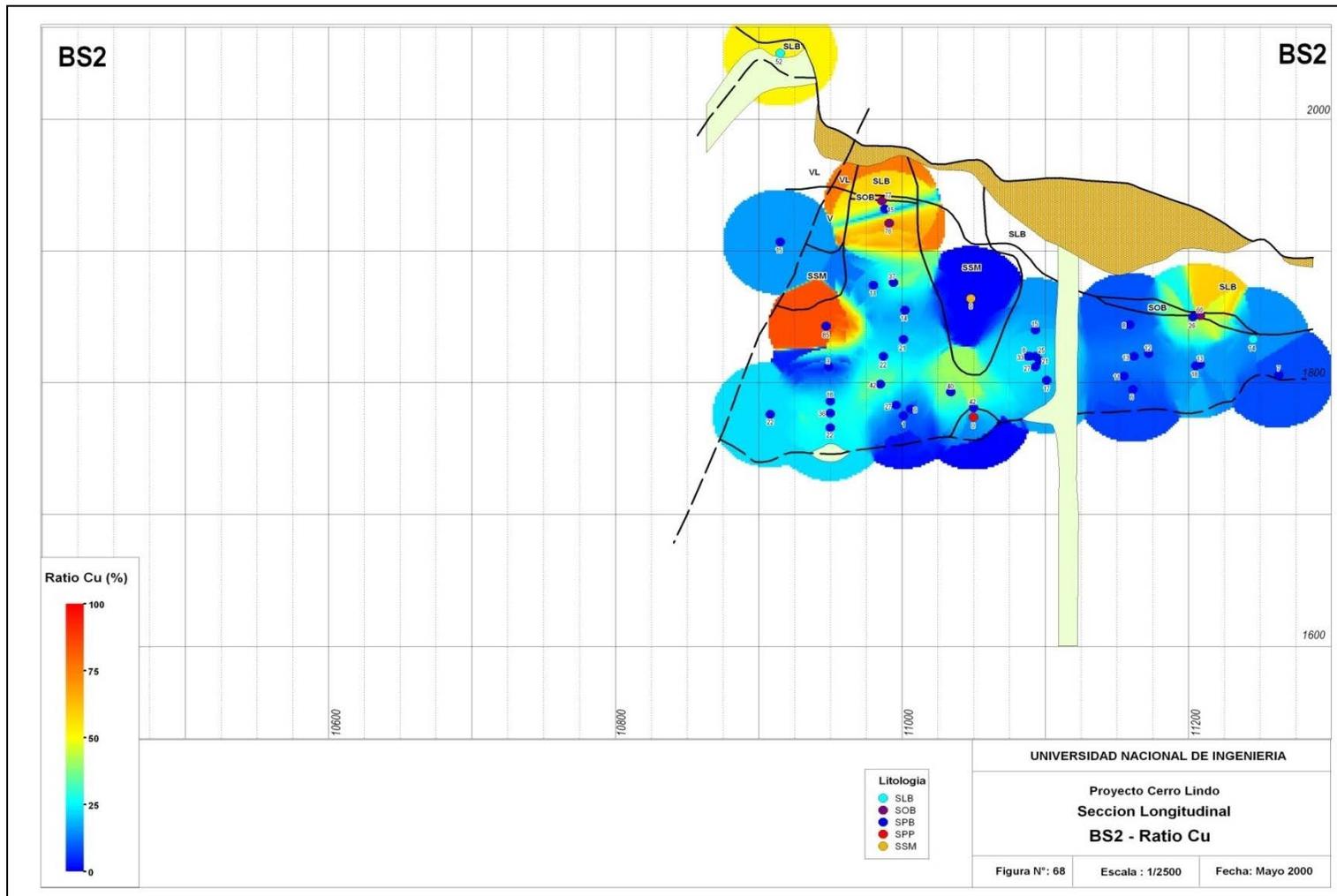


Figura 68: Sección longitudinal BS2 – Ratio Cu

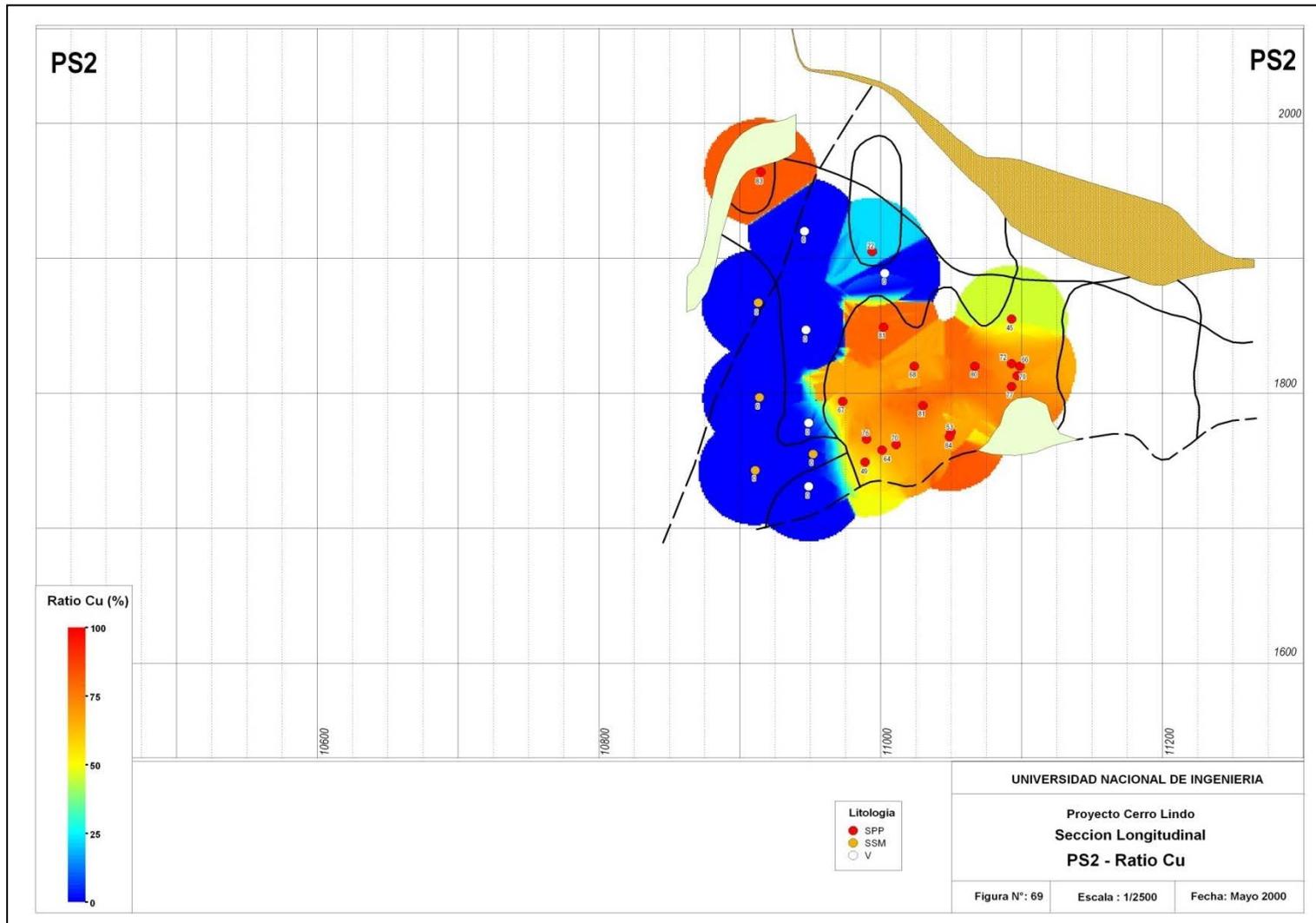


Figura 69: Sección longitudinal PS2 – Ratio Cu

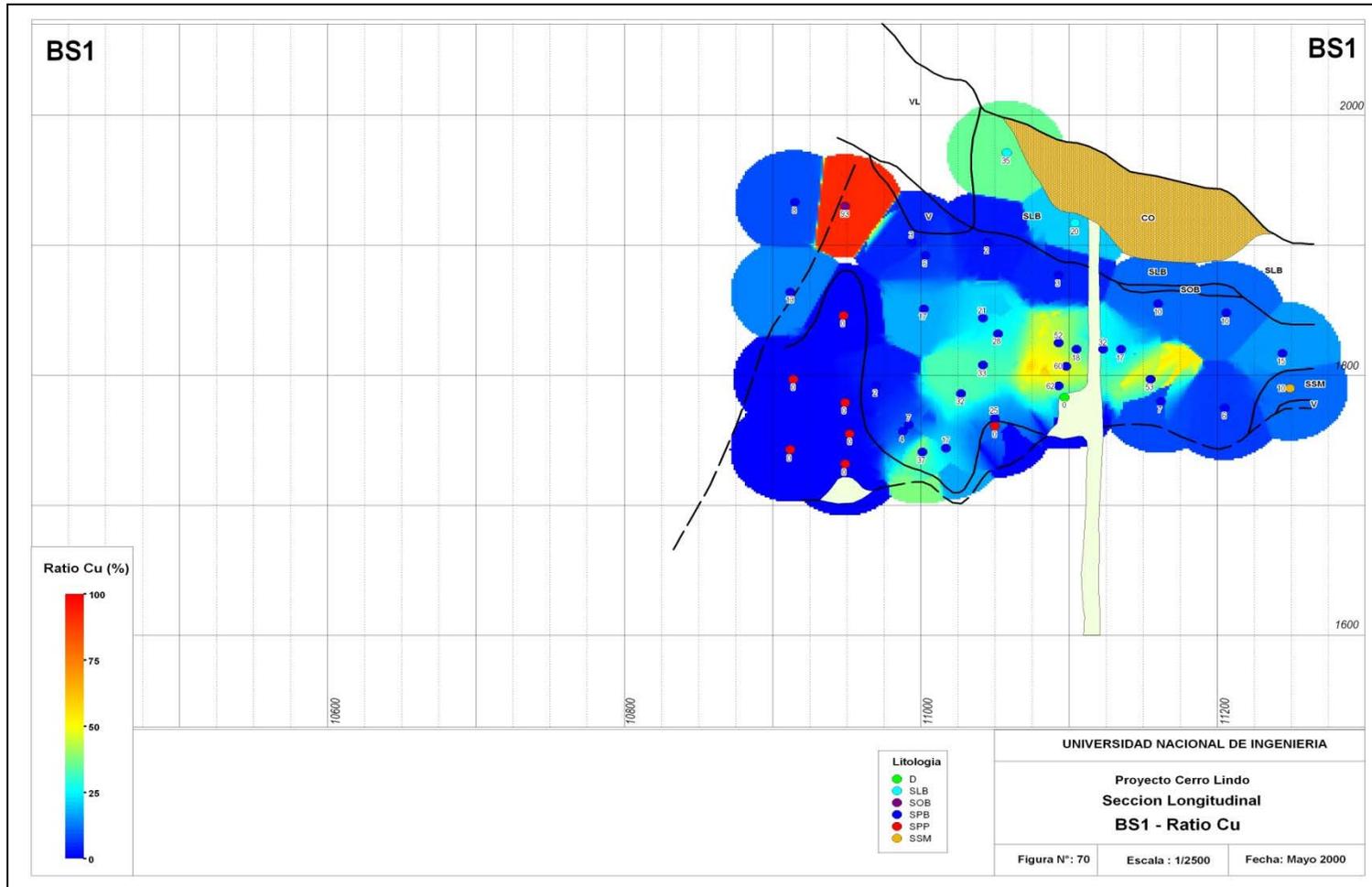


Figura 70: Sección longitudinal BS1 – Ratio Cu

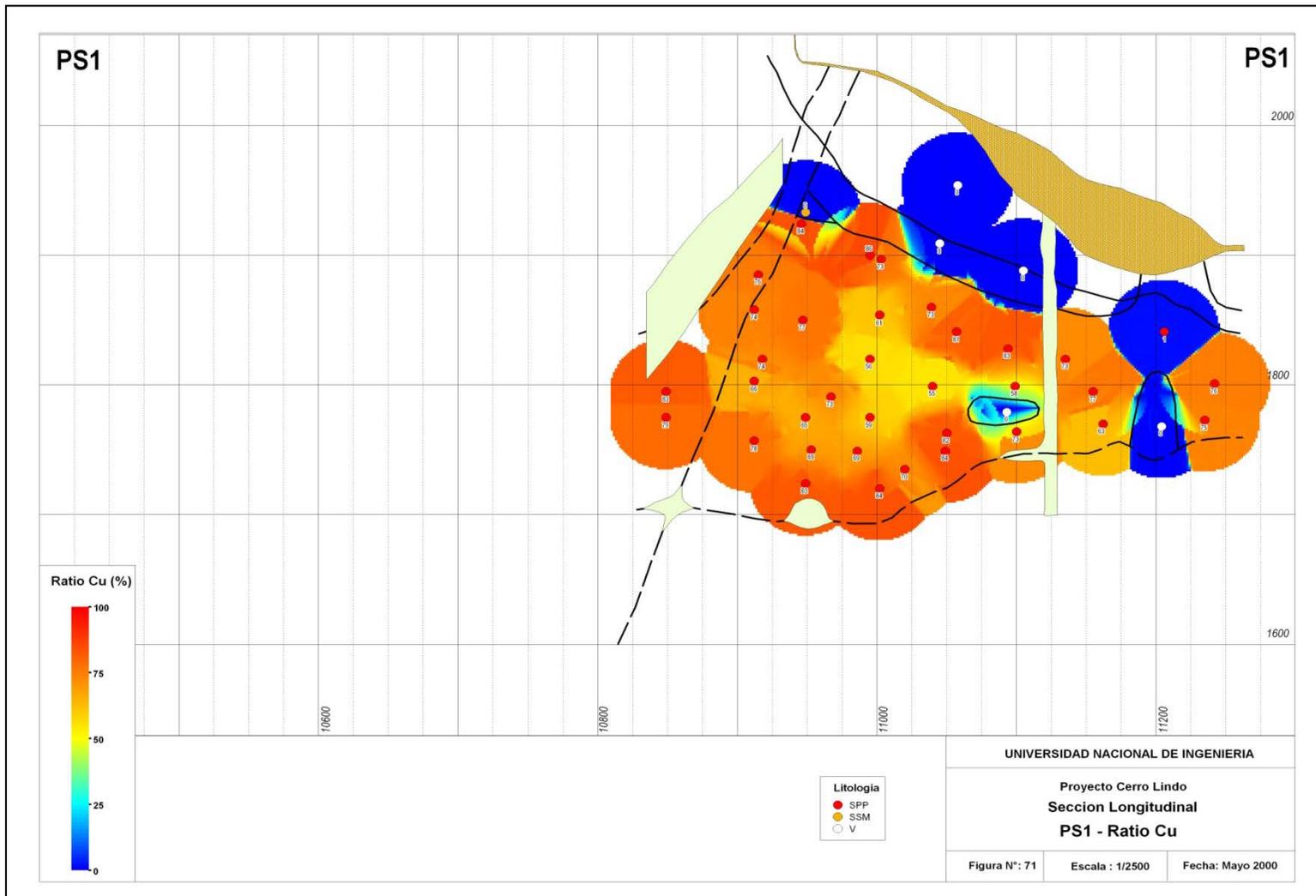


Figura 71: Sección longitudinal PS1 – Ratio Cu

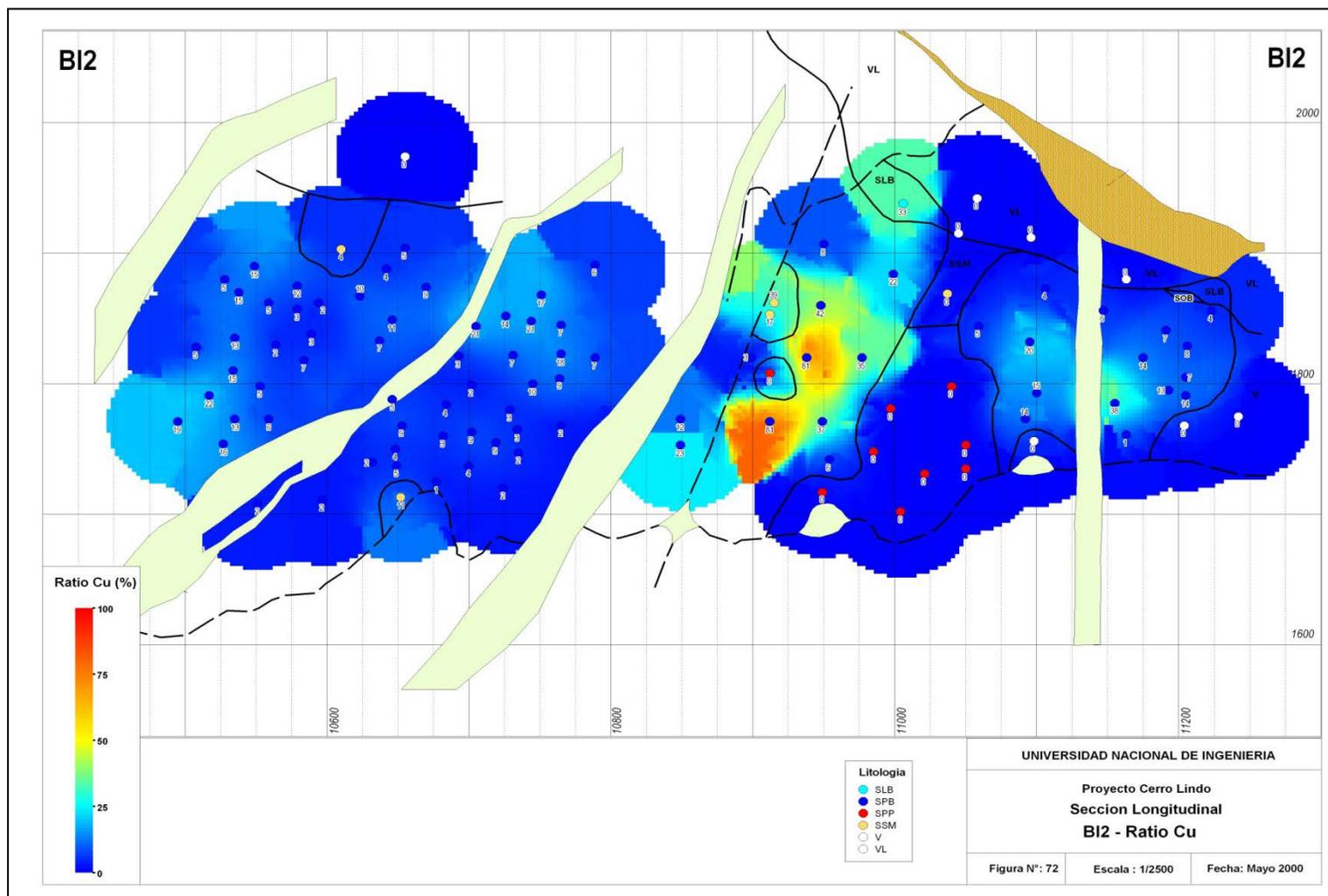


Figura 72: Sección longitudinal BI2 – Ratio Cu

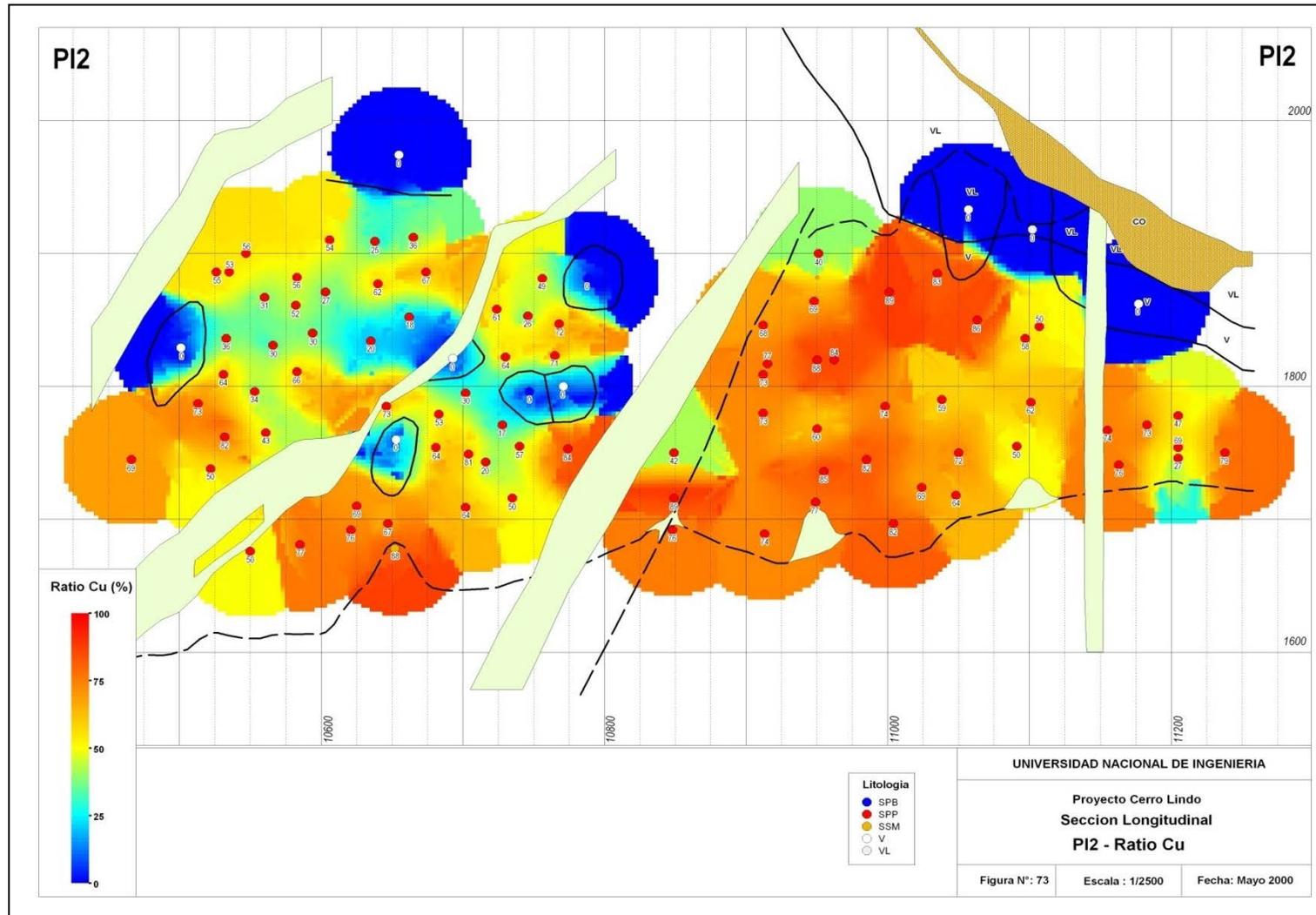


Figura 73: Sección longitudinal PI2 – Ratio Cu

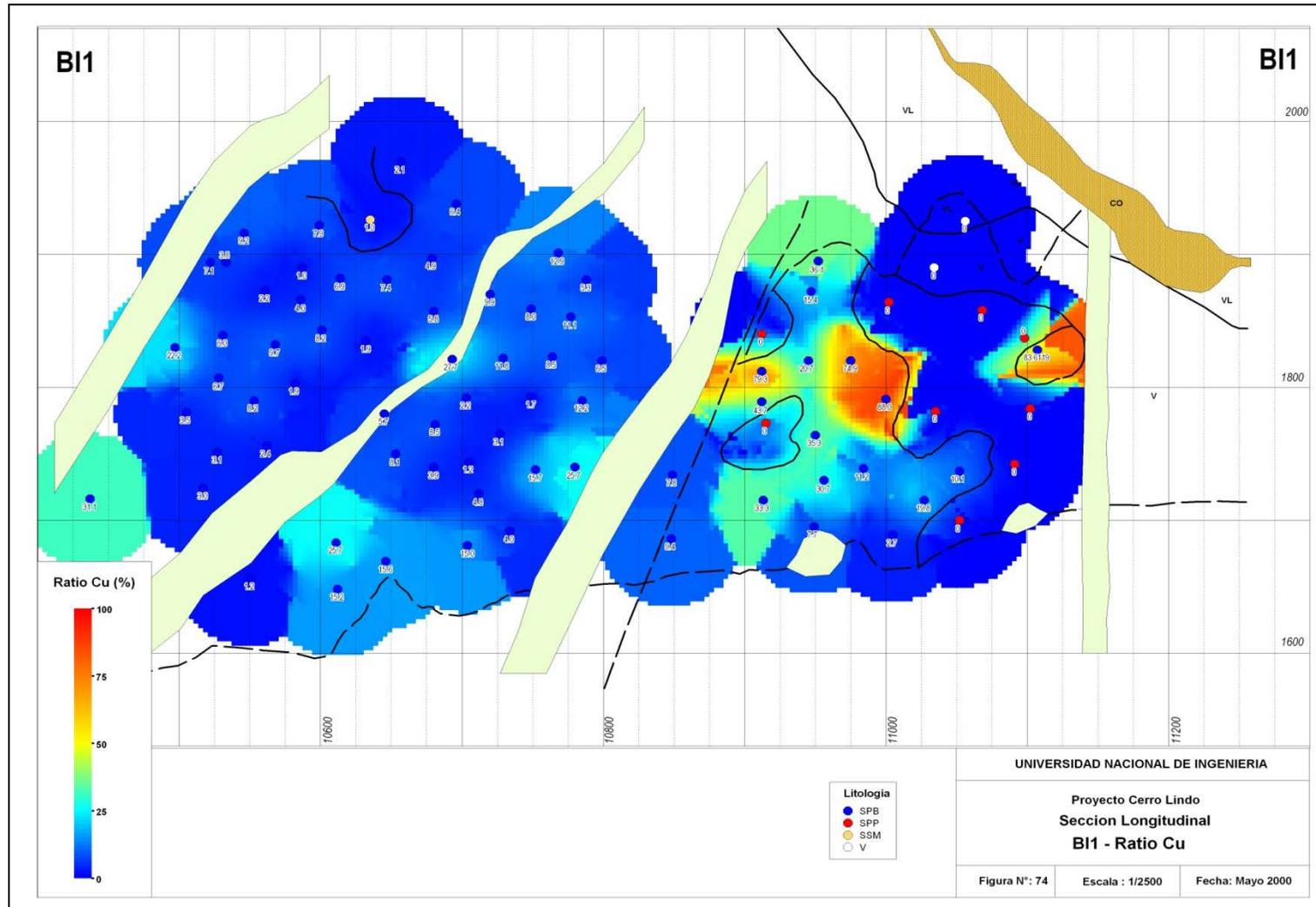


Figura 74: Sección longitudinal B11 – Ratio Cu

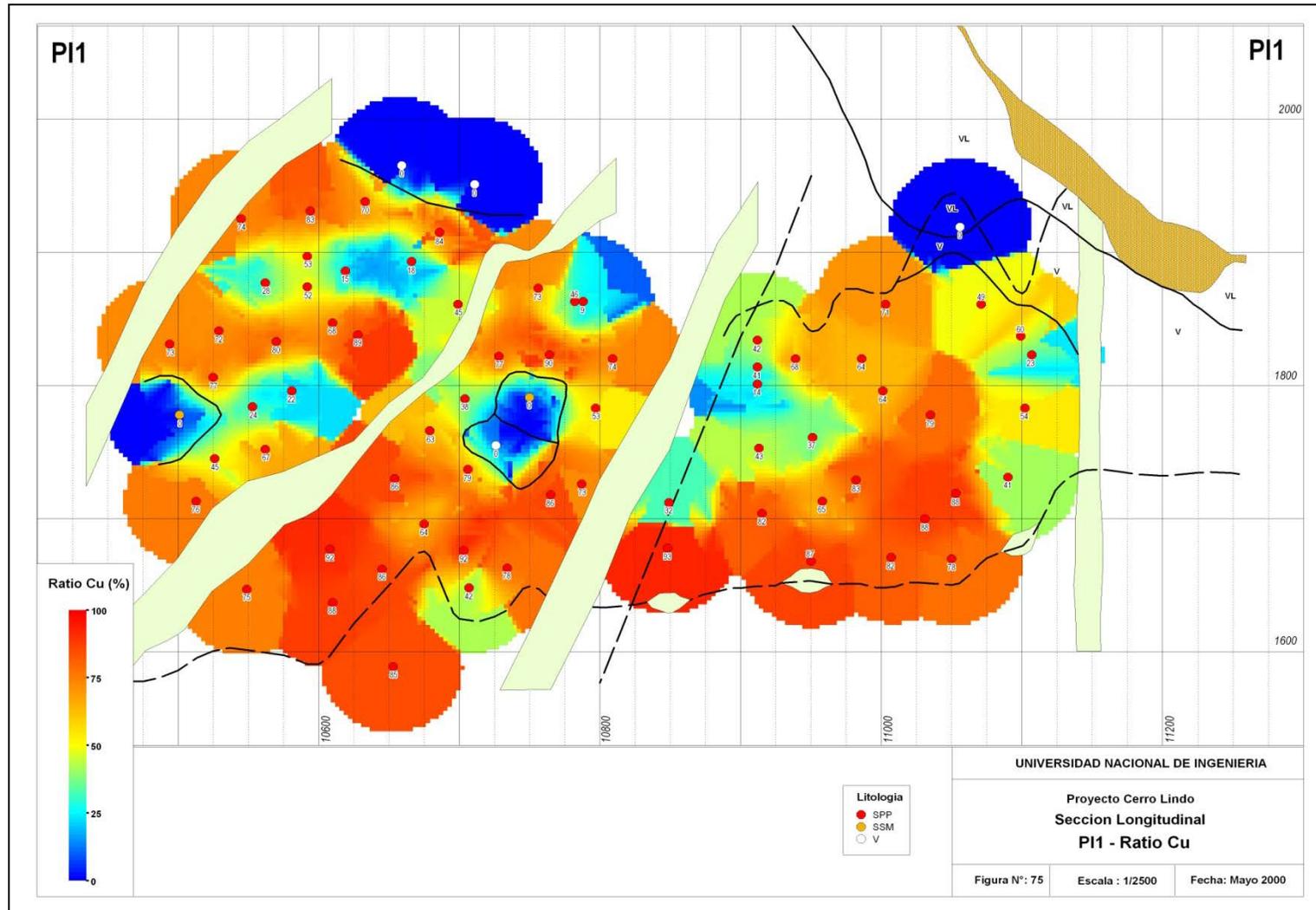


Figura 75: Sección longitudinal P11 – Ratio Cu

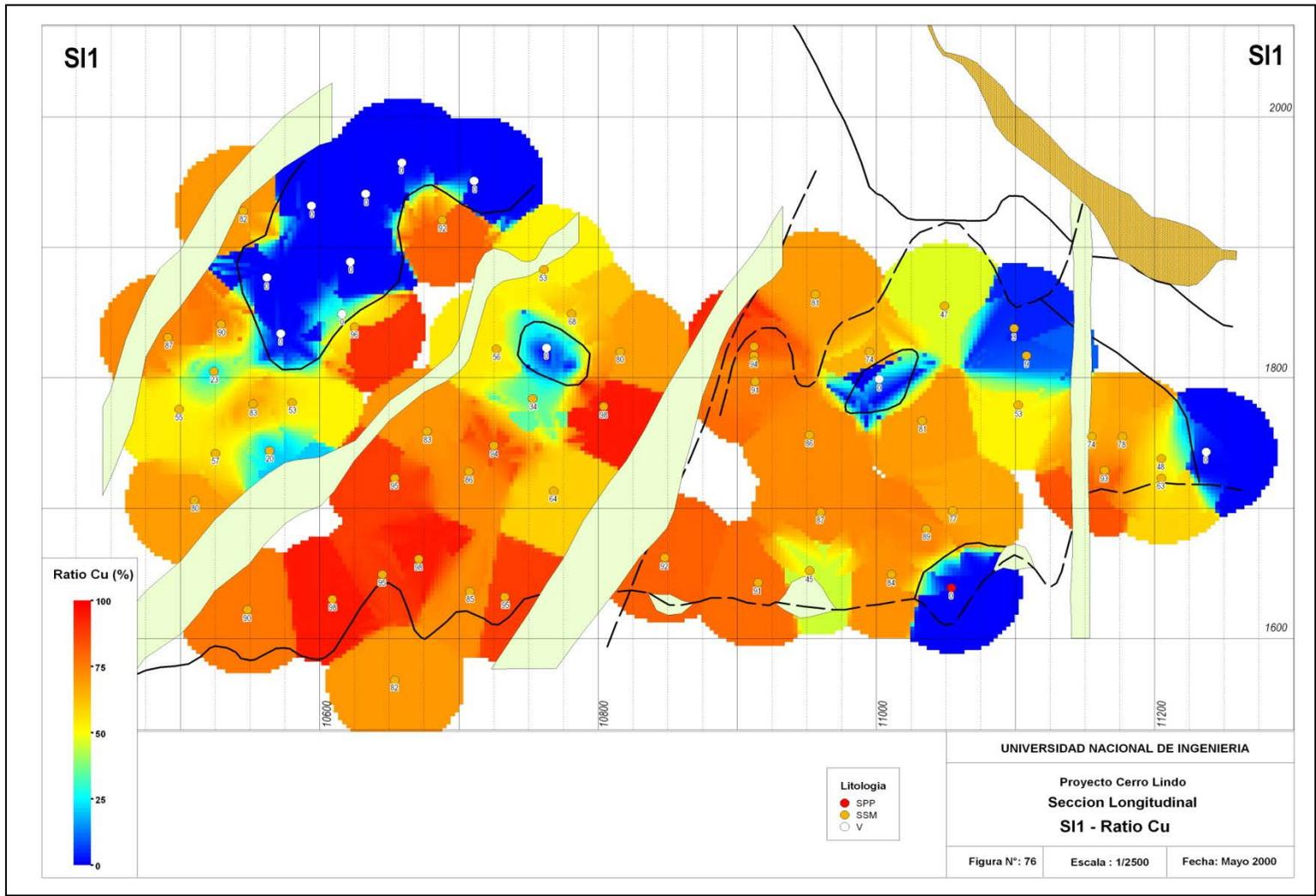


Figura 76: Sección longitudinal S11 – Ratio Cu

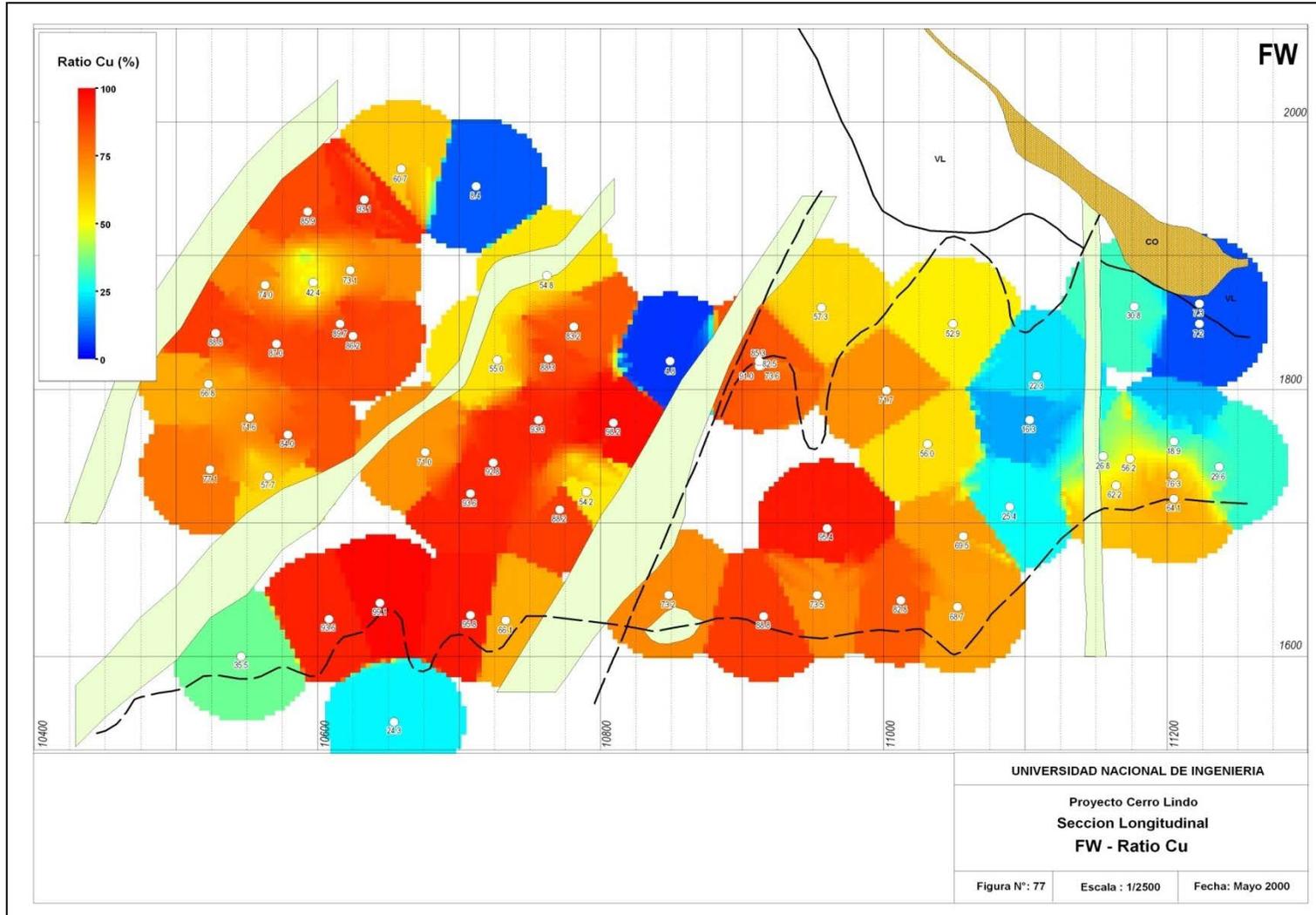


Figura 77: Sección longitudinal FW – Ratio Cu

- El Ratio de los horizontes volcánicos intermedios es mayor que el HW, pero menor que el FW (45, 25 y 62, respectivamente); esto se debe a que dentro del aparato volcánico (el mismo) estas litologías ocupan un lugar específico que tiene una temperatura específica; indicando otra vez la temperatura como factor influyente en la característica de la mineralización.
- El Ratio en los enclaves arroja un resultado cercano al ratio de SPP (63 y 65, respectivamente), indicando otra vez una temperatura de precipitación similar para ambos.
- El Ratio en las Exhalitas arroja un promedio de 70; sin embargo en los histogramas de distribución se notan 2 poblaciones; se supone que la población de Ratio por debajo de 50 está relacionado a exhalitas provenientes de los niveles superiores de los sulfuros masivos y la población de Ratio mayor que 50 se relaciona a exhalitas profundas que en realidad serían stringer que silicifican los tufos ceniza dándoles apariencia de escalitas.
- El Ratio de las Pegmatitas promedio es 48.
- El ratio en los diques es 51.57, aunque en los diagramas de distribución se encuentra ampliamente distribuido con solo una ligera concentración hacia el 50.
- Los contenidos promedio de Au, Ag, Zn, Cu y Pb en SSM son mayores que los de SI1; sin embargo hay una gran diferencia en el Ratio Cu obteniéndose 42 para SSM y 71 para SI1, indicando un nivel estratigráfico inferior para SI1. Aquí se observa la utilidad del Ratio Cu

porque solo toma en cuenta los contenidos existentes en una unidad específica.

En general, el uso del Ratio es bueno cuando:

- Se quiera definir el piso o techo de los sulfuros y no se tiene controlada la estratigrafía. En este caso se ha visto que el Ratio Cu del HW y FW tienen tendencias distintas y pueden definir el sentido estratigráfico.
- Cuando se busca zonas económicas dentro de horizontes de sulfuros con contenidos bajos y se cuenta con varios puntos de intersección. En este caso se puede utilizar la tendencia creciente que indicaría la mayor cercanía a la falla o fallas que dieron origen al depósito, con el consiguiente incremento de valores. Como se ha visto en las secciones longitudinales, de las unidades estratigráficas de los sulfuros masivos e incluso en el HW y FW, hay una tendencia a incremento del Ratio al acercarse a la Falla 35 y esto viene acompañado de incremento en contenidos económicos.

CAPITULO IX - DEPOSICIÓN DEL COBRE Y DEL ZINC

Cuando se tomó en cuenta la definición de sulfuros masivos en función del contenido de baritina, fue muy evidente el excelente control litológico para el zinc que está muy bien relacionado a las unidades SPB y esto es fácilmente explicable por el modo de deposición o emplazamiento de la esfalerita en el sistema.

Sin embargo, no existía un control definido para el cobre, que permitiera determinar zonas con concentraciones que al correlacionarlas constituyeran bloques minables. Hasta ese entonces se sabía que la calcopirita se emplazaba rellenando fracturas, espacios intergranulares y por reemplazamiento, lo cual ocurría aleatoriamente. Durante las siguientes fases de exploración, se observó, en los testigos diamantinos y galerías, que existe una tendencia definida de la precipitación de la calcopirita alrededor de enclaves y volcánicos y en las cercanías del contacto entre SPP y SPB.

En este capítulo se presenta gráficos que muestran los contenidos de Cu y Zn de unidades litológicas y su variación al acercarse al contacto entre dos litologías; además se presentará los resultados del estudio de secciones pulidas realizadas con el fin de tratar de entender el control de la mineralización de cobre.

9.1. Comportamiento del Cu y Zn en relación al contacto entre diferentes Litologías

Se presenta las Figuras 78 al 87, las cuales muestran el comportamiento de Zn y Cu en función a su posición con respecto al contacto entre 2 unidades litológicas. De la revisión de estos gráficos se puede concluir lo siguiente:

- Zn en contacto SPP y SPB (Figura 78): Se observa un cambio radical en el contenido de Zn al pasar de SPP a SPB. Esto indica que los procesos de depositación de Zn para ambas litologías son diferentes; el Zn de SPB es de origen sedimentario y el Zn de SPP acompaña al Cu, resultando en esfalerita marmatítica en los testigos diamantinos.
- Zn en contacto SSM y SPB (Figura 79): Se observa un ligero incremento de Zn en los SSM, hacia el contacto, aunque existe aún el salto que se vio en el ítem anterior. Se mencionó antes de la existencia parcial de SSM de origen sedimentario, a cuya población habría ocasionado el ligero incremento en SSM hacia el contacto.
- Zn en contacto SSM y SPP (Figura 80): No se observa mucho cambio al acercarse al contacto, aunque se puede decir que el contenido en SSM es ligeramente mayor. Esto se explicaría porque habría un aporte de SSM de la caja piso conjuntamente con SSM de la caja techo.

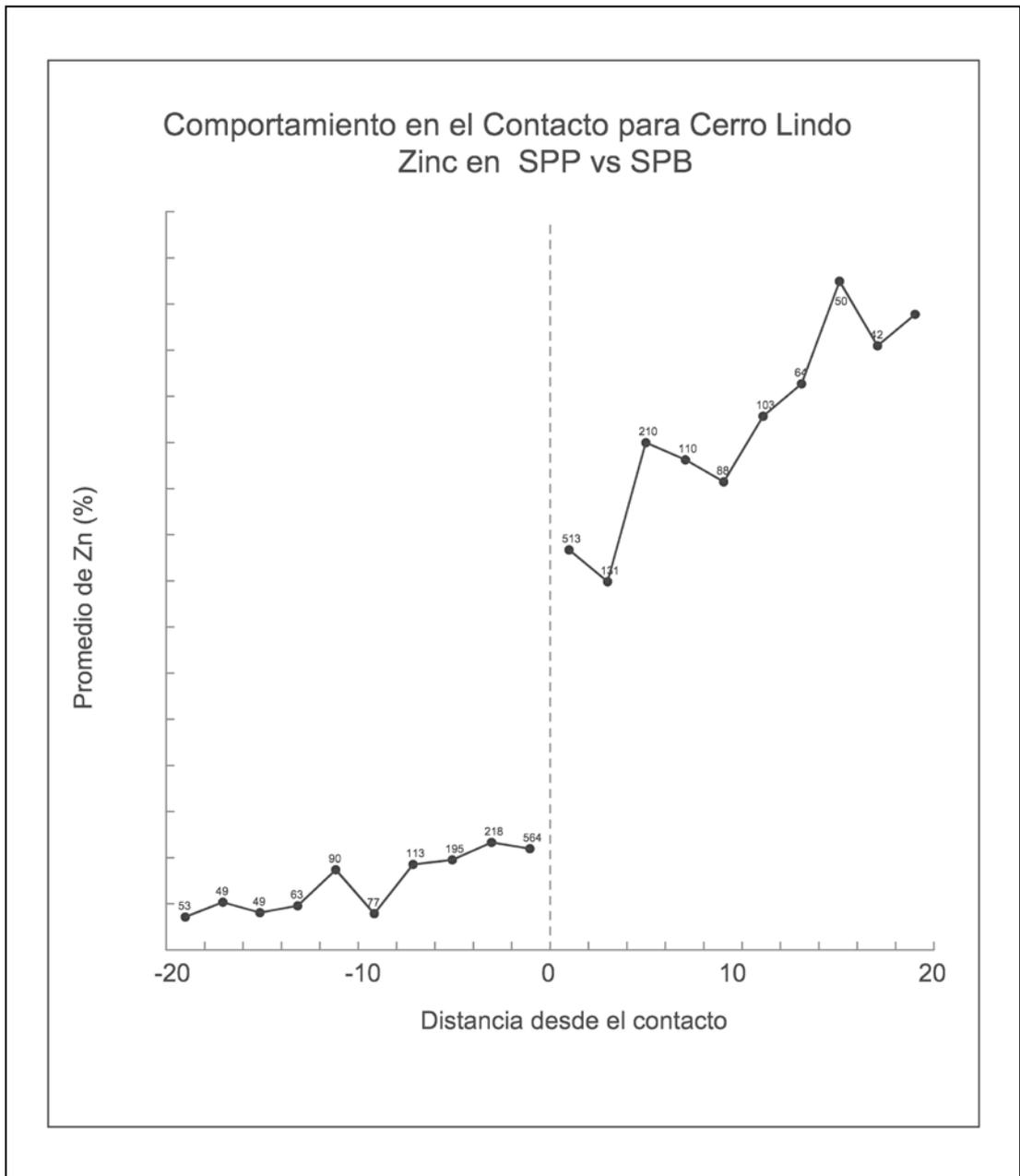


Figura 78: Comportamiento de contacto Zn en SPP vs SPB

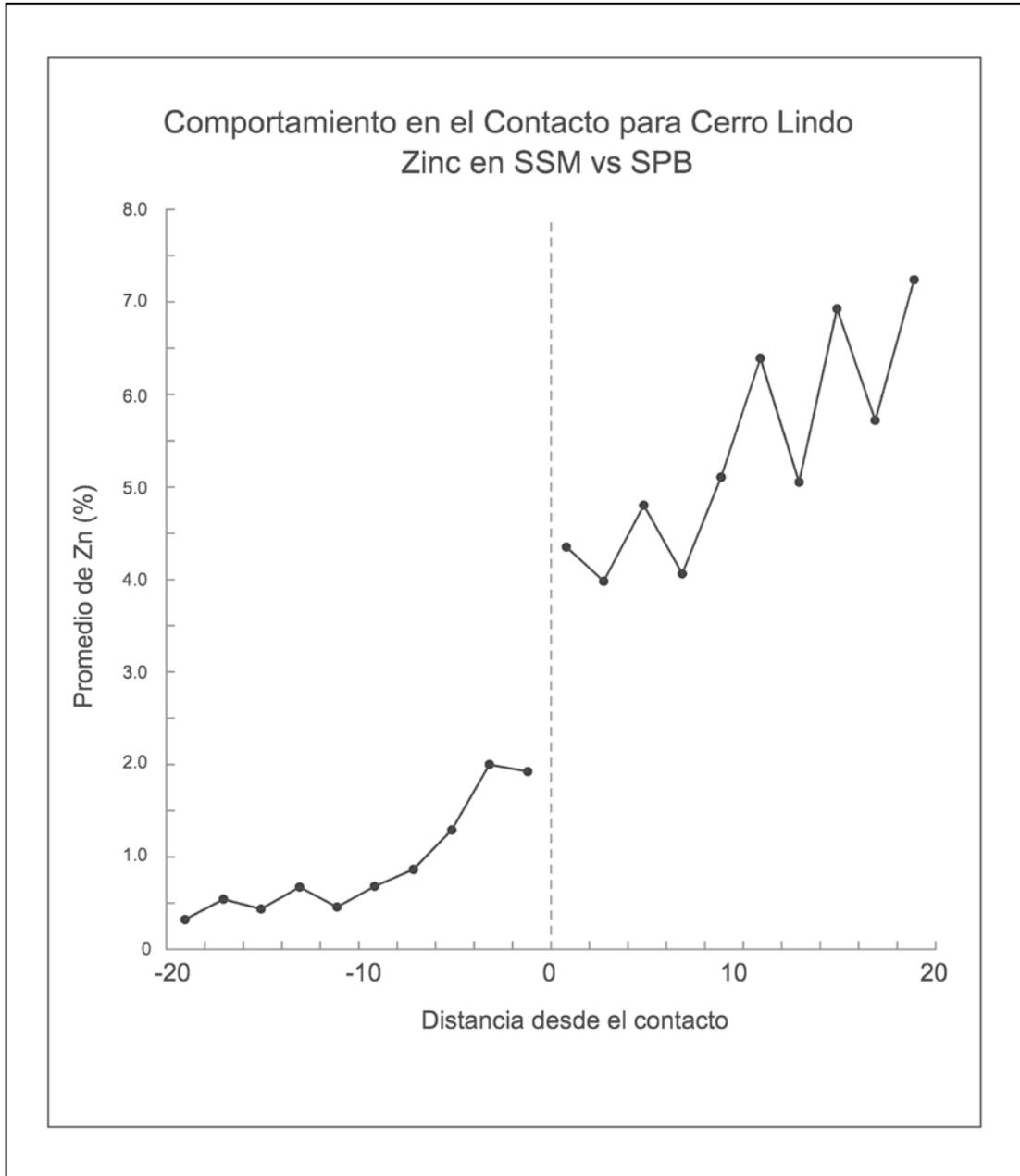


Figura 79: Comportamiento de contacto Zn en SSM vs SPB

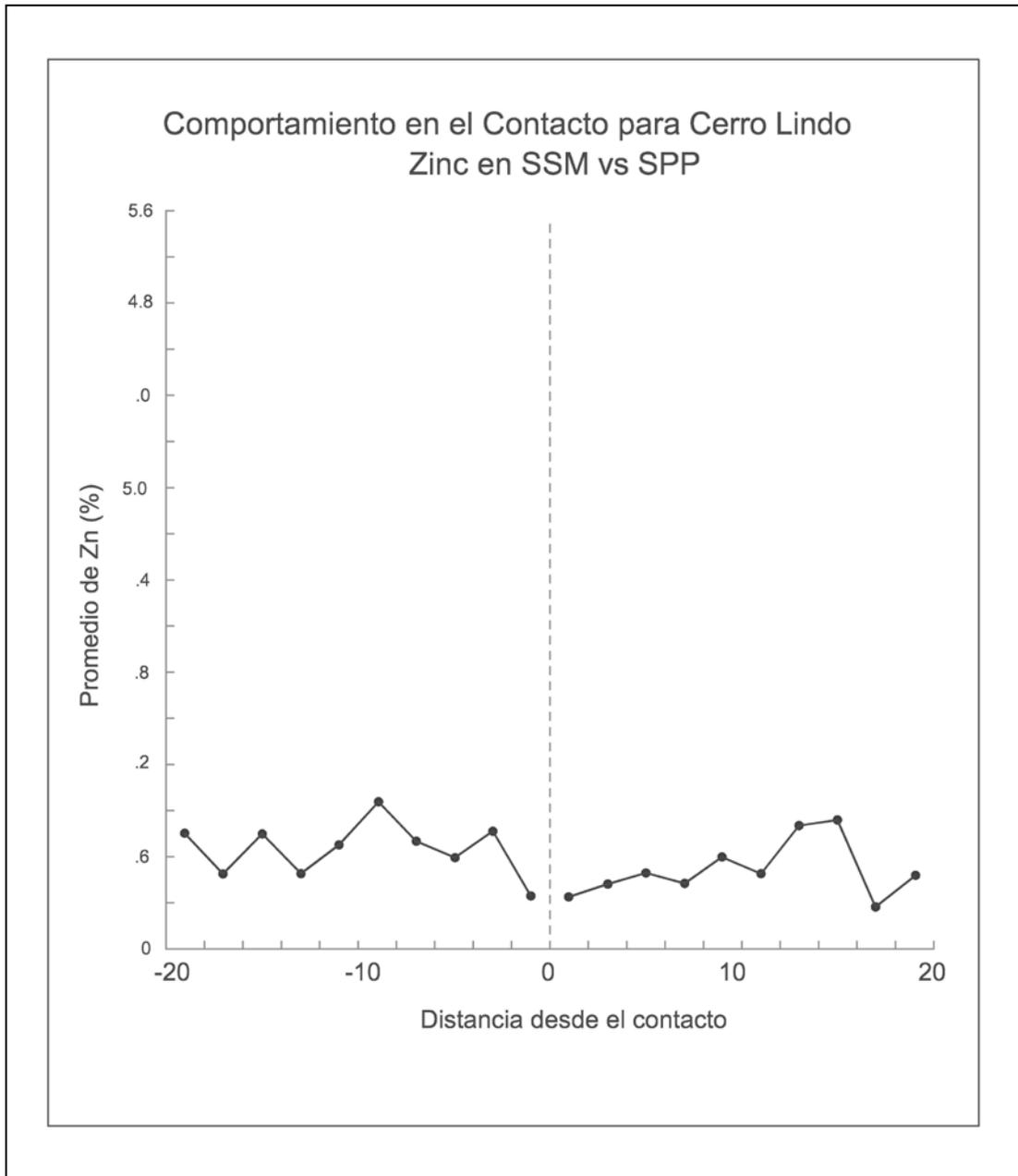


Figura 80: Comportamiento de contacto Zn en SPM vs SPP

- Zn en contacto volcánico con SPB (Figura 81): Se observa un incremento drástico en el contenido de Zn al pasar a SPB, que indica diferentes procesos y tiempo de mineralización.
- Zn en contacto volcánico con SPP (Figura 82): Se observa un incremento drástico pero no tan alto como con SPB, esto se explica por la misma razón, el SPP avanzara lateralmente para absorber los volcánicos pero cada cual tiene su contenido natural (esto pasaría incluso con los enclaves).
- Cu en contacto SPP y SPB (Figura 83): Se nota un incremento paulatino en el contenido de ambas litologías que tiene un pico cerca al contacto, aunque según se aleja del contacto el contenido de Cu en SPB disminuye más rápidamente que en SPP. Lo primero se explica porque la superficie de SPB sirve como punto de precipitación en donde preferentemente se deposita la mineralización de cobre. Como es lógico el contenido de cobre será mayor en SPP y menor en SPB dado que en la primera litología el cobre acompaña a la pirita y en la segunda el cobre reemplaza a la pirita que existe en el SPB que se deposito preferentemente por proceso de sedimentación.

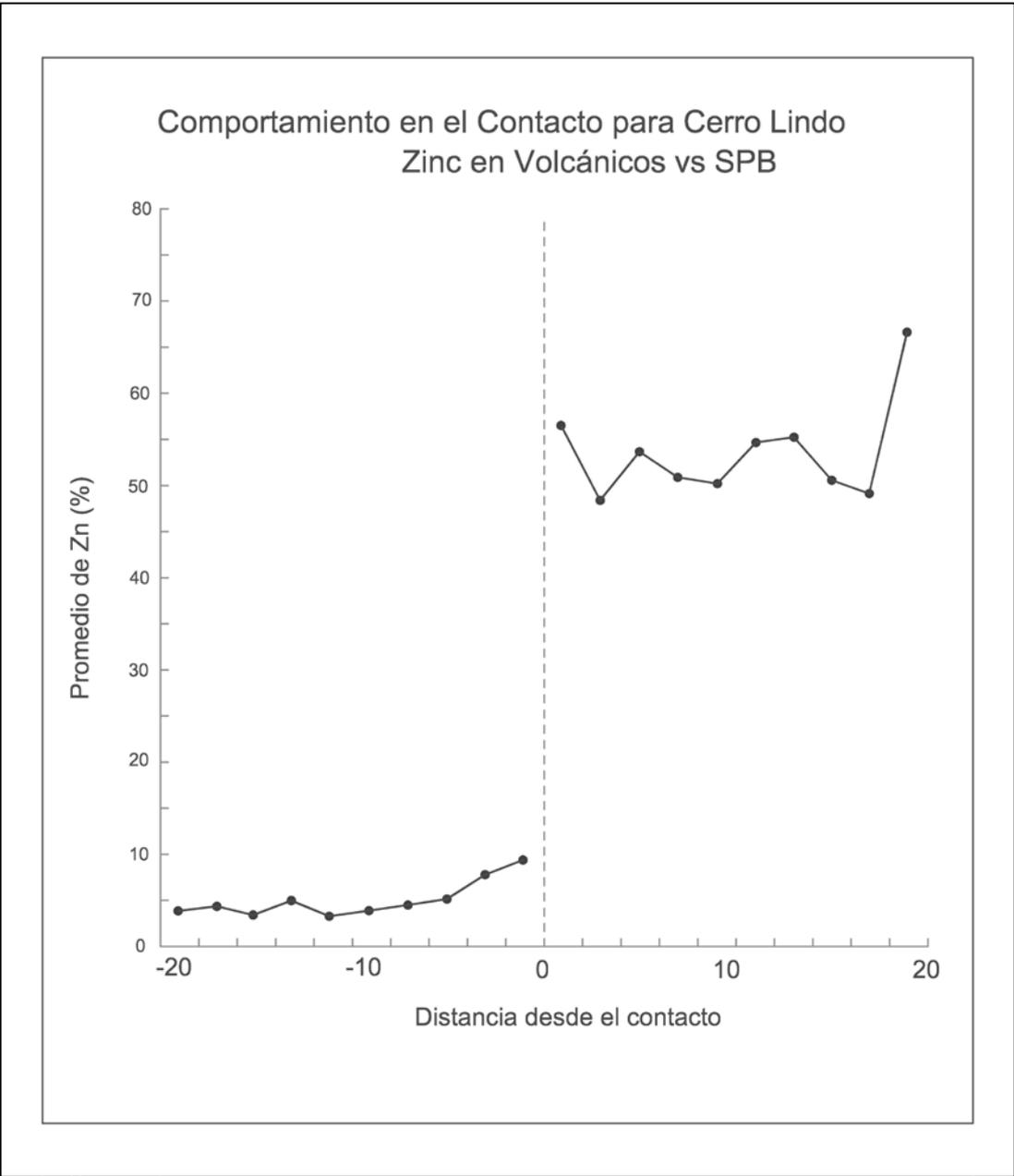


Figura 81: Comportamiento de contacto Zn en Volcánicos vs SPB

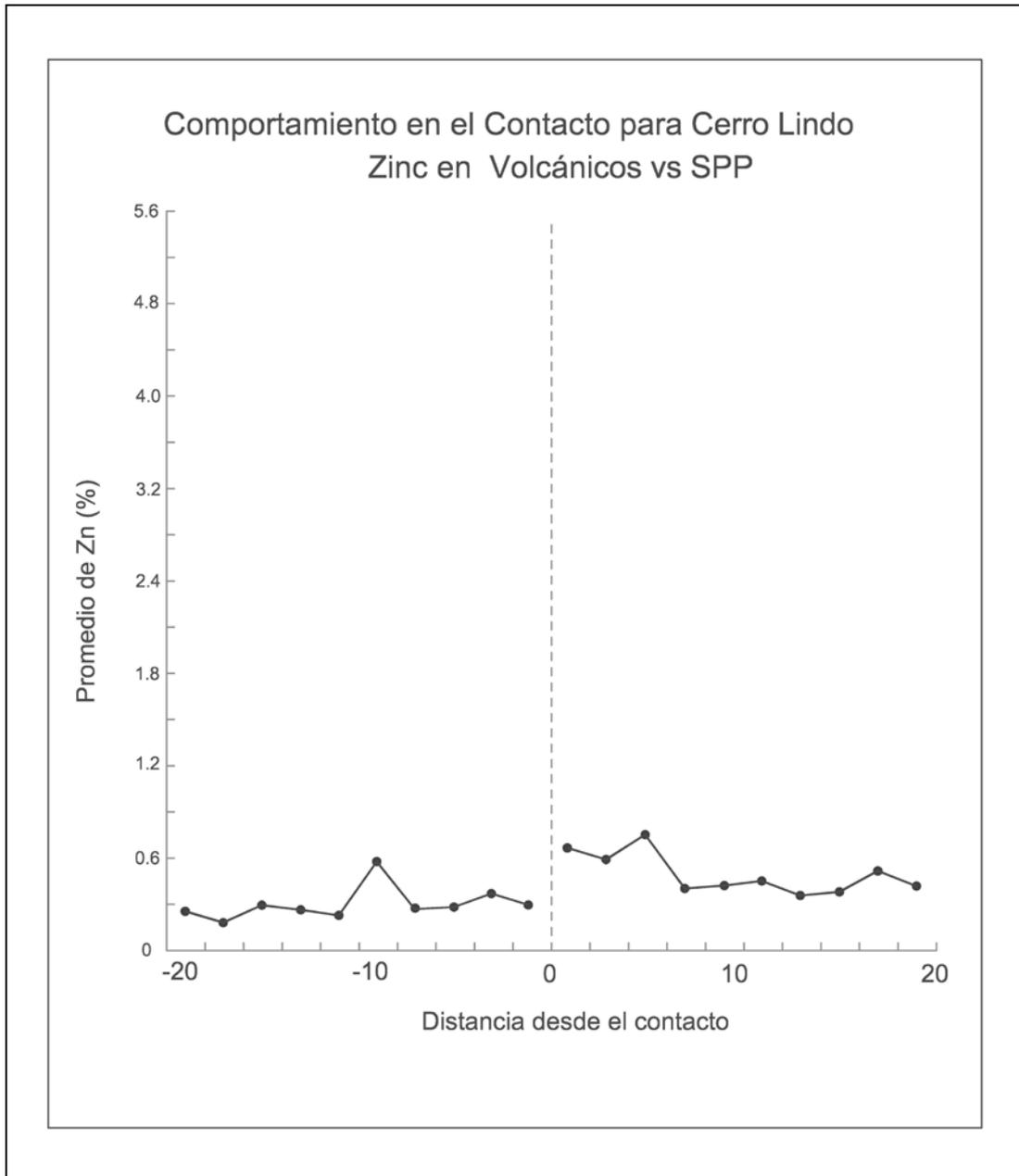


Figura 82: Comportamiento de contacto Zn en Volcánicos vs SPP

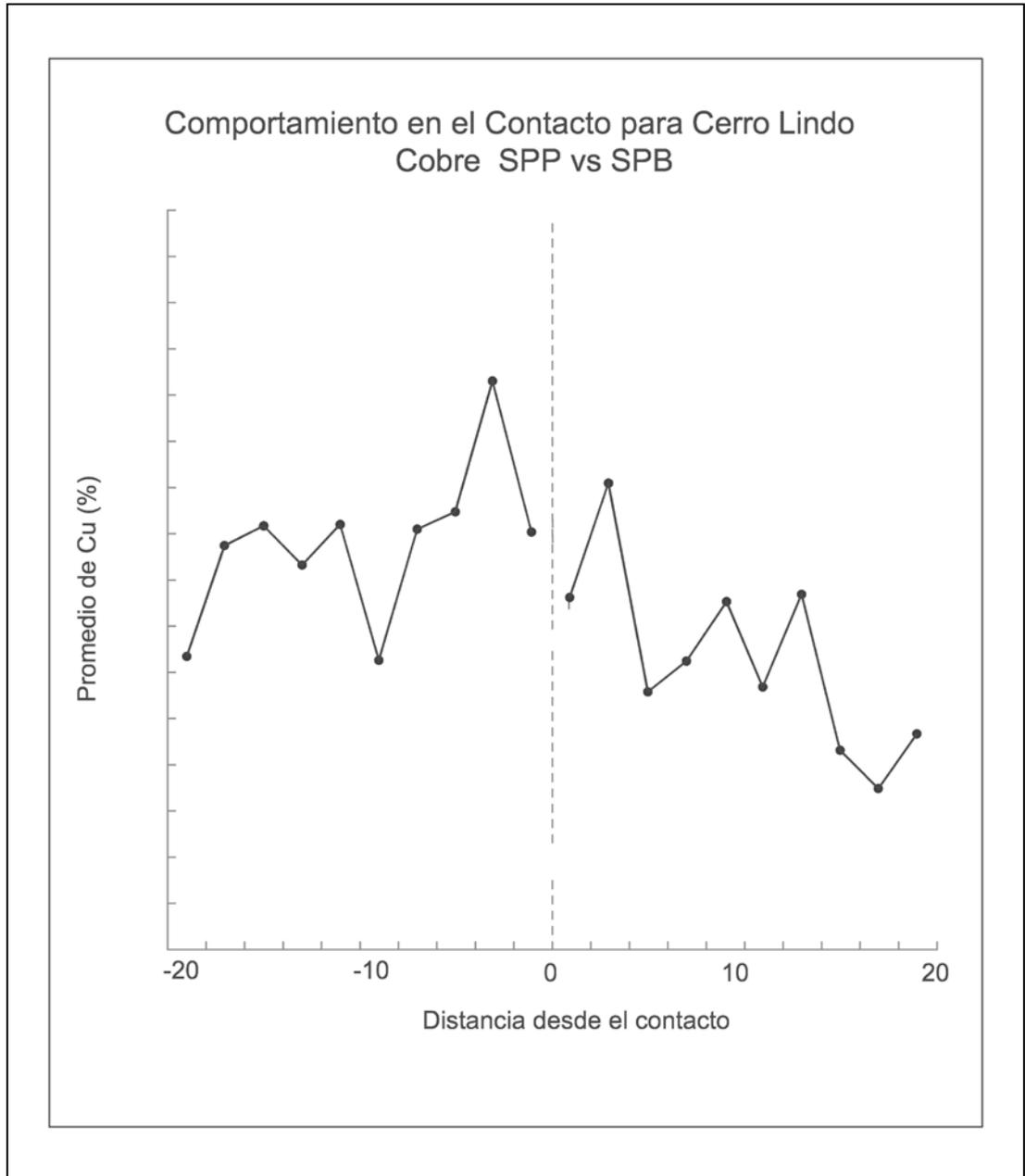


Figura 83: Comportamiento de contacto Cu en SPP vs SPB

- Cu en contacto SSM y SPB (Figura 84): El contenido es similar para ambas litologías y no sufre variación al acercarse al contacto. Esto indicaría simplemente que para ambos el proceso de deposición del cobre ha sido similar.
- Cu en contacto SSM y SPP (Figura 85): Aquí parece haber una línea continua de valores de Cu al acercarse, pasar y continuar en SPP. Esto se explica al visualizar la deposición de SPP y SSM como frente de avance de la piritización en los volcánicos, indicando también que la temperatura es el control de deposición más evidente.
- Cu en contactos volcánicos y SPB (Figura 86): en este grafico se muestra como al acercarse al contacto se incrementa para ambos el contenido de cobre aunque este contenido es más alto en SPB que en el volcánico según se aleja del contacto. Esto se explica porque el cobre toma otra vez el contacto como punto de precipitación e incluso penetra en la roca, seguramente por procesos de reemplazamiento similares a lo observado en las rocas circundantes.
- Cu en contacto volcánico con SPP (Figura 87): El comportamiento es similar al anterior, solo que existe un salto en el contacto. Esto se explica de manera similar al caso anterior, solo que en este caso el nivel o contenido de SPP es mayor que el de SPB.

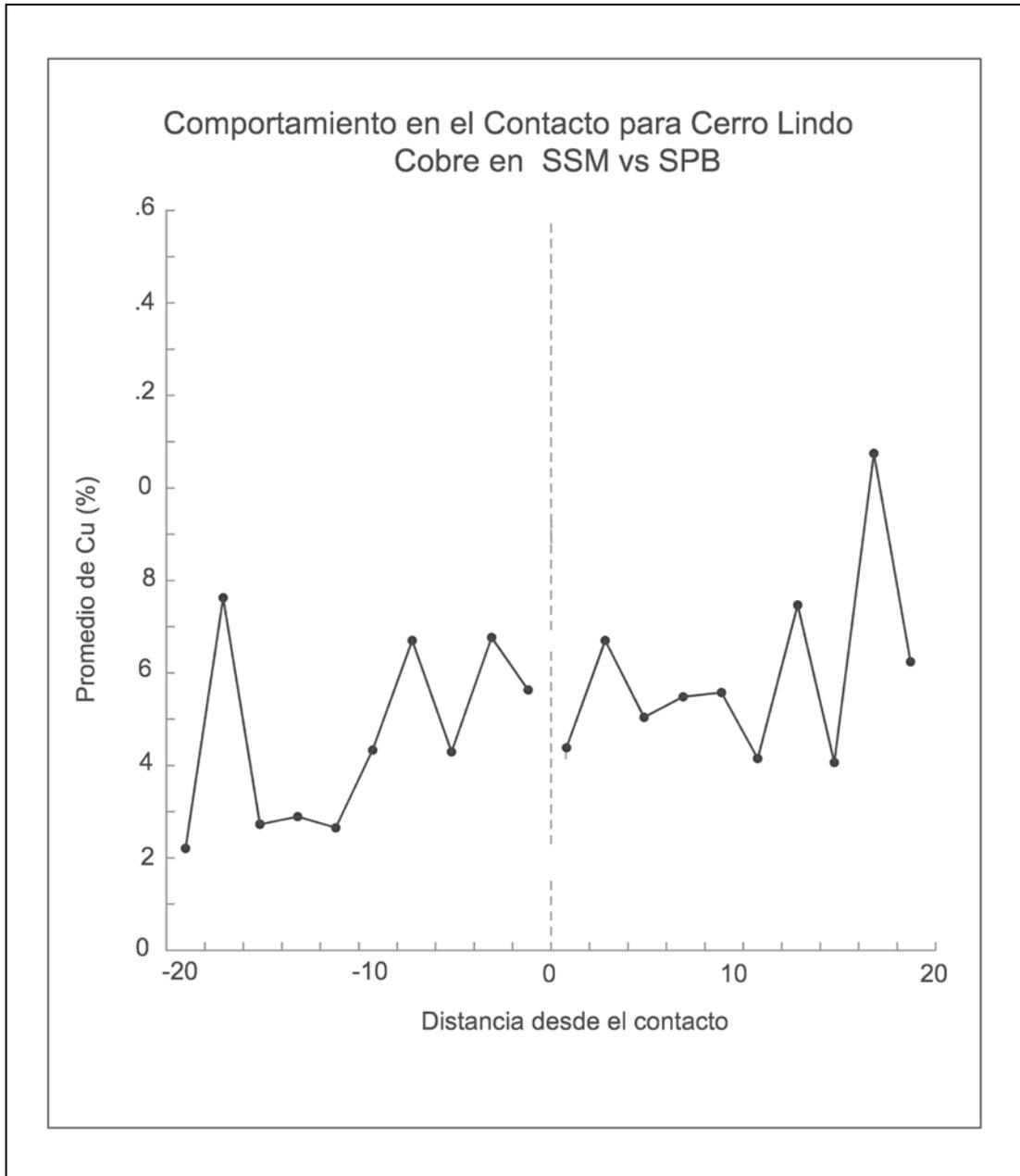


Figura 84: Comportamiento de contacto Cu en SSM vs SPB

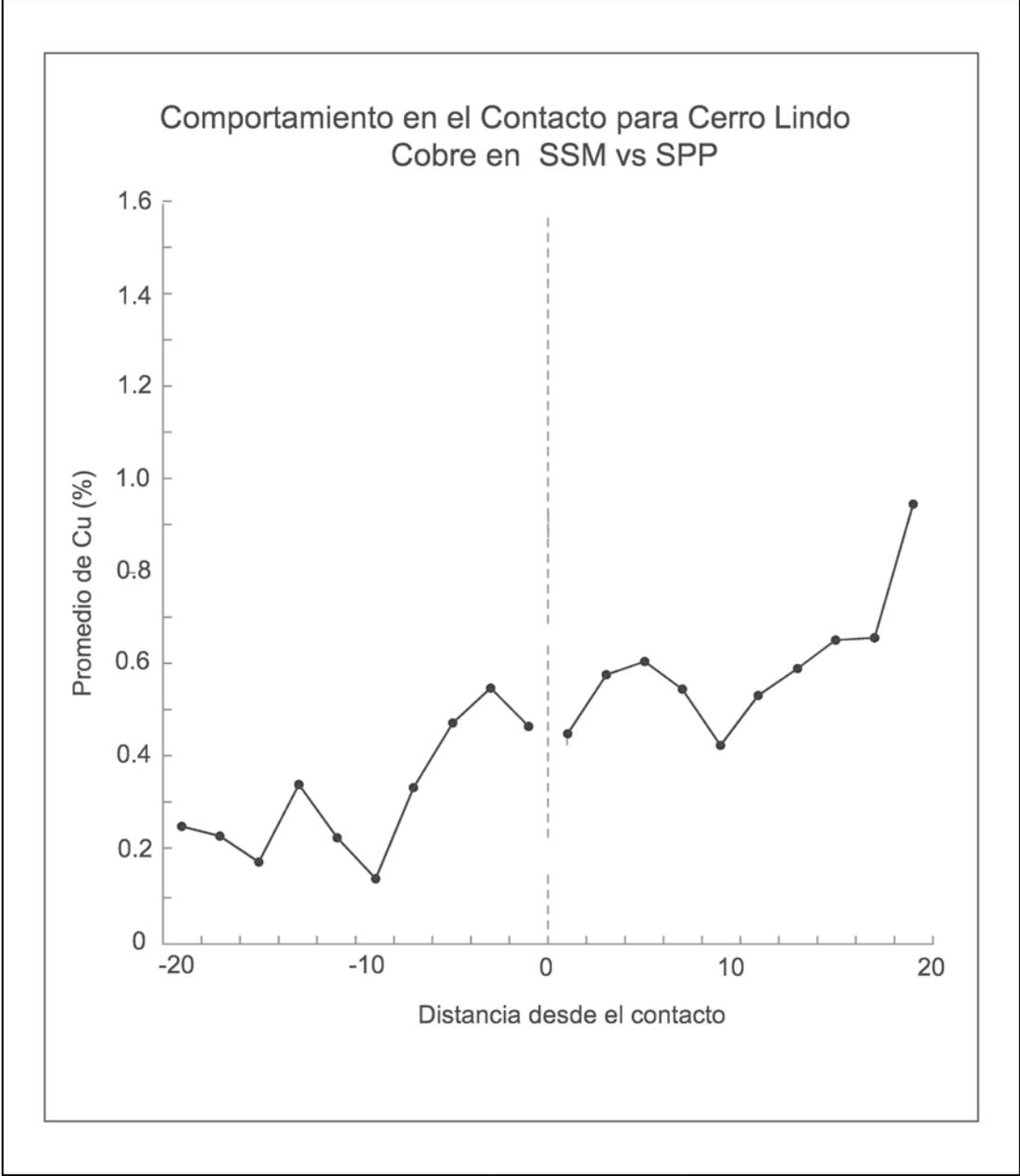


Figura 85: Comportamiento de contacto Cu en SSM vs SPP

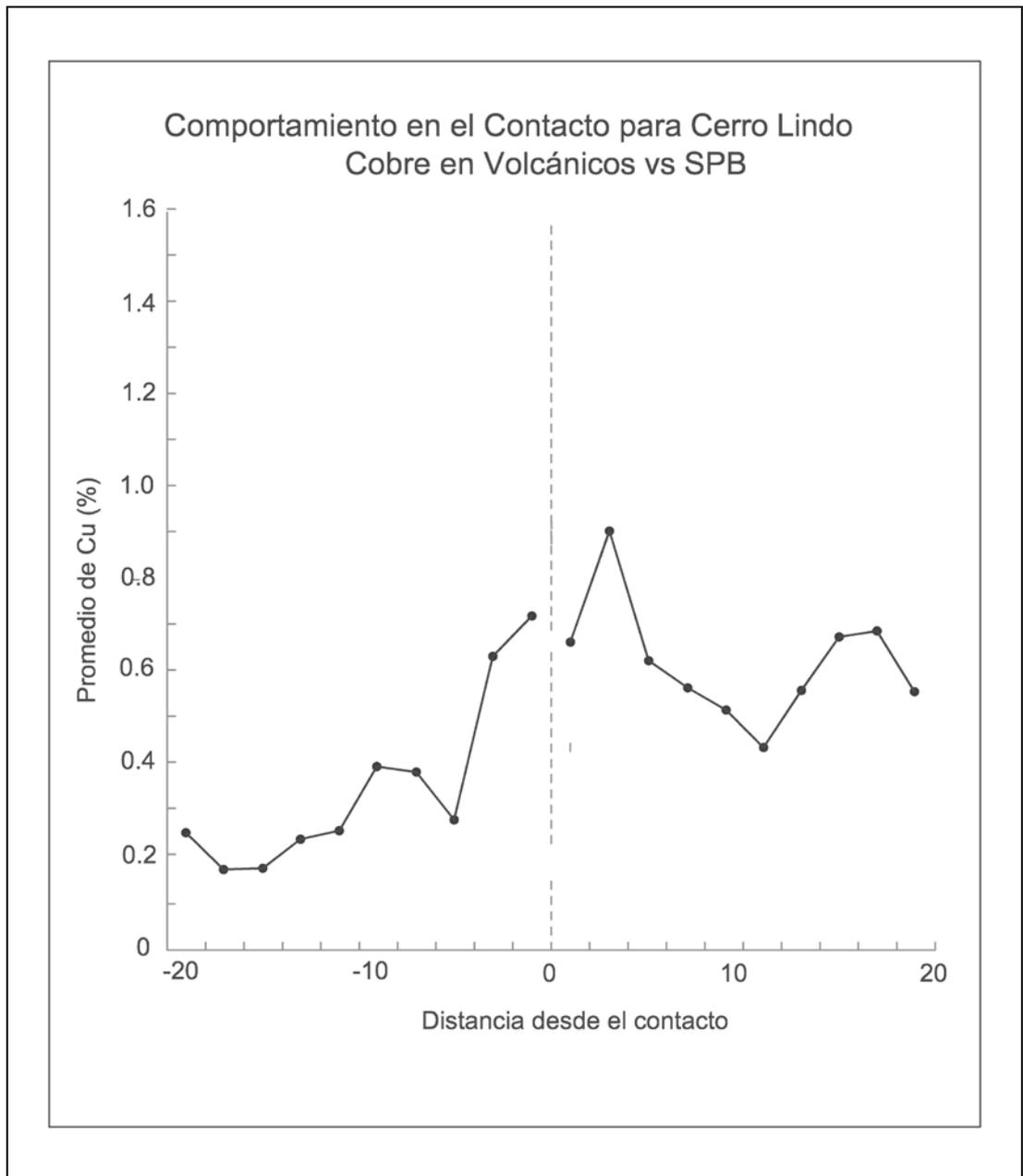


Figura 86: Comportamiento de contacto Cu en Volcánicos vs SPB

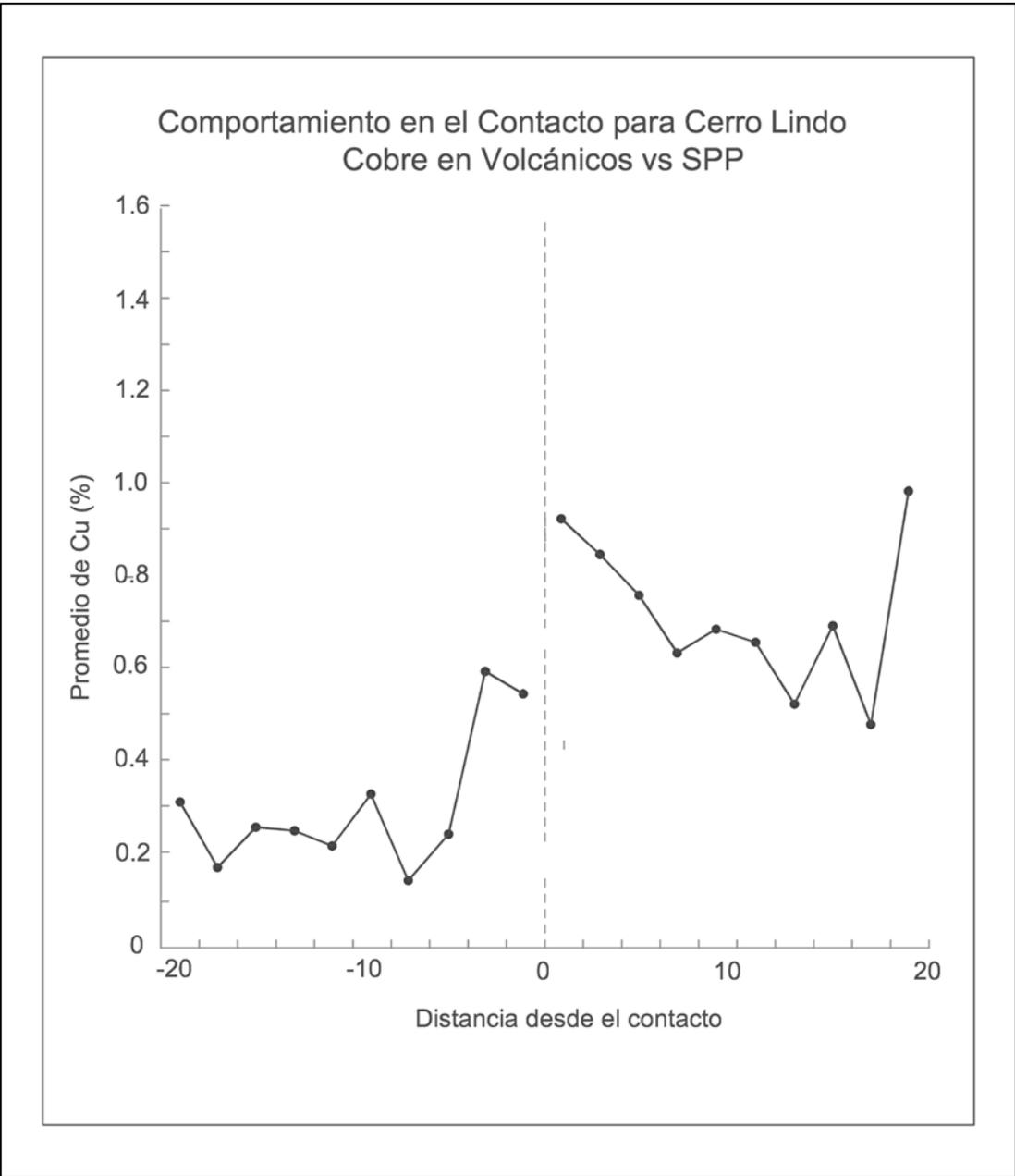


Figura 87: Comportamiento de contacto Cu en Volcánicos vs SPP

9.2. Estudio de Secciones Pulidas (Minerografía)

Un problema reconocido durante las etapas iniciales de exploración fue el emplazamiento errático de la calcopirita (fuente de Cu para este depósito) la idea inicial fue que habría precipitado en las fracturas, fallas y zonas permeables, controlada principalmente por la temperatura (tramos con alto Cu presentan bajo Zn y viceversa). Después de las diferentes fases de exploración se puede constatar que si bien es cierto existe la erraticidad hay una preferencia a depositarse cerca (a ambos lados) o en el contacto con de las unidades SPP y SPB, y rodeando los enclaves y unidades volcánicas (que se comportan como enclaves si uno lo mira globalmente).

A fin de entender la precipitación de la calcopirita se realizó el estudio minerográfico de 5 muestras de los cuerpos de sulfuros masivos (2 muestras provenientes de tramos de SPP y 2 muestras provenientes de tramos SPB) y 01 muestra de un tramo SPP con abundante pirrotita que corta la caja techo (HW).

Las observaciones de mayor importancia son las siguientes (Fotos 18 a 24):

- Pirita, esfalerita y eventualmente ganga (barita) serían los minerales que precipitaron inicialmente.
- La pirita tiene tendencia y preferencia a fracturarse y ser remplazada por calcopirita.

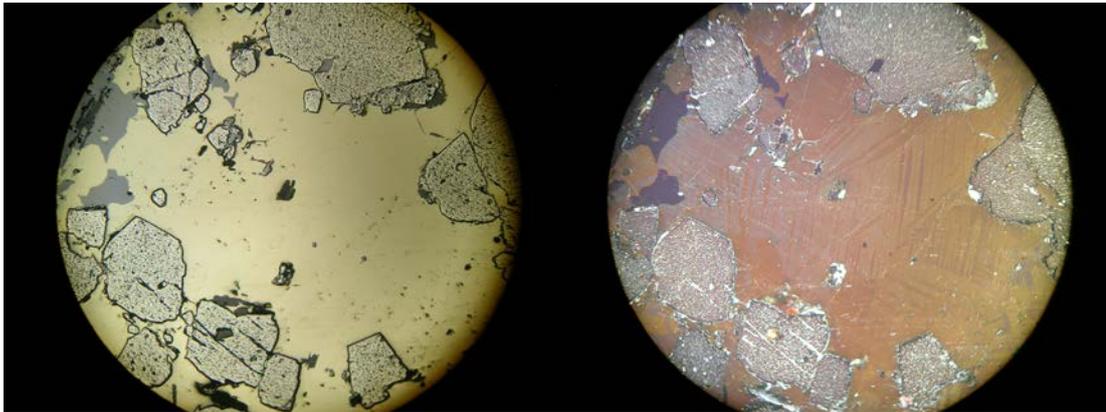


Foto 18: Calcopirita reemplazando a pirita en SPP
Se observa la macla característica de alta temperatura (10X).

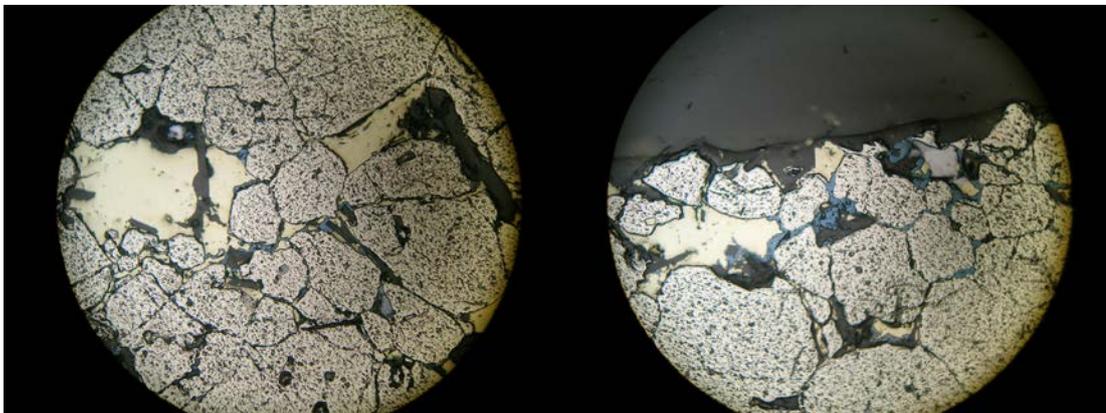


Foto 19: SPP con relleno de calcopirita
En los espacios intergranulares con desarrollo de calcosita (20X).

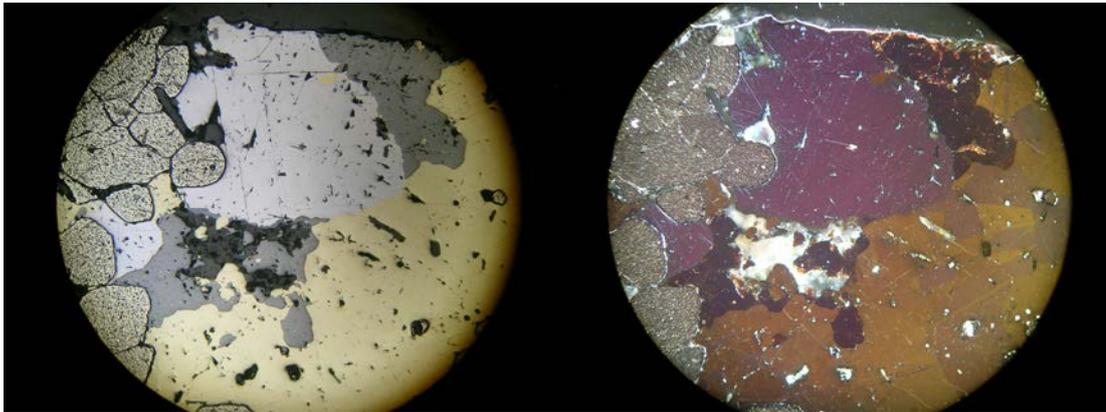


Foto 20: Calcopirita-esfalerita-galena-pirita

Se observa exholuciones de calcopirita en esfalerita y maclas en calcopirita en nicoles cruzados (10X)

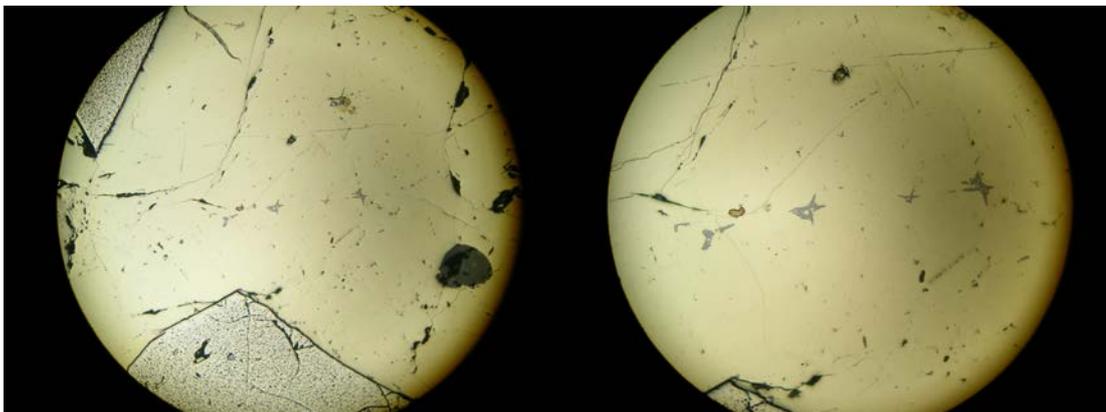


Foto 21: Exsoluciones en estrella en calcopirita

Típico de precipitación a altas temperaturas (10X, 20X)

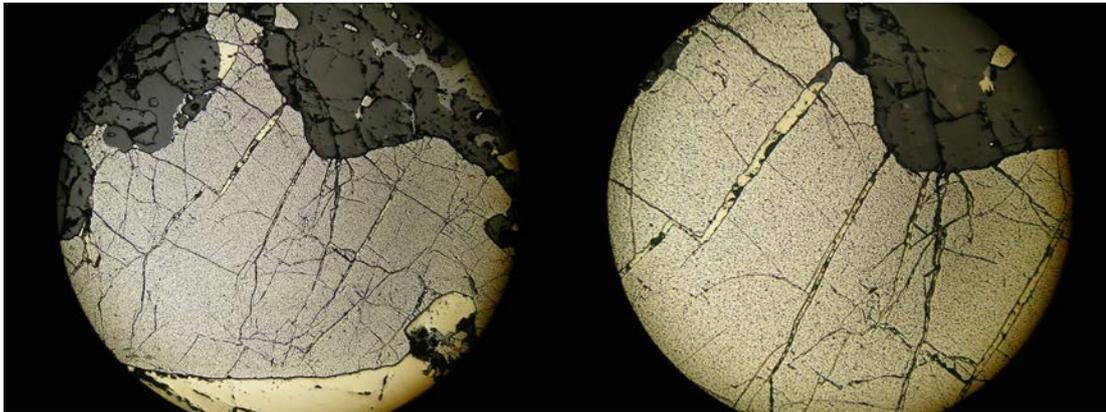


Foto 22: Pirita con fracturas (tectonismo) rellenas de calcopirita

La ganga (baritina) de color gris oscuro se preserva mejor que la pirita.

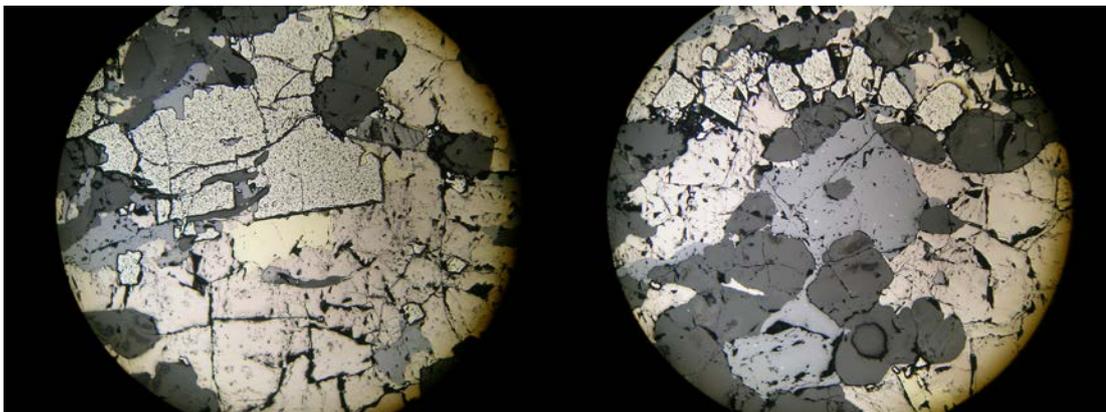


Foto 23: Pirrotita como playas reemplazando a pirita-ganga (barita)
Con presencia de calcopirita y esfalerita con inclusiones de calcopirita (alta temperatura).

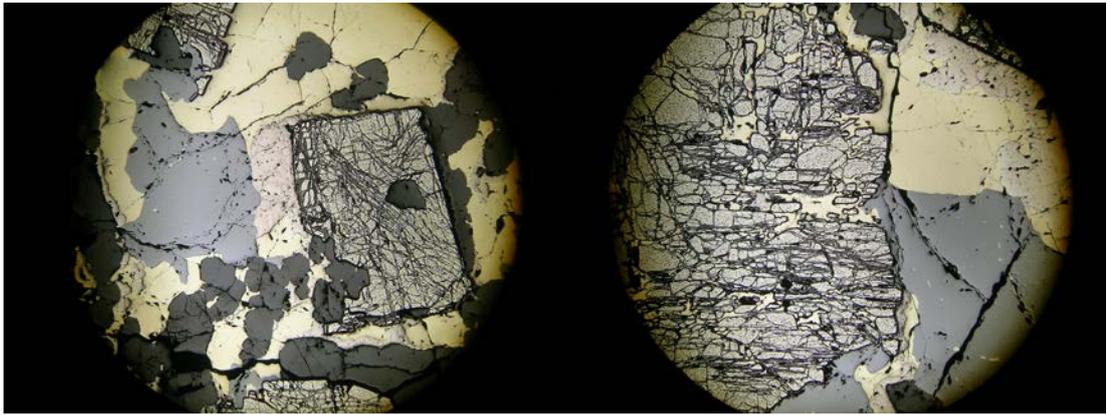


Foto 24: Fuerte fracturamiento en la pirita con relleno de calcopirita

Acompañado de esfalerita con inclusiones de calcopirita y pirrotita. La ganga (barita) muestra mayor tendencia a preservarse y no fracturarse.

- La calcopirita penetra en los intersticios y fracturas de los minerales originales, remplazándolas. Se reconoce el reemplazamiento de la pirita en SPP (donde incluso solo se encuentran relictos de pirita), mientras que en SPB la calcopirita se encuentra rellenando fracturas principalmente; aunque estos resultados pueden ser solamente características de las muestras estudiadas y no explican el porque hay cierta predominancia de calcopirita en el contacto SPB-SPP.
- En la muestra de SPP en la caja techo (HW) si existen relictos de pirita y ganga (barita) siendo embebidos y/o remplazados por calcopirita y pirrotita. Lo evidente es que la pirrotita remplaza a la barita.
- Existen piritas con inclusiones sólidas de calcopirita (que puede estar acompañada de esfalerita) e inclusiones de marcasita. Determinando una alta y baja temperatura para cada caso.
- Se ha reconocido la deposición de galena, posterior a la deposición de calcopirita, rellenando fracturas y espacios vacíos. Seria efecto de la removilización a menor temperatura.
- Se ha reconocido 2 etapas o hasta 3 etapas de fracturamiento que permitió el relleno final de gangas.
- Adicionalmente se ha reconocido la presencia de arsenopirita idiomórfica, aunque los contenidos obtenidos no significan ningún problema para el tratamiento metalúrgico.

No es posible concluir de manera directa algo que ayude a explicar la tendencia de la concentración de calcopirita en el contacto SPB y SPP, pero de manera indirecta se puede concluir:

- Existe una baja tendencia a reemplazar la baritina por la calcopirita a altas temperaturas. Se ha visto que la pirrotita (alta temperatura) reemplaza de manera certera a la baritina en la muestra de SPP con abundante pirrotita tomada del Hanging Wall.
- En SPP se ha reconocido claramente, además del relleno de intersticios y fracturas, el reemplazamiento de la pirita por calcopirita hasta tenerla como relictos, mientras que en las muestras de SPB la calcopirita solo ocupa espacios intersticiales y fracturas, sin haber reconocido el reemplazamiento de la baritina. Este hecho puede ser puntual, pero demuestra la poca tendencia de reemplazamiento de la barita a esta temperatura.
- Por otro lado, se ha reconocido, a nivel microscópico, la presencia o persistencia de la baritina en zonas con alta ley de cobre.

La conclusión final sería que, al igual que los enclaves y volcánicos, los horizontes de SPB sirven como “puntos de deposición” por la escasa tendencia al reemplazamiento de la baritina. Sin embargo como parte de la evolución de los sulfuros masivos la calcopirita penetra de todas maneras reemplazando a la pirita, generando hacia ambos lados del contacto incremento en el contenido de calcopirita.

Es importante notar que los cristales idiomorfos de pirita, baritina, esfalerita y galena obedecen a procesos de crecimiento por metamorfismo, que el fracturamiento de cristales (principalmente pirita) muestra los esfuerzos tectónicos que sufrió el yacimiento, y que la concentración de calcopirita y marmatita en intersticios y/o como playas de reemplazamiento demuestran la removilización y/o reconcentración de los minerales.

CAPITULO X - HISTORIA GEOLOGÍA DEL YACIMIENTO

En Cerro Lindo se ha identificado hasta 6 edificios de sulfuros masivos, precipitados uno a partir del otro y los recientes valiéndose de los anteriores para su desarrollo (destruyéndolos). Para describir la historia de estos edificios solo tomaremos en cuenta los 4 edificios más antiguos por sus dimensiones e importancia económica; los 2 últimos edificios no cumplen con estas características.

Eldridge et al. (1983) define que la historia deposicional de los depósitos VMS tipo Kuroko pueden dividirse en cinco facies, las cuales pueden tener lugar casi contemporáneamente pero en diferentes lugares dentro del edificio de sulfuros:

- La precipitación de la facies 1 (mena negra) las cuales son de grano fino (menos de 50 μm) y a menudo coloformes: esfalerita, galena, pirita, tetraedrita, barita y en menor cantidad calcopirita y cuarzo donde se produce la mezcla de fluidos hidrotermales calientes con el agua fría marina (sobre o cerca del fondo marino).
- Resolución de los minerales de la facies 1 por fluidos hidrotermales calientes resultando en la formación de minerales de grano más grueso de la facies 2 en los lugares inferiores y la reprecipitación de minerales de la facies 1 en las partes externas de los cuerpos en crecimiento.

- Introducción de soluciones hidrotermales calientes ricas en cobre dentro de la pila de sulfuros, resultando en el reemplazamiento de los sulfuros de la facies 2 por calcopirita de facies 3 (se forma la mena amarilla) en los sectores inferiores y la migración de la facies 2 y facies 1 hacia sectores más externos.
- Introducción de fluidos calientes (y subsaturados con calcopirita) dentro de la pila de sulfuros, resultando en la disolución de calcopirita y la formación de cuerpos de pirita en las partes más inferiores de la pila de sulfuros y la migración de cuerpos de calcopirita, facie2 y facie1 hacia arriba y hacia fuera dentro de la pila de sulfuros.
- Precipitación de chert-hematita (tetsusekei) en el tope de los sulfuros masivos.

La existencia de estas facies asociadas a texturas y estructuras se ha confirmado en Cerro Lindo, determinándose la existencia de todas las facies, aunque la zona de chert no ha tenido gran extensión.

Para explicar el desarrollo histórico de la deposición de los cuerpos en Cerro Lindo se ha preparado el desarrollo en una sección longitudinal que permitirá ver la evolución de los cuerpos con relación entre los Bloques Estructurales 2 y 5 (Figuras 88a y 88b), que finalmente representa la dinámica de deposición en el yacimiento.

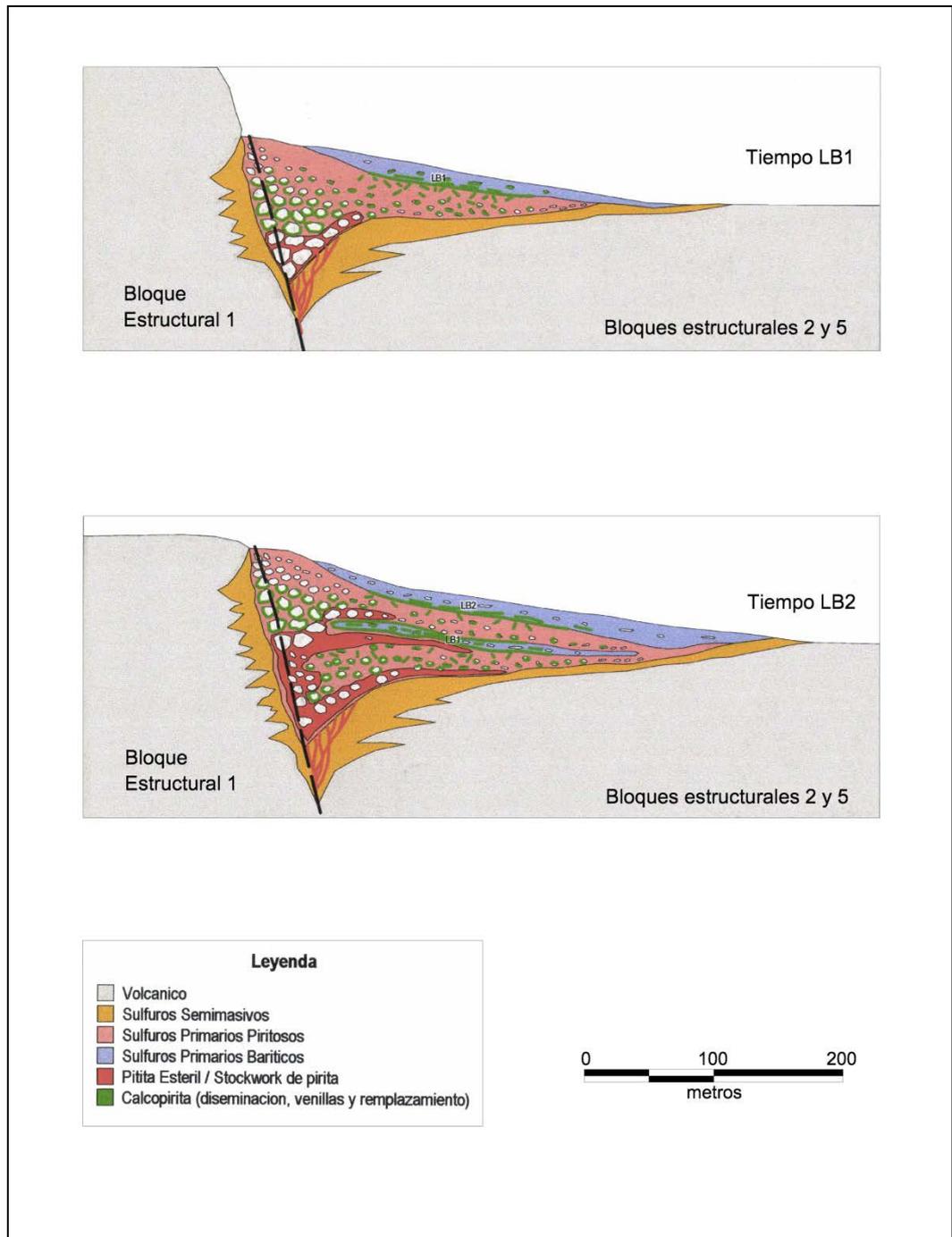


Figura 88a: Historia Geológica de los Sulfuros Masivos LB1 y LB2

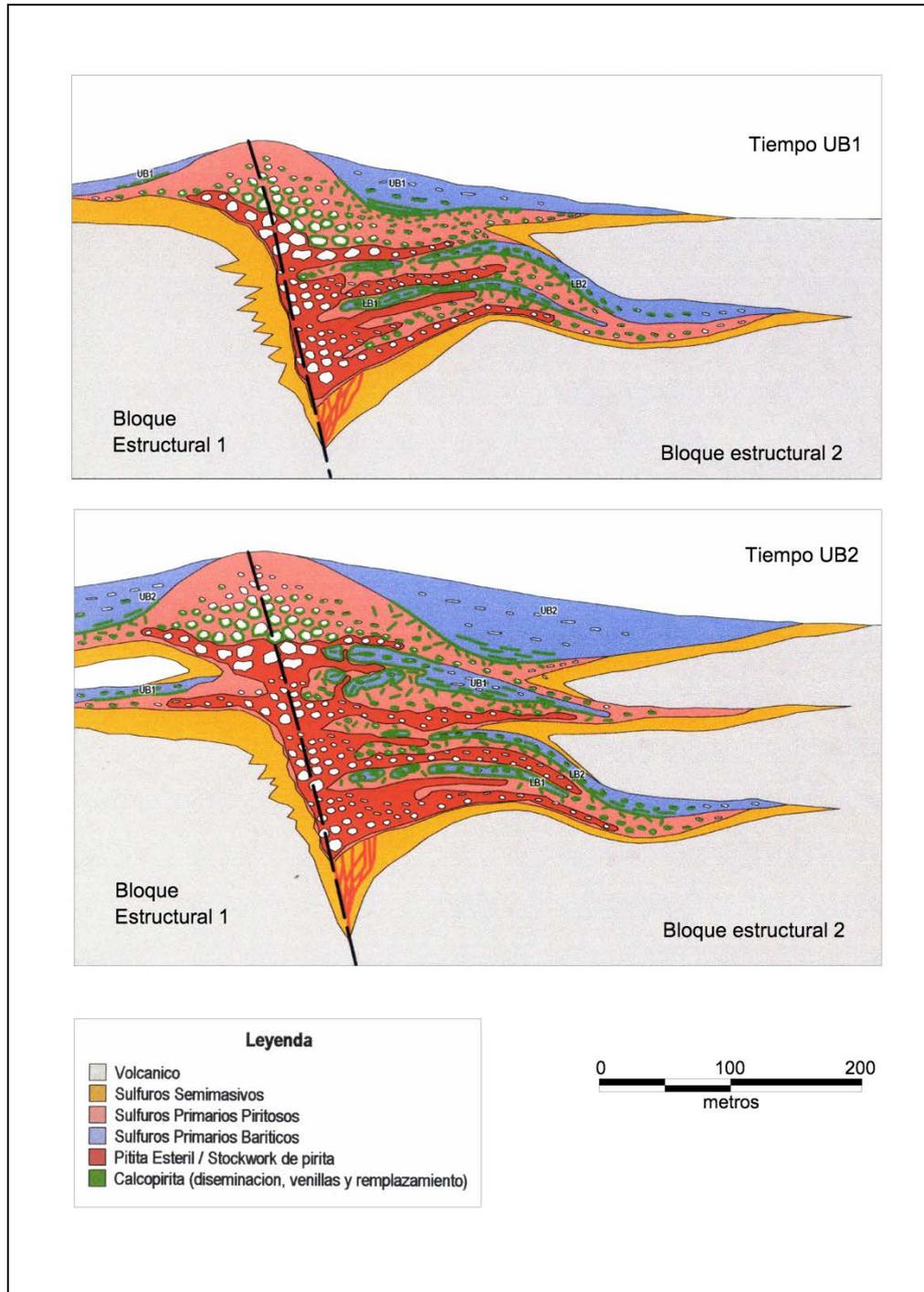


Figura 89: Historia Geológica de los Sulfuros Masivos UB1 y UB2

Se define que un edificio de sulfuros masivos estará constituido (de arriba abajo) por una unidad SPB, una unidad SPP y una unidad SSM. Los posteriores edificios se irán depositando sobre la anterior y así sucesivamente.

10.1 Tiempo BI1

- La historia del depósito inicia con el desarrollo de una falla sinsedimentaria de alto ángulo (Falla 35) que delimita una zona topográfica negativa (Bloque Estructural 2 y 5) y una zona topográfica positiva (Bloque Estructural 1).
- Los fluidos hidrotermales ingresan por la Falla 35 y comienza la acumulación de SPB en el fondo marino ocasionado por la precipitación de fluidos hidrotermales expelidos hacia el fondo marino que reaccionan con el agua marina, determinándose cuencas o taludes de deposición donde se acumula esta unidad, en este caso el paleorelieve permitió el desarrollo prácticamente uniforme de esta unidad hasta unos 300 metros.
- En los niveles inferiores se produce la difusión o piritización de los volcánicos determinándose la predominancia del avance lateral de la piritización determinando un zonamiento determinado por el contenido de pirita (SPP, SSM y HW piritizado).

- En el sector central por encima de la falla 35, se forma un fracturamiento progresivo que poco a poco va absorbiendo los fragmentos de roca ocasionado por el crecimiento y engrosamiento de las venas de sulfuros piritosos, determinándose las brechas de crecimiento producto de la destrucción sucesiva de los aparatos volcánicos para continuar con la acumulación de sulfuros. Se nota el incremento de la cantidad de bloque o enclaves cerca de la falla 35.
- Como parte de este proceso de crecimiento se determinaron las brechas slump, que dado el grado de metamorfismo en Cerro Lindo no han podido ser determinados con certeza, aunque parte de la brecha determinada como de crecimiento debe tratarse a esta ocurrencia.
- Conjuntamente con la pirita ingresa la calcopirita que precipita a altas temperaturas utilizando fracturas y espacios vacíos intergranulares, reemplazando en grado variable a la pirita y determinando la removilización a zonas de menor temperatura o la absorción de zinc que finalmente precipita con la calcopirita con mayor contenido de fierro (marmatita).
- Se define la existencia de enclaves dentro de los sulfuros masivos, como bloques caídos o unidades estratigráficas englobadas.

10.2 Tiempo BI2

- Durante este tiempo el Bloque estructural 1 continua positivo y los Bloques Estructurales 2 y 5 continúan negativos.
- Al parecer hubo una etapa de vulcanismo que habría preservado (total o parcialmente) los sulfuros del tiempo BI1.
- Se inicia la deposición del edificio BI2 por encima del edificio BI1 y se tiene las mismas características o mecanismos de deposición mencionados para el edificio BI1 que no volverán a mencionarse.
- Al parecer el emplazamiento del edificio BI2 no afecta demasiado al edificio BI1 en el Cuerpo 5, pero si habría influenciado (al menos parcialmente) al Cuerpo2; esto puede ser ocasionado por una mayor existencia de fallas transversales o otras fallas conectadas con la Falla 35 (conducto de fluidos hidrotermales) causando un incremento en la piritización y el reemplazamiento de unidades SPB, que a veces se muestra como bloques o fragmentos relícticos dentro de unidades piritosas.

10.3 Tiempo BS1

- Durante la evolución del edificio BS1, El Bloque Estructural 5 habría permanecido positivo o habría tenido aporte predominante de volcánicos sin sulfuros y los Bloques 1 y 2 serian negativos determinando la precipitación o emplazamiento de los Cuerpos 2 y 1.

También es posible que los fluidos hidrotermales, por alguna razón estructural, solo tuvieron actividad en el Sector del Bloque 2.

- Para este tiempo si se verificó la precipitación de unidades volcánicas antes de la deposición del edificio de sulfuros masivos; incluso se cortaron rezagos correlacionables que gradualmente adquieren mayor potencia al alejarse de la Falla 35.
- El mecanismo de deposición en el edificio BS1 es similar al mecanismo de las unidades anteriores y no necesita ser repetido.
- Este edificio afecta a los edificios anteriores incrementando la pirita y calcopirita y removilizando la esfalerita. En los edificios BI1 y BI2 en el tiempo BS1 debe haber habido mayor temperatura por lo que seguramente se ha determinado la existencia de pirrotita y magnetita.

10.4 Tiempo BS2

- En este tiempo los Bloques Estructurales 1 y 2 continúan negativos y el Bloque Estructural 5 es positivo o solo tiene aporte de unidades volcánicas.
- También se determina la existencia de unidades volcánicas antes de la deposición de sulfuros masivos.
- Los mecanismos de deposición dentro del edificio de sulfuros BS2 son los mismos que los determinados para BI1 y no es necesario repetirlos.

- Este nuevo edificio afecta negativamente a los edificios anteriores, debido a que en los niveles BS1, BI2 y BI1 hay mayor temperatura y se depositara calcopirita, pirrotita, magnetita y en mayor cantidad pirita con la consecuente removilización de la esfalerita que muestra buena persistencia (fácil de delimitar y minar) a diferencia de la presencia de calcopirita que no presenta por sí misma una concentración persistente que permitiría su minado.
- Al parecer en este tiempo si llega a extenderse un horizonte de SSM hasta el bloque Estructural 5, cuya extensión se conoce hasta la Sección 10800N.

10.5 Emplazamiento de la Super Unidad Incahuasi

Después de la deposición y emplazamiento de sulfuros masivos continua la precipitación de unidades sedimentarias detríticas y calcáreas. Durante la fase Peruana del la Evolución de los Andes se produce el emplazamiento de la Unidad Incahuasi del Batolito de la Costa.

Esta fase se manifiesta en Cerro Lindo por el plegamiento de la secuencia vulcano sedimentaria y el metamorfismo de las rocas encajonantes y de los sulfuros masivos. Las rocas volcánicas se convierten en hornfels de asociación sílica-muscovita-biotita-(andalucita) con texturas porfidoblásticas de diferentes coloraciones.

Los sulfuros masivos recristalizan, resultando la precipitación de cristales más grandes que tendrá gran impacto en el grado de liberación de los elementos económicos durante el proceso de recuperación metalúrgica.

También durante esta fase se habrían formado las venas pegmatíticas por exholución de los minerales de sulfuros masivos (galena predominantemente, acompañado de esfalerita y calcopirita) y exholución de las rocas encajonantes (sílica y muscovita). Definitivamente, la roca encajonante habría aportado la sílica y muscovita porque los sulfuros masivos carecen de los elementos que conforman estos minerales. Se ha podido reconocer venas de sílica-muscovita en otros lugares más cercanos al contacto con el intrusivo, pero sin sulfuros.

Por otro lado, se ha reconocido a nivel macroscópico y microscópico la presencia de galena intergranular o en fracturas en SPB e incluso en SPP (estudio de secciones pulidas); esto solo puede explicarse como removilización posterior a la deposición de los sulfuros masivos y deben ser contemporáneos con las venas de cuarzo-galena-esfalerita-calcopirita.

Al final del emplazamiento de la Super Unidad Incahuasi se tiene los cuerpos dispuestos de la forma como la encontramos en el presente.

Posteriormente el intemperismo y los agentes erosivos habrían erosionado e intemperizado los cuerpos 1 y 2 hasta los niveles conocidos y permitido la formación de la zona de enriquecimiento secundario en SPP y SPB relacionado a concentraciones de calcosita predominantemente.

La zona de oxidación prácticamente no existe, pasando abruptamente a la zona de lixiviación que en los SPB se muestra como mantos de baritina con contenidos altos en Ag, Au y Ag; mientras que la oxidación-lixiviación de SPP habría causado el colapso de las rocas encajonantes quedando solo brechas de fragmentos angulosos a subredondeados.

CONCLUSIONES

Cerro Lindo es un yacimiento de sulfuros masivos vulcanogénicos emplazado en la cuenca back arc cretácica, relacionada a fallas profundas que han permitido el ingreso de los fluidos hidrotermales en aguas someras.

Regionalmente, la Formación Huaranguillo, que es la unidad donde se emplaza el yacimiento, está comprendida de unidades sedimentarias detríticas silicoclásticas con intercalaciones volcánicas intermedias a básicas, dentro de las cuales se presentan unidades félsicas que tienen su mayor potencia (con escaso contenido de unidades intermedias y básicas) en Cerro Lindo. Estas unidades han sido cortadas por diques y el batolito.

Los sulfuros masivos están emplazados en rocas félsicas de más de 500 metros de potencia, constituidas por tufos ceniza, tufos lapilli y lavas de composición riolítica a dacítica. Los sulfuros masivos están en contacto en la base y techo con tufos ceniza. Hasta el año 2001, en Cerro Lindo se había determinado la existencia de hasta 5 cuerpos de sulfuros masivos; los cuales presentan características geométricas propias y se emplazan en Bloques Estructurales delimitados por fallas sinsedimentarias que participación como conductos de mineralización.

La principal alteración hidrotermal reconocida en Cerro Lindo es el ensamble sericita-pirita, el cual se encuentra rodeando a los cuerpos de Sulfuros

Masivos, tanto en la caja techo (HW) como en la caja piso (FW). El intemperismo de esta alteración es la que es responsable de la intensa anomalía de color que caracteriza al proyecto. Existen áreas no muy amplias con silicificación circunscritas principalmente a la caja piso (FW), asociadas a zonas de stockwork y englobados de volcánicos en sulfuros masivos. La alteración clorítica, caracterizada por clorita magnesífera negra esta circunscrita a algunas zonas de debilidad y fallas con presencia de calcopirita y pirrotita.

Se ha definido la existencia de fallas antiguas relacionadas a la mineralización y reactivaciones posteriores durante el levantamiento de los Andes: En la actualidad, los cuerpos de sulfuros masivos en la ladera sur de la quebrada Topara tienen un rumbo NW y buzan 60° al SW, mientras que en la ladera norte el horizonte prospectivo presenta rumbo similar pero buzamiento entre 10 a 20° al NE (contrario al de la otra ladera).

El metamorfismo regional ha causado: (a) incremento del tamaño de grano dentro de los sulfuros masivos, esto ha sido reportado en varias minas y tienen una implicancia económica porque incrementa el grado de liberación de los minerales durante el proceso metalúrgico, y (b) en la roca encajonante que en principio consistían de tufos ceniza, tufos lapilli y lavas de composición riolítica a dacítica, se hayan metamorfizados presentando desde texturas porfidoblásticas con blastos de diferentes dimensiones y formas, hasta texturas granoblásticas. Los estudios de secciones delgadas

categorizan las rocas metamórficas como gneis a hornfels con ensamble cuarzo – feldespatos – (muscovita) – (biotita) – (andalucita).

El intemperismo afecta a los volcánicos reemplazando los ferromagnesianos por limonitas y los feldespatos por arcillas o sericita. Los sulfuros masivos llegan a destruirse en el horizonte lixiviado (baritina pulverulenta del SPB y brechas de colapso con limonitas del SPP). También se reconoce enriquecimiento secundario con presencia de calcosita y covelita.

Se ha definido las litologías básicas en función de su relación con los sulfuros masivos: SPB, SPP, SSM, enclave, volcánicos interstratificados con SM, HW y FW; que a su vez permiten definir unidades estratigráficas dentro de los SM: HW, BS2, PS2, BS1, PS1, BI2, PI2, BI1, PI1, SI1 y FW, estudiando las características de cada litología y de los elementos en cada litología e incluso su variación en relación a su posición con respecto a contacto con otra litología.

En base al modelo de deposición de sulfuros masivos, se ha interpretado 2 formaciones de edificios de SM en el Cuerpo 5 y hasta 6 en el Cuerpo 2, del cual solo se estudio 4 por ser los más importantes económicamente.

Las secciones transversales y longitudinales, muestran la forma tridimensional de los cuerpos que permite interpretar el sentido de la mineralización y la ubicación de las fallas que condujeron la mineralización.

Se entiende que las fallas más importantes son las de rumbo NW-SE donde los cuerpos tienen mayor continuidad conocida, sin embargo, las fallas transversales también son importante porque dada su actividad (conjuntamente con la falla NW-SE) pudieron definir la existencia de cuencas de deposición. Se ha determinado el carácter negativo de la existencia de diferentes edificios de sulfuros masivos superpuestos, ya que el edificio en construcción destruye el edificio anterior, removilizando sus contenidos primarios de esfalerita (que tiene buen control litológico) y deposita calcopirita (con menor control y calidad) y finalmente deposita pirita estéril.

Sobre la correlación de elementos en las diferentes litologías, se concluye que: (i) en SPB, buena correlación Ag-Pb y Zn-Pb, incluyendo buena correlación Au-Cu que debe referirse a la población limítrofe con SPP, (ii) en SPP, buena correlación Au-Ag, Au-Cu y Ag-Cu que es perfectamente natural, con regular correlación Pb-Zn que debe pertenecer a la población limítrofe con SPB.

El tratamiento estadístico, muestra un zonamiento Cu-Zn definido, cuyas conclusiones más importantes son el predominio de Zn-Pb en SPB, de Cu en SPP y SI1 (Sulfuro Semimasivo en contacto con HW), y de Cu en el contacto SPP y SPB.

Por otro lado, las variaciones de los valores Cu-Zn en las secciones longitudinales y transversales permiten definir las fallas existentes como alimentadores de mineralización, e incluso se puede interpretar otros alimentadores que no han sido reconocidos aun.

Lo más importante del trabajo efectuado con el Ratio Cu es el contraste de los valores calculados para el SPB (20%) y SPP (65%), así como para la caja techo (25%) y caja piso (61%), que ayuda a definir la polaridad del depósito durante la exploración.

En base al modelo de evolución general de los yacimiento VMS y la interpretación de las diferentes unidades definidas, se propone un modelo de evolución genética que pretende explicar la disposición actual de los sulfuros masivos y los contenidos metálicos existentes, que tuvieron fuerte influencia estructural sindeposicional, resultando cuerpos con fuerte diferencia en sus potencias.

RECOMENDACIONES

Continuar con la exploración, hacia el sureste del cuerpo 5, de manera similar a lo ejecutado en las fases anteriores, mediante una galería paralela al Cuerpo y taladros aislados inicialmente e ir cerrando estos taladros hasta tener el espaciamiento óptimo que permita determinar reservas. Por otro lado, también se puede perforar inicialmente un taladro paralelo al cuerpo (donde se ejecutaría posteriormente la galería) y realizar un estudio geofísico a fin de verificar la existencia de los sulfuros masivos hacia este sector y después llevar a cabo la galería y el programa de exploraciones antes mencionado.

Realizar campañas de exploración con taladros diamantinos en los afloramientos de baritina que han sido reconocidas al otro lado de la quebrada y en la posible continuación del Cuerpo 4 hacia el Norte.

Realizar trabajos geológicos de logeo y geología de superficie y galerías que permitan reconocer en superficie las unidades estratigráficas volcánicas y/o definir unidades “guía” contemporáneas con los niveles de deposición de los sulfuros masivos conocidos en Cerro Lindo; que pueda ser usado posteriormente para determinar targets no aflorantes que requieran trabajos exploratorios adicionales de geofísica y perforación diamantina.

Es conocida la tendencia a la formación de otros depósitos de sulfuros masivos contemporáneos a los depósitos ya conocidos (Noranda, Tambogrande, etc.) controlados por fallas o estructuras volcánicas. Además, el Cuerpo 5 tiene poca o ninguna expresión superficial que indique su existencia en profundidad, lo cual alienta el descubrimiento de nuevos cuerpos mineralizados.

Utilizar la metodología de trabajo de interpretación y programación de taladros descrita en este informe, ya que permite conocer la distribución optima de taladros de perforación y/o galerías, para la determinación de recursos.

BIBLIOGRAFIA

- ❖ Eldridge C. E., Barton P. B. y Ohmoto H. (1983) Mineral Textures and their Bearing on Formation of the Kuroko Orebodies. In: Economic Geology Monograph 5, p. 241-281.
- ❖ Franklin J.M., Hannington M. D., Jonasson I. R. and Barrie C. T. (1999) Arc-Related Volcanogenic Massive Sulphide Deposits.
- ❖ Gibson H. L., Morton R. L., Hudak G. J. (1997) Submarine Volcanic Processes, Deposits and Environments favourable for the location of Volcanic-associated Massive Sulphide Deposits. In: Volcanic-Associated Massive Sulfide Deposits: Processes and Examples in modern and Ancient settings A volume to accompany a GAC-MOPP-SEG co-sponsored short course, Canada.
- ❖ Salazar H., Landa C. (1993) Geología de los Cuadrángulos de Mala, Tupe, Conayca, Chincha, Tantar y Castrovirreyna. Boletn INGEMMET, Lima.
- ❖ Ramdohr P. (1969) The Ore Mineral and their Intergrowths. Ed. Pergamon Press, Germany, 1169 p.
- ❖ Lyndon J. (1994) Volcanogenic Massive Sulphide Deposits, Part 1: A Descriptive Model.
- ❖ Lyndon J. (1994) Volcanogenic Massive Sulphide Deposits, Part 2: Genetic Models.
- ❖ Franklin J. R. , Hannington M. D., Jonasson I. R. y Barrie C. T. (2000), Volcanic – associate Massive Sulphide Deposits. Curso dictado en PROEXPLO 2000.