



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica

Escuela Profesional de Ingeniería Geológica

**Aplicación de ratios de Knuckey para la vectorización de los
fluidos mineralizantes en el VMS de Cerro Lindo - Chincha -
Ica**

TESIS

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Geólogo

AUTOR

Roberto Carlos BADOS CUEVA

ASESOR

Javier Pablo JACAY HUARACHE

Lima, Perú

2026



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Bados, R. (2026). *Aplicación de ratios de Knuckey para la vectorización de los fluidos mineralizantes en el VMS de Cerro Lindo - Chíncha - Ica*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, Escuela Profesional de Ingeniería Geológica]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Roberto Carlos Bados Cueva
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	20594263
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0007-5613-6029
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Javier Pablo Jacay Huarache
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	08085704
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0003-2716-7479
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Dr. Ciro Sergio Bedia Guillén
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	06130412
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Diana Pajuelo Aparicio
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	43540870
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	Ivan Mesias Santos Paredes
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	25627100

Datos de investigación	
Línea de investigación	C.0.1.11. Recursos Mineros
Grupo de investigación	No aplica
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento
Ubicación geográfica de la investigación	País: Perú Departamento: Ica Provincia: Chincha Distrito: Chavin Latitud: 13° 4'38.97"S Longitud: 75°59'32.28"O
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2018 - 2025
URL de disciplinas OCDE	Geología https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.05.06 Geociencias, Multidisciplinar https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.05.01



Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA Y GEOGRÁFICA
Escuela Profesional de Ingeniería Geológica

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO
PROFESIONAL DE INGENIERO GEÓLOGO**

En el salón de Grados y Títulos de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, el jueves 19 de febrero del año de 2026 siendo las 05:00 pm, en presencia de los señores docentes designados como miembros de Jurado Calificador:

Dr. Ciro Sergio Bedia Guillén
Msc. Diana Pajuelo Aparicio
Ing. Iván Mesias Santos Paredes

(Presidente de Jurado)
(Miembro de Jurado)
(Miembro de Jurado)

Reunidos para el acto académico público de colación de la Tesis del Bach. **ROBERTO CARLOS BADOS CUEVA**, quien sustentará la Tesis titulada: «**APLICACIÓN DE RATIOS DE KNUCKEY PARA LA VECTORIZACIÓN DE LOS FLUIDOS MINERALIZANTES EN EL VMS DE CERRO LINDO – CHINCHA – ICA**», su asesor el docente **JAVIER PABLO JACAY HUARACHE**, para la obtención del Título Profesional de Ingeniero Geólogo.

Los miembros del Jurado, escuchada la sustentación respectiva, plantearon al graduando las observaciones pertinentes, que fueron absueltas:

A Satisfacción del Jurado

El Jurado procedió a la calificación, cuyo resultado fue:

Diecisiete (17)

Habiendo sido aprobada la sustentación de Tesis por el Jurado Calificador, el presidente recomienda que la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, proponga se le otorgue el **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEÓLOGO** al Bach. **ROBERTO CARLOS BADOS CUEVA**

Siendo las 18:00 horas se dio por concluido el acto académico, expidiéndose cinco (05) actas originales de la Sustentación de la Tesis.

Lima, 19 de febrero del 2026


DR. CIRO SERGIO BEDIA GUILLÉN
PRESIDENTE DE JURADO


MSC. DIANA PAJUELO APARICIO
MIEMBRO DE JURADO


ING. IVÁN MESIAS SANTOS PAREDES
MIEMBRO DE JURADO


ING. JAVIER PABLO JACAY HUARACHE
MIEMBRO ASESOR

Anexo 1
CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, **JAVIER PABLO JACAY HUARACHE** en mi condición de asesor acreditado con el Dictamen de la EP N° 773-2025-D-FIGMMG de la tesis cuyo título es «**APLICACIÓN DE RATIOS DE KNUCKEY PARA LA VECTORIZACIÓN DE LOS FLUIDOS MINERALIZANTES EN EL VMS DE CERRO LINDO – CHINCHA – ICA**», presentado por el bachiller **ROBERTO CARLOS BADOS CUEVA**, para optar el de título Profesional de INGENIERO GEÓLOGO

CERTIFICO que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante la plataforma PIDS, el documento evaluado cuenta con el **16 %** de similitud, nivel PERMITIDO para continuar con los trámites correspondientes y para su **publicación en el repositorio institucional**.

Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención del título profesional de INGENIERO GEÓLOGO.

Lima, 17 de abril del 2026



Firma del Asesor

Nombres y Apellidos del asesor: Javier Pablo Jacay Huaraché

DNI: 08085704

* Según corresponda: bachiller, magíster, doctor; título profesional o título de segunda especialidad

La vigencia del presente certificado corresponde a un período de noventa (90) días desde la fecha de su emisión; siempre que no haya observaciones en el texto durante el proceso de revisión por el jurado informante o surja alguna contingencia.

CONTENIDO

CAPITULO I	6
1 INTRODUCCIÓN	8
1.1 JUSTIFICACIÓN DEL TEMA	8
1.2 ANTECEDENTES	9
1.3 HIPÓTESIS.....	10
1.4 OBJETIVOS	10
1.4.1 Objetivo General	10
1.4.2 Objetivos Específicos.....	10
1.5 METODOLOGÍA DEL TRABAJO	11
CAPITULO II	14
2 GENERALIDADES	14
2.1 HISTORIA DE CERRO LINDO.....	14
2.2 UBICACIÓN Y ACCESO.....	15
2.3 METALOGENÍA	16
2.4 GEOMORFOLOGÍA.....	20
2.5 CLIMA Y VEGETACIÓN	20
CAPITULO III.....	21
3 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS DEPÓSITOS VMS	21
CAPITULO IV.....	25
4 MARCO GEOLÓGICO REGIONAL	25
4.1 LITOESTRATIGRAFÍA	26
CAPÍTULO V.....	30
5 GEOLOGÍA DISTRITAL	30
5.1 LITOESTRATIGRAFÍA	32
En el distrito de Cerro Lindo se reconocen las siguientes unidades	
litológicas principales:	32
5.1.1 Depósitos Cuaternarios	32
5.1.2 Meta-volcánicos (MV).....	32
5.1.3 Volcánicos Félsicos (Riolitas – Riodacitas) (VF).....	33
5.1.4 Volcano-clásticos Andesíticos-Flujos Piroclásticos (VCA)	34
5.1.5 Volcánicos Andesíticos (VA)	35
5.1.6 Calizas – Limolitas – Lutitas	36
5.2 ROCAS INTRUSIVAS	37
5.2.1 Dioritas – Horblenditas (Di – Hb)	37

5.2.2	Granodioritas – Tonalitas (Gn-Gd, Tn)	38
5.2.3	Granodiorita – Tonalita (Gd-To) Patahuasi	39
5.2.4	Diques Básicos.....	39
5.2.5	Diques Pórfido Andesíticos	40
CAPÍTULO VI.....		41
6	GEOLOGIA DEL YACIMIENTO	41
6.1	LITOESTRATIGRAFÍA	41
6.1.1	Volcánicos Félsicos	42
6.1.2	Horizonte de Tobas/Tufos.....	42
6.1.3	Volcánicos Andesíticos.....	42
6.1.4	Volcano-clásticos Andesíticos (lapilli)	42
6.1.5	Brechas Riolíticas (clastos/matriz 5/1)	43
6.1.6	Andesitas Brechadas (clastos/matriz 1/5)	43
6.2	ROCAS INTRUSIVAS	48
6.2.1	Granitos – Granodioritas (Gn-Gd)	48
6.2.2	Granodiorita – Tonalita Patahuasi (Gd-To)	48
6.2.3	Diques Básicos.....	48
6.2.4	Diques Pórfido Andesíticos	49
CAPÍTULO VII		51
7	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	51
7.1	Análisis Cinemático de Fallas y Fracturas	52
7.1.1	Sistema N-S.	52
7.1.2	Sistema NO-SE	55
7.1.3	Sistema NE-SO	56
7.2	Modelamiento 3D	57
CAPITULO VIII.....		60
8	GEOCRONOLOGÍA DEL YACIMIENTO.....	60
8.1	DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA DE MUESTRAS	61
8.1.1	Muestra N° 279333:.....	61
8.1.2	Muestra N° 279331	63
8.1.3	Muestra N° 279338	65
8.1.4	MUESTRA N° 279332	66
8.1.5	MUESTRA N° 279337	68
8.1.6	MUESTRA N° 279334	70
8.2	RESULTADOS.....	72
CAPITULO IX.....		73
9	MINERALIZACIÓN	73
9.1	ZONAMIENTO VERTICAL	75
9.1.1	Zona de Gossan.....	75
9.1.2	Zona de Sulfuros Primarios	76

CAPITULO X.....	78
10 ALTERACIÓN	78
10.1 Generalidades.....	78
10.2 Índice de Alteraciones.....	80
CAPITULO XI.....	88
11 FLUJOS MINERALIZANTES Y RATIOS DE KNUCKEY	88
11.1 Flujos mineralizantes mediante ratios de Knuckey	89
11.2 Aplicación de los ratios de knuckey	89
11.3 Análisis de Concentraciones Metalúrgicas mediante Cortes en Planta	92
CAPITULO XII	96
12 CONCLUSIONES	96
12.1 Datación	96
12.2 Estructural	96
12.3 Alteración.....	96
12.4 Mineralización	97
12.5 Ratios de Knuckey	97
CAPITULO XIII.....	98
13 BIBLIOGRAFÍA	98

DEDICATORIA

A mi madre, Armida, por sembrar en mi humildad, sencillez y ser servicial.
A mi padre, Heymo, por inculcarme la perseverancia, ser justo y esforzarse.
A mis hermanos, por brindarme su apoyo y darme ánimos a seguir luchando.
A mi esposa, Vanessa, por su amor y apoyo constante.
A mis hijos Alida, Giacomo y Stefano, que son mi razón de luchar.

CAPITULO I

1 INTRODUCCIÓN

1.1 JUSTIFICACIÓN DEL TEMA

La presente investigación se enfoca en el estudio de la dirección de los fluidos de mineralización en la Unidad Minera de Cerro Lindo, utilizando los ratios de Knuckey como herramienta analítica. Este estudio se justifica debido a la importancia económica y geológica de Cerro Lindo en la región de Ica, Perú, así como por su relevancia para la industria minera en términos de optimización de estrategias de exploración y explotación de recursos minerales. La comprensión de los procesos geológicos y geoquímicos que han dado lugar a la formación de los depósitos minerales en esta región es esencial para maximizar la eficiencia y la rentabilidad de las operaciones mineras. Además, esta investigación contribuye al avance del conocimiento científico en el campo de la geología económica y geoquímica al aplicar una metodología específica, como son los ratios de Knuckey, para investigar los procesos de mineralización. Los resultados obtenidos no solo tendrán implicaciones directas para la unidad minera en cuestión, sino que también pueden ser extrapolados a otras áreas geológicamente similares, lo que amplía su relevancia en el ámbito científico y aplicado. Finalmente, se espera que esta investigación sirva como punto de partida para futuras investigaciones en el campo de la geología económica y la geoquímica, al establecer un marco teórico y metodológico sólido para estudiar la dirección de fluidos de mineralización en diferentes contextos geológicos.

1.2 ANTECEDENTES

Dos estudios previos han contribuido significativamente al entendimiento de los procesos geológicos y geoquímicos en diferentes regiones del Perú, centrándose en yacimientos del tipo VMS (Sulfuros Masivos Volcanogénicos), aunque ubicados en áreas geográficas y con características geológicas distintas:

- ***"Aplicación del Ratio de Knuckey y la Anisotropía Dinámica en la Estimación de Recursos Minerales de Cerro Lindo"*** (Jhonatan Lopez – Gianncarlo Zamora, 2023): Este estudio se llevó a cabo en la Unidad Minera de Cerro Lindo, ubicada en la región sur del Perú, específicamente en la región de Ica. Cerro Lindo es un yacimiento VMS de gran importancia económica y geológica en la región. El estudio investigó la viabilidad de utilizar el Ratio de Knuckey y la Anisotropía Dinámica en la estimación de recursos minerales en este yacimiento, proporcionando una comprensión detallada de los procesos de mineralización específicos de esta área.

"The Genesis of 'Giant' Copper-Zinc-Gold-Silver Volcanogenic Massive Sulphide Deposits at Tambogrande, Perú: Age, Tectonic Setting, Paleomorphology, Lithogeochemistry and Radiogenic Isotopes" (Winter, Lawrence Stephen, 2008) : Este estudio, por otro lado, se llevó a cabo en la localidad de Tambogrande, en la región norte del Perú, específicamente en la región de Piura. Aunque geográficamente distante de Cerro Lindo, Tambogrande también alberga un yacimiento VMS de importancia. La investigación examinó varios aspectos de la génesis de estos depósitos, incluyendo su edad, contexto tectónico, características litogeoquímicas y análisis de isótopos radiogénicos, lo que proporcionó una comprensión completa de los procesos geológicos y geoquímicos particulares de esta región.

Ambos estudios ofrecen valiosos insights sobre los procesos de mineralización y la evolución geológica en yacimientos VMS en diferentes regiones del Perú, lo cual es relevante para la investigación propuesta sobre la dirección de fluidos de mineralización en la Unidad Minera de Cerro Lindo.

1.3 HIPÓTESIS

Se postula que la aplicación de los ratios de Knuckey al análisis de los fluidos de mineralización en la Unidad Minera de Cerro Lindo permitirá identificar patrones característicos que revelarán la dirección de los fluidos mineralizadores. Se espera que estos patrones estén influenciados por la estructura geológica regional y las características geoquímicas específicas del área de estudio. Por lo tanto, se anticipa que los resultados obtenidos proporcionarán una comprensión más profunda de los procesos de formación de los depósitos minerales en Cerro Lindo, y tendrán implicaciones significativas para la industria minera en términos de optimización de estrategias de exploración y explotación de recursos minerales, así como para el avance del conocimiento científico en el campo de la geología económica y la geoquímica.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

Determinar la dirección de los fluidos de mineralización en la Unidad Minera de Cerro Lindo utilizando los ratios de Knuckey como herramienta analítica, contribuyendo al avance del conocimiento científico en el campo de la geología económica y geoquímica.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Realizar un análisis geoquímico de las muestras de minerales recolectadas en la Unidad Minera de Cerro Lindo.
- Aplicar los ratios de Knuckey al análisis de las muestras para determinar la dirección de los fluidos de mineralización.
- Integrar los resultados del análisis geoquímico con datos geológicos y estructurales para comprender mejor los procesos de mineralización en Cerro Lindo.
- Evaluar las implicaciones de los resultados obtenidos para la industria minera, en términos de optimización de estrategias de exploración y explotación de recursos minerales.

- Contribuir al avance del conocimiento científico en el campo de la geología económica y geoquímica mediante la publicación de los resultados y su discusión en conferencias científicas relevantes.
- Establecer un marco teórico y metodológico sólido que pueda ser aplicado en futuras investigaciones sobre la dirección de fluidos de mineralización en diferentes contextos geológicos.

1.5 METODOLOGÍA DEL TRABAJO

La metodología empleada en este estudio se dividió en cinco etapas, abarcando tanto trabajos de gabinete como de campo, detalladas a continuación:

- **Etapas 1: Recopilación de información bibliográfica y cartográfica**

En esta etapa inicial, se llevó a cabo una exhaustiva recopilación de información bibliográfica y cartográfica disponible. El objetivo fue establecer un sólido contexto geológico para la investigación, así como recopilar datos provenientes de trabajos previos de exploración minera en la zona de estudio. Esta etapa proporcionó una base de conocimientos actualizada y completa sobre la geología regional, permitiendo una planificación efectiva para las etapas posteriores del estudio.

- **Etapas 2: Cartografiado geológico en superficie e interior mina**

Se realizó un extenso cartografiado geológico en superficie a una escala de 1/5,000, abarcando las diversas unidades geológicas presentes en el yacimiento. Este trabajo incluyó el levantamiento detallado de cinco columnas estratigráficas que cubrieron la totalidad del yacimiento, con el fin de caracterizar exhaustivamente las secuencias estratigráficas presentes. Además, se llevó a cabo un cartografiado detallado de las zonas de alteración y mineralización presentes en la superficie. Adicionalmente, se realizó un cartografiado geológico en el interior de la mina a una escala de 1/500, abarcando el tramo que va desde el nivel 1650 al nivel 1910. Este cartografiado permitió una caracterización geológica detallada de las unidades presentes en la explotación subterránea, proporcionando información esencial para la comprensión de la geometría y la distribución de los cuerpos mineralizados en el yacimiento.

- **Etapla 3: Elaboración de planos geológicos**

Se procedió a la elaboración de diversos planos geológicos que abarcaron aspectos tanto regionales como locales del área de estudio. Estos planos incluyeron representaciones detalladas de la geología regional y local, así como de la estructura geológica, las zonas de alteración, los cuerpos mineralizados y la distribución geoquímica en la zona de interés. Esta fase del estudio permitió una visualización clara y sistemática de la geología y los procesos asociados en el área de estudio, proporcionando una base cartográfica esencial para el análisis y la interpretación subsiguientes.

- **Etapla 4: Programa de logeo y muestreo geoquímico**

Se llevó a cabo un programa integral de logeo y muestreo geoquímico en la superficie del área de estudio. El objetivo fue comprender la geología regional y la distribución de elementos de interés económico. Este programa implicó la selección sistemática de muestras de roca en ubicaciones representativas del yacimiento, que fueron meticulosamente logeadas para registrar sus características físicas, estructurales y mineralógicas. Además, se realizaron muestreos geoquímicos para determinar la distribución y concentración de elementos económicos y traza en las muestras de roca, contribuyendo así a la identificación de zonas potencialmente mineralizadas y a la comprensión de los procesos geológicos asociados. Como parte de este programa, se seleccionaron muestras de roca específicas para dataciones radiométricas, llevando a cabo un total de 9 dataciones. Estas dataciones radiométricas permitieron establecer edades absolutas para eventos geológicos clave en el área de estudio, lo que resultó fundamental para comprender la evolución geológica del yacimiento y su correlación con eventos regionales y globales.

- **Etapla 5: Finalización de planos geológicos y redacción del informe**

En esta fase final del estudio, se concluyeron los planos geológicos y se completó la redacción del informe. Este informe abarcó tanto los resultados obtenidos durante todas las etapas del estudio como su interpretación geológica relevante. Además, se llevó a cabo un análisis exhaustivo de la vectorización de los fluidos presentes en el área de

investigación. Esta etapa representó un hito crucial en el proceso de investigación, consolidando los hallazgos y conclusiones clave, y proporcionando una visión integral y detallada de la geología y los procesos asociados en el área de estudio.

CAPITULO II

2 GENERALIDADES

2.1 HISTORIA DE CERRO LINDO

El desarrollo del proyecto Cerro Lindo abarca varias décadas, con una serie de actividades exploratorias clave que han llevado al conocimiento actual del yacimiento. A continuación, se presenta de manera estructurada:

1. Actividades Exploratorias Iniciales (1973-1988):

- En 1973, se realizó geofísica por el método de IP, identificando 5 anomalías prospectivas.
- En 1984, BTX recolectó muestras de afloramientos, resultando en valores interesantes de hasta 40 optAg. Se ejecutaron 2 galerías de exploración con una corrida de 101 metros, confirmando mineralización de Zn-Pb-Ag-(Cu).
- Entre 1987 y 1988, se llevó a cabo topografía a escala 1/500, muestreo de afloramientos y construcción del acceso desde Chíncha hacia Chavín.

2. Desarrollo del Acceso y Exploración Subterránea (1992-1995):

- En 1992 y 1993, se finalizó la construcción del acceso al proyecto y se realizaron trincheras con bulldozer. Se ejecutaron 2,890 metros de galería en 3 niveles y se desarrolló un programa de perforación DTH.
- Durante 1993-1995, se continuó con la exploración, perforando 29 taladros con 3,554 metros. Se definieron los Cuerpos 4, 1 y 2, además de reconocer la prolongación hacia el noroeste de las anomalías geoquímicas y de color.

3. Exploración por Phelps Dodge (1996-2001):

- En 1996 y 1997, Phelps Dodge perforó 19 taladros DDH con 6,725 metros y realizó estudios geofísicos con el método PROTEM.
- En 1999, se reinterpreta el depósito y se perforaron 18 taladros diamantinos con 4,879 metros. Se confirma la continuación del yacimiento hacia el SE y se identifica el Cuerpo 5.

- Entre 2000 y 2001, se realizaron perforaciones adicionales, confirmando la continuidad de la mineralización y aumentando el conocimiento de los Cuerpos 1, 2 y 5.

4. Estudio de Factibilidad y Comienzo de la Producción (2002-2007):

- En febrero de 2002, se culminó el Estudio de Factibilidad, aunque la construcción de la mina no comenzó debido a la coyuntura de la época.
- En julio de 2007, se inició la producción con el arranque de la planta a una capacidad de 5,000 Tn por día.

2.2 UBICACIÓN Y ACCESO

El yacimiento Cerro Lindo y sus concesiones mineras se localizan a una distancia de 175 kilómetros al sureste de la Ciudad de Lima, en el distrito de Chavín, provincia de Chíncha, departamento de Ica (Figura 1). La zona de estudio para el cartografiado geológico se encuentra dentro del cuadrángulo de Tantara (27-i), entre los parajes de Huapunga y Huirpiná, con una altitud que oscila entre los 1,800 y 3,500 metros sobre el nivel del mar (msnm).

El acceso a la Unidad Minera (UM) Cerro Lindo se realiza partiendo desde la ciudad de Lima. Inicialmente, se recorren 180 kilómetros (aproximadamente 2.5 horas) siguiendo la carretera panamericana sur hasta llegar a la quebrada Jahuay. Desde este punto, se continúa por una carretera afirmada, recorriendo 60 kilómetros adicionales (aproximadamente 1.5 horas), hasta llegar a la mina Cerro Lindo.

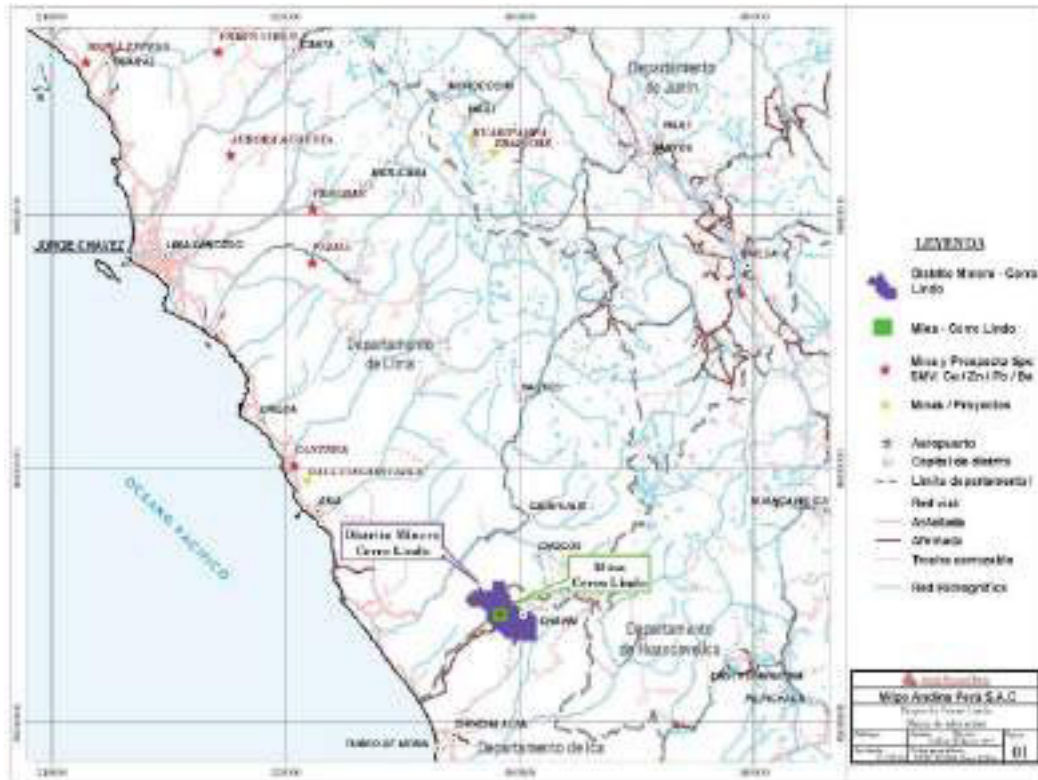
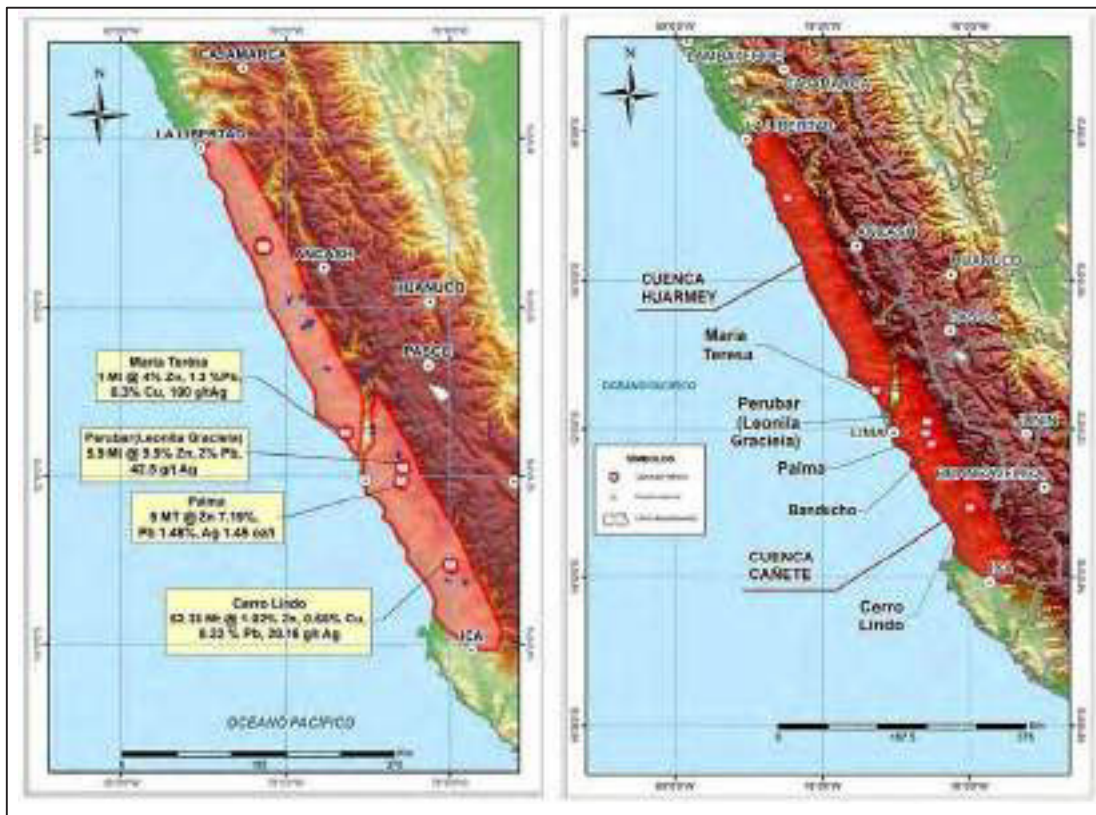


Figura 1.- Ubicación y acceso a la UM Cerro Lindo

2.3 METALOGENÍA

El proyecto Cerro Lindo se sitúa metalogénicamente dentro del metalotecto de sulfuros masivos volcanogénicos (VMS) representado por el Grupo Casma, una unidad volcánica submarina de edad Albiana (Cretácico medio). Esta unidad geológica se extiende paralela a la costa, desde el norte del Perú hasta el departamento de Ica, abarcando el flanco oeste de la Cordillera Occidental de los Andes y la Llanura Costera (Figura 2.1).



Durante el Jurásico superior, se formó un margen de subducción activo en paralelo a la línea de costa actual, con un arco de islas asociado a una cuenca back-arc, donde la placa oceánica se sumerge con un alto ángulo debajo de la placa continental. El régimen extensional de esta cuenca back-arc incrementó la gradiente geotérmica y adelgazó la corteza continental, aunque no llegó a formar una corteza oceánica, clasificándose como una cuenca back-arc abortada.

En el sector oeste de la cuenca back-arc, la deposición estuvo fuertemente influenciada por el vulcanismo y el aumento de la gradiente geotérmica, dando lugar a un relleno vulcano-sedimentario y su posterior metamorfismo de soterramiento e hidrotermal. En contraste, hacia el este, la actividad volcánica disminuyó y predominó la sedimentación silicoclástica y de plataforma carbonatada.

La formación de depósitos de sulfuros masivos en este ambiente de cuenca back-arc está estrechamente relacionada con fallas sinvolcánicas o sindeposicionales y/o subsidencias de caldera (Figura 2.2). Estos eventos habrían facilitado la entrada de fluidos hidrotermales que evolucionaron para formar los depósitos y ocurrencias conocidos. Los principales prospectos y proyectos de sulfuros masivos volcanogénicos asociados al volcanismo Cretácico,

incluyendo al Grupo Casma y unidades correlacionables, son: Tambogrande, Potrobayo, Totoral, María Teresa, Aurora Augusta, Perubar, Palma y Cerro Lindo (Figura 2.3).

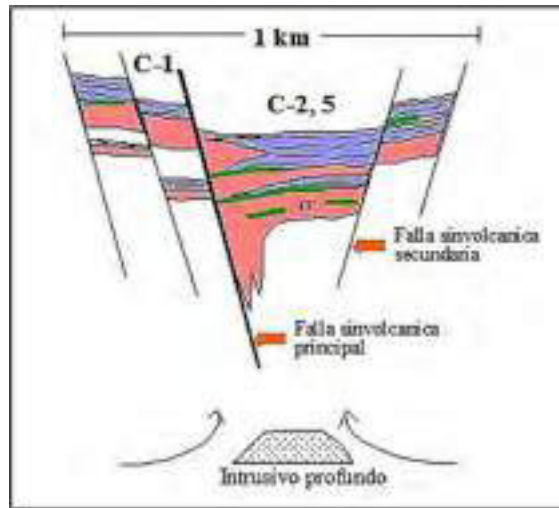


Figura 2.2.- Las fallas sinvolcánicas sirvieron como conductos para los fluidos mineralizantes, además de permitir la ocurrencia de estructuras donde se desarrollaron cuerpos de gran potencia, Gariépy & Hinostroza (2003).

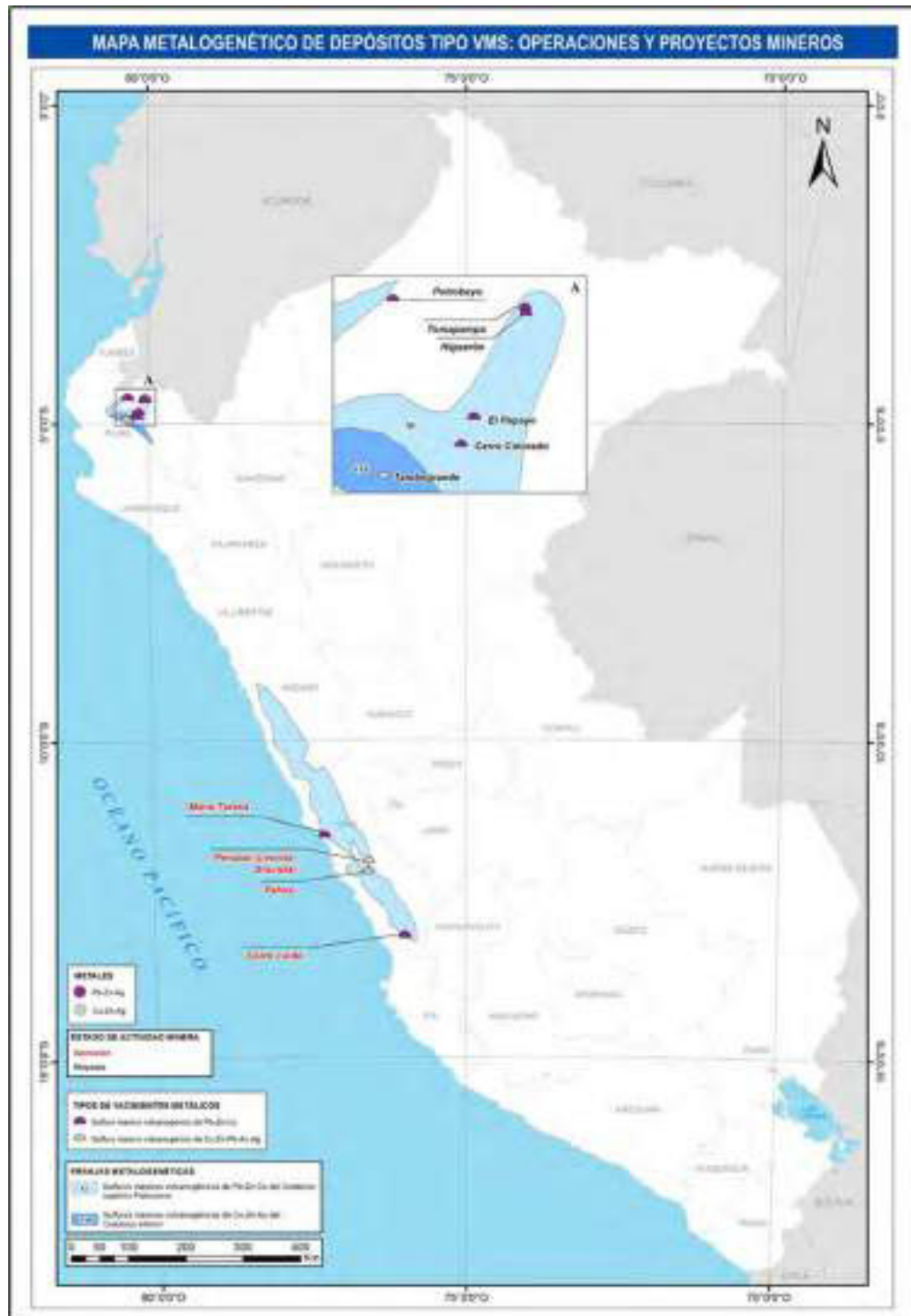


Figura 2.3.- Mapa metalogénico de depósitos tipo VMS: Operaciones y proyectos mineros.

2.4 GEOMORFOLOGÍA

La región presenta una configuración geomorfológica notablemente accidentada, con pendientes pronunciadas que son características de las áreas donde el Batolito de la Costa es interceptado por los ríos, dando lugar al desarrollo de valles en forma de "V". A medida que se asciende hacia las cumbres, el relieve tiende a suavizarse topográficamente.

La abrupta pendiente y el encañonamiento de las quebradas dificultan la formación de suelos, siendo predominantes antiguas terrazas que han sido preservadas debido al levantamiento de los Andes.

2.5 CLIMA Y VEGETACIÓN

La temperatura promedio en el proyecto alcanza los 13.5 °C, con una temperatura máxima promedio de 25.5 °C y la temperatura mínima promedio es de 14.5°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.



Foto 1.- Vista Panorámica de La unidad Minera Cerro Lindo.

CAPITULO III

3 CARCTERÍSTICAS GENERALES DE LOS DEPÓSITOS VMS

Los depósitos de sulfuros masivos volcanogénicos (VMS, por sus siglas en inglés) constituyen una clase significativa de depósitos minerales formados en entornos volcánicos submarinos. Estos depósitos son de gran relevancia económica debido a su contenido en metales base y preciosos. A continuación, se describen las características principales de los depósitos VMS:

1. Contexto Geológico y Ambiente de Formación:

Los depósitos VMS se forman en cuencas marinas asociadas con márgenes de subducción, dorsales oceánicas y ambientes de back-arc (Ver Figura 3.1). Están típicamente alojados en secuencias de rocas volcánicas y volcánico-sedimentarias, como basaltos, riolitas, andesitas y turbiditas (Franklin et al., 1981; Galley et al., 2007). La formación de estos depósitos está relacionada con la actividad volcánica submarina, que proporciona el calor necesario para la circulación de fluidos hidrotermales (Ver Figura 3.2).

2. Composición Mineral y Metálica:

Los depósitos VMS se caracterizan por una mineralogía compuesta predominantemente por sulfuros metálicos. Entre los minerales más comunes se encuentran pirita, calcopirita, esfalerita y galena, con presencia ocasional de bornita y covellina (Large, 1992; Hannington et al., 1995). Estos depósitos son importantes fuentes de metales base como cobre, zinc y plomo, así como de metales preciosos como oro y plata (Ver Figura 3.3).

3. Estratigrafía y Morfología de los Depósitos:

Los depósitos VMS presentan una clara estratificación, que refleja el ambiente volcánico y sedimentario de su formación. Su morfología incluye típicamente cuerpos en forma de lentejas o capas de sulfuros masivos, acompañados a menudo de zonas de stockwork, que consisten en redes de venas de minerales (Lydon, 1984). Esta estructura es resultado de procesos hidrotermales y volcánicos que se producen simultáneamente con la sedimentación.

4. Alteración Hidrotermal:

La alteración hidrotermal asociada a los depósitos VMS exhibe una zonación característica. En las zonas proximales, la alteración está dominada por minerales como clorita y sericita, mientras que en las zonas distales predomina la alteración silicoclástica. La mineralogía de alteración incluye cuarzo, clorita, sericita, baritina y anhidrita, entre otros (Franklin et al., 1981; Large, 1992). Esta zonación es indicativa de la variabilidad en la temperatura y composición química de los fluidos hidrotermales a medida que se alejan de la fuente térmica.

5. Procesos de Formación:

Los depósitos VMS se forman a través de la circulación de fluidos hidrotermales que lixivian metales de las rocas anfitrionas y los precipitan en el fondo marino como sulfuros masivos. La presencia de estructuras sindeposicionales, como fallas sinvolcánicas, facilita la localización y la concentración de estos minerales (Galley et al., 2007). La deposición de sulfuros está asociada a eventos volcánicos, que proveen el calor necesario para la circulación de los fluidos hidrotermales y la formación de los depósitos (Ver Figura 3.2).

6. Distribución y Contexto Regional:

Los depósitos VMS están presentes a lo largo de toda la historia geológica, siendo particularmente comunes en secuencias volcánicas del Precámbrico y el Fanerozoico (Franklin et al., 2005). Estos depósitos suelen encontrarse en distritos metalogénicos complejos, donde coexisten con otros tipos de depósitos minerales, lo que les otorga un gran interés para la exploración mineral.

En resumen, los depósitos VMS representan una fuente significativa de recursos metálicos, con una geología compleja y una génesis ligada a procesos volcánicos e hidrotermales. Su estudio y comprensión son fundamentales para el desarrollo de estrategias de exploración y explotación en la industria minera.

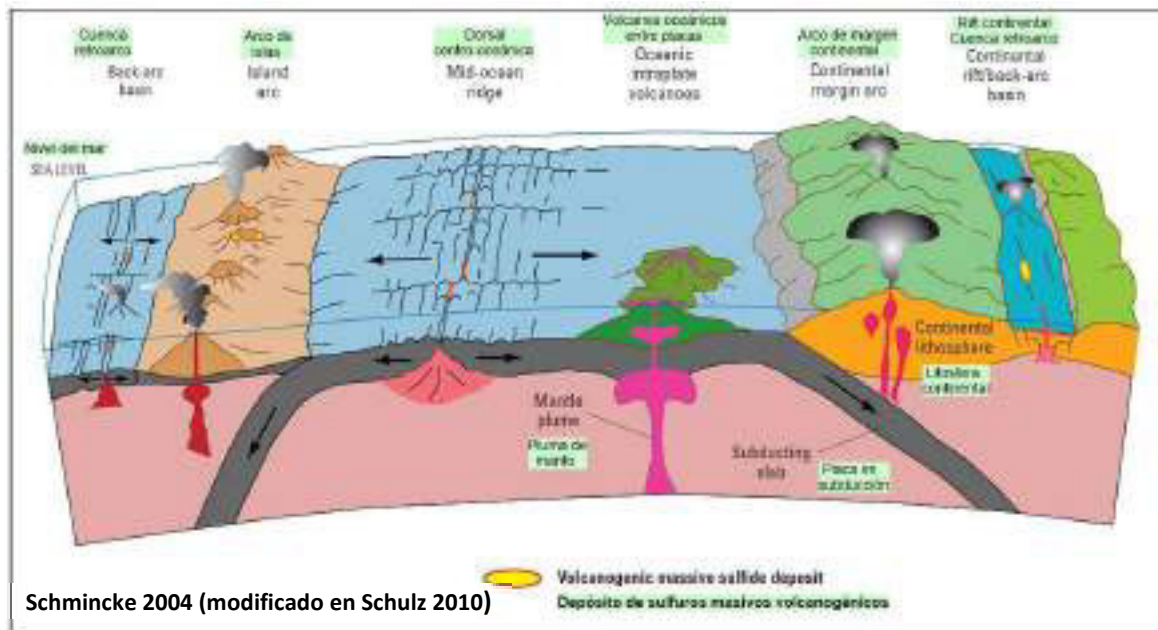


Figura 3.1.- Marco tectónico de los ambientes de formación de los depósitos VMS

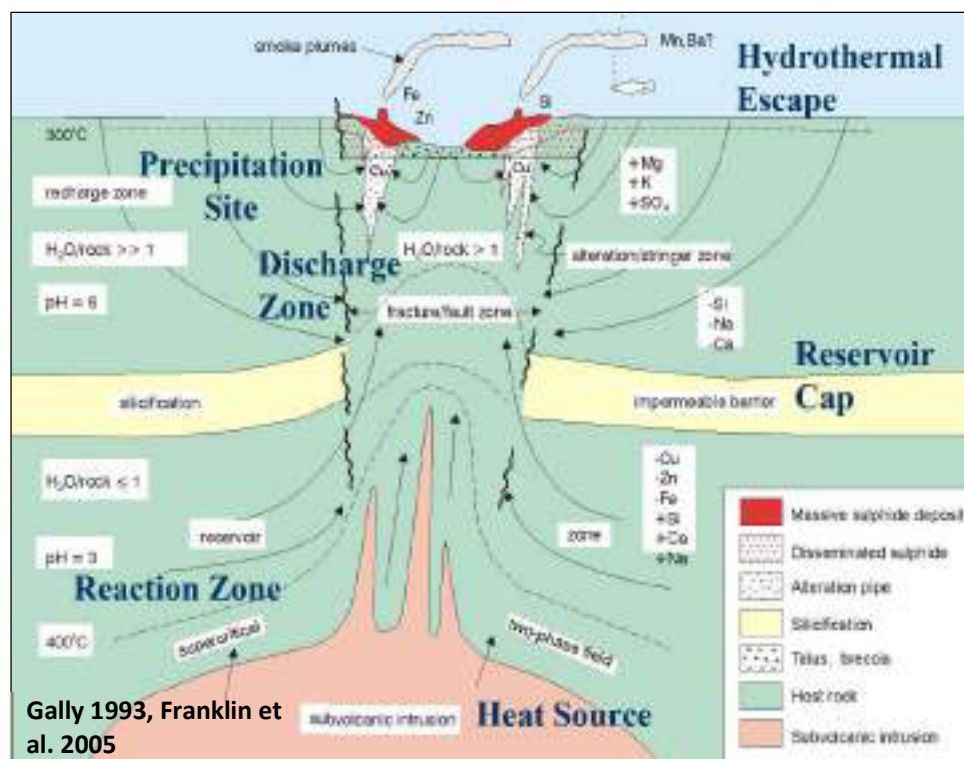


Figura 3.2.- Esquema del sistema de circulación de fluidos que dan origen a los depósitos VMS

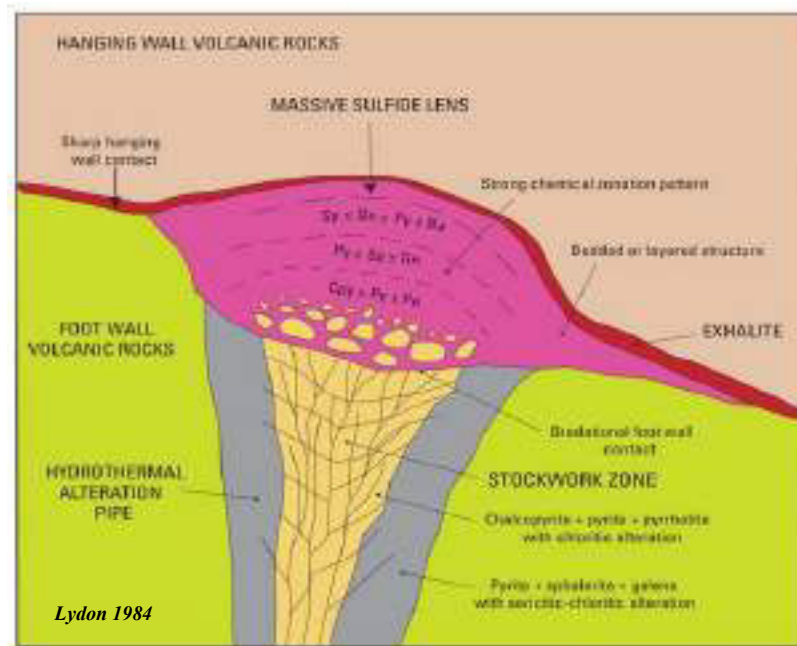


Figura 3.3.- Zonamiento de los metales base en un depósito VMS

CAPITULO IV

4 MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

El yacimiento Cerro Lindo se encuentra dentro de la Formación volcánico-sedimentaria Huaranguillo, de edad Albiano medio a Senoniano (Cretácico medio), la cual se emplaza como un posible roof pendant sobre los intrusivos del Batolito de la Costa.

Las unidades litológicas comprenden una secuencia volcánica metamorfizada y volcánicas riolíticas-riodacíticas en la base; secuencias volcánicas andesíticas en la parte media; y, en la parte superior, secuencias volcano-sedimentarias (intercalaciones de andesitas, limolitas y calizas) y sedimentarias (calizas, limolitas y lutitas calcáreas). Esta secuencia volcánico-sedimentaria tiene un espesor aproximado de 2,250 metros y abarca un área de alrededor de 10 x 5 km con orientación NO-SE. La Formación Huaranguillo se correlaciona con rocas del Cretácico medio-superior (Albiano medio – Senoniano) y está rodeada e intruída por rocas del Batolito de la Costa, compuesto por granitos y granodioritas al oeste, y dioritas, gabro dioritas y hornblenditas al este y noreste.

Los afloramientos de secuencias riolíticas y riodacíticas son de especial interés prospectivo, ya que constituyen el principal hospedero para cuerpos mineralizados tipo VMS (sulfuros masivos volcanogénicos) ricos en Cu-Zn-Pb-Ag.

Desde un punto de vista estructural, el área está atravesada por fallas regionales con rumbo NO-SE. A nivel local, se observan fallas y diques con orientación NNE-SSO, los cuales son frecuentes en la zona de la mina y sus alrededores, estando directamente asociados con la mineralización presente.

La Formación Huaranguillo presenta un rumbo general de N60°W y forma parte del relleno de la cuenca Cañete. Las unidades volcánico-sedimentarias se acumularon en un ambiente de arco de islas, asociado a una cuenca back-arc resultante de movimientos tectónicos extensionales durante la subducción (Ver Figura 4.1).

En el sector occidental de la cuenca back-arc, el ambiente deposicional estuvo dominado por un vulcanismo activo y un alto gradiente geotermal, que influyó en el depósito de materiales volcano-sedimentarios y su posterior metamorfismo de soterramiento e hidrotermal. Hacia el

este, la actividad volcánica disminuye notablemente, prevaleciendo la sedimentación silicoclástica y el desarrollo de plataformas carbonatadas.

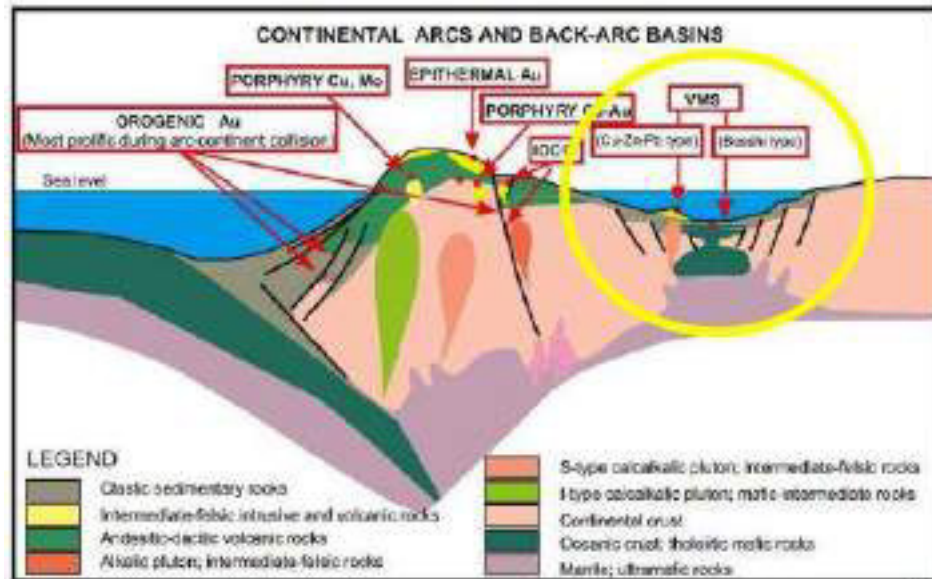


Figura 4.1.- Ambiente de Formación del Yacimiento Cerro Lindo

4.1 LITOESTRATIGRAFÍA

En el área de estudio se han cartografiado las siguientes unidades litoestratigráficas y plutónicas, que abarcan desde el Cretácico Inferior (~110 Ma) hasta el Eoceno (~40 Ma): la Formación Huaranguillo (Cretácico Inferior), el Batolito de la Costa (Cretácico Superior) y la Formación Tantará (Eoceno). A continuación, se detallan estas unidades, tal como se muestra en la Figura 4-2.

4.1.1 Formación Huaranguillo

Esta formación, parte del Grupo Casma del Cretácico Inferior, constituye la unidad más antigua en la secuencia litoestratigráfica. Se han identificado tres secuencias principales: inferior, superior y techo.

- Secuencia Inferior: Compuesta por riolitas dómicas, masivas y fluidales, es la unidad que alberga la mineralización presente en el yacimiento.
- Secuencia Superior: Dominada por andesitas masivas, fluidales y brechadas, con grandes afloramientos visibles en la Figura 4-2.

- Secuencia Techo: Constituida por areniscas calcáreas, limolitas, calizas y metapelitas de color gris oscuro. Sus afloramientos son irregulares y se localizan al sureste (Cerro Pacaycasa, en la carretera hacia Chavín) y al noreste de la mina Cerro Lindo (Cerro Culcu Punta y Mesa Rumi). Es importante señalar que esta secuencia no aflora en los alrededores inmediatos de la mina.

4.1.2 Batolito de la Costa

El Batolito de la Costa aflora en contacto con los volcánicos de la Formación Huaranguillo y se subdivide en tres unidades plutónicas, de la más antigua a la más joven:

- Superunidad Catahuasi: Localizada al este, en contacto intrusivo con la Formación Huaranguillo. Está compuesta por tonalitas y granodioritas de grano fino a medio, de color gris claro, con una edad de 93.72 Ma (según dataciones realizadas por Milpo, 2016). Esta unidad presenta una orientación SE-NO.

- Superunidad Incahuasi: Emplazada al oeste, compuesta por granodioritas y monzonitas de grano medio a grueso, con tonalidades gris claro, rosadas y verdosas. Su edad se estima entre 78-83 Ma (± 1 Ma), con una datación específica de 82.35 Ma (Milpo, 2016).

- Superunidad Tiabaya: Localizada al norte de la mina Cerro Lindo, en contacto con las secuencias volcánicas de la Formación Huaranguillo. Está compuesta por tonalitas y granodioritas de color gris claro a rosado, de grano medio a grueso, y contiene xenolitos dioríticos esporádicos. Su edad se estima entre 76-83 Ma.

En las zonas adyacentes y dentro de la mina Cerro Lindo, se observan diques tardíos, de composición pórfido andesítico-dacítico y microdiorítico, con edades que varían entre 73.89 y 89.87 Ma (Milpo, 2016). Estos diques presentan una orientación N-S y NO-SE. Al oeste de la mina, en contacto con la Superunidad Incahuasi, aflora una faja de meta volcánicas con dirección NO y marcada foliación sub vertical inclinada hacia el este, evidenciando un proceso de recrystalización y foliación asociado al metamorfismo de contacto con el intrusivo.

4.1.3 Formación Tantar

Esta formaci3n se encuentra en el flanco noreste del mapa geol3gico regional, en contacto discordante con las unidades intrusivas Tiabaya y Catahuasi, y sobre yace en discordancia a la Formaci3n Huaranguillo. Litol3gicamente, consiste en una secuencia de lavas andesíticas de color gris verdoso, con tonos ocasionalmente marrones y ondulaciones suaves. Las relaciones de campo y dataciones radiom3tricas indican que esta formaci3n corresponde al Eoceno (~40 Ma).

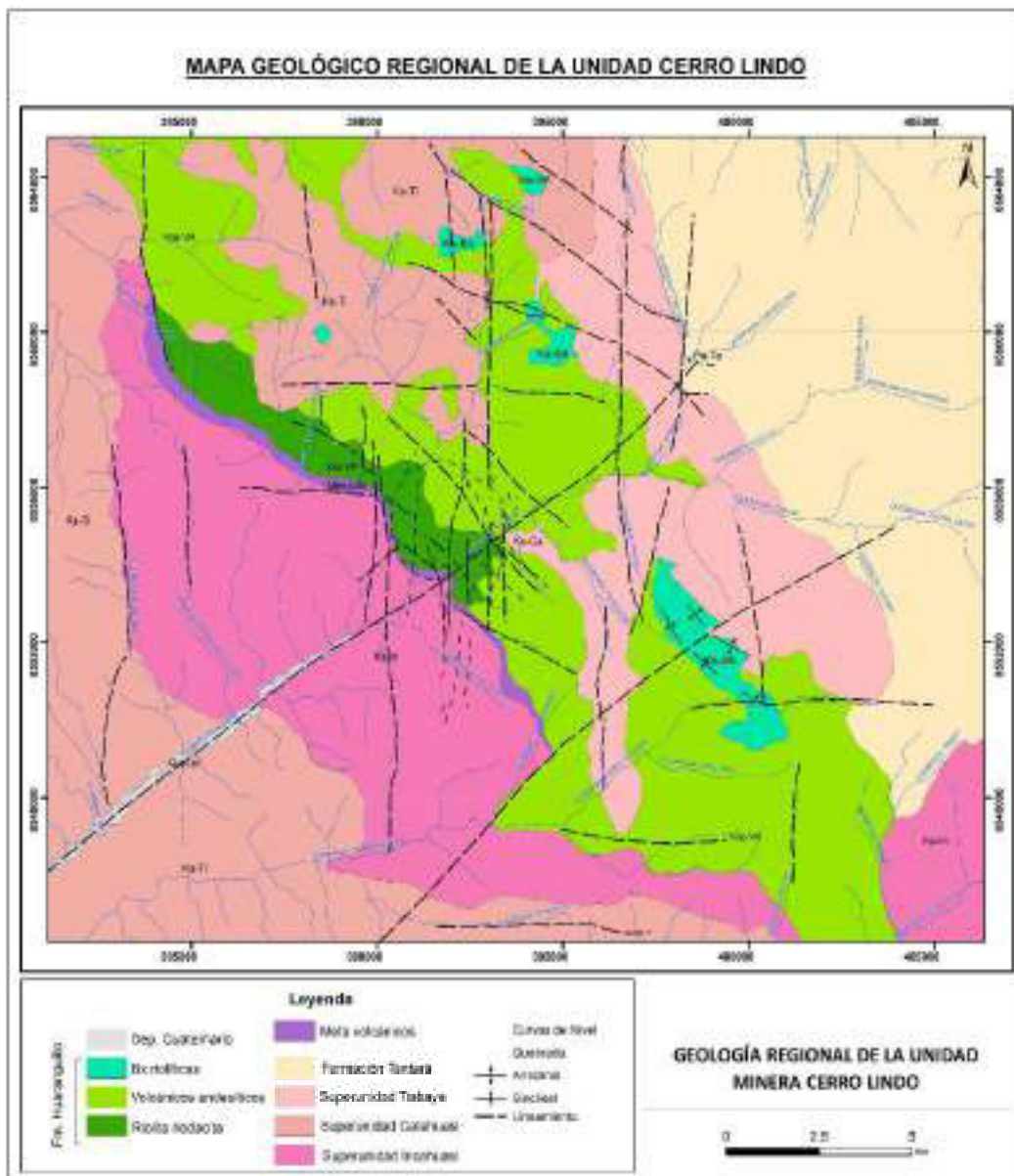


Figura 4.2.- Mapa de Geología Regional

CAPÍTULO V

5 GEOLOGÍA DISTRITAL

La estratigrafía del distrito está compuesta por una intercalación de lavas masivas y tobas de composición riolítica-riodacítica, junto con horizontes volcanoclásticos riolíticos-andesíticos, que incluyen flujos piroclásticos y depósitos de lapilli. Por encima de la secuencia riolítica se encuentran secuencias de lavas y brechas de composición andesítica relativamente frescas (Ver columna estratigráfica en Figura 5.1). En la región, estas secuencias volcánicas presentan un rumbo general NW-SE, con buzamientos orientados al NE y SW.

El Batolito de la Costa rodea las unidades volcánico-sedimentarias y está constituido principalmente por granitos y granodioritas, junto con afloramientos de menor tamaño y mayor antigüedad compuestos por dioritas, gabrodioritas y hornblenditas. La intrusión del batolito ha generado un metamorfismo regional en las rocas volcánicas adyacentes, dando lugar a la formación de esquistos micáceos (muscovita-biotita-andalucita) con bandeamientos de cuarzo, filitas y hornfels, exhibiendo texturas foliadas combinadas con granoblásticas y porfiroblásticas.

En las proximidades del yacimiento se encuentran afloramientos de diques con orientaciones NNE-SSO y, localmente, NW-SE, los cuales intruyen tanto las secuencias volcánicas como las granodioritas-tonalitas. Estos diques son, en su mayoría, de composición pórfido andesítica a dacítica, con extensiones kilométricas. En algunas áreas locales, también se observan diques de composición diorítica a básica, aunque con menor extensión.

A 400 metros al noreste del Campamento Cerro Lindo, siguiendo la quebrada Topará, se encuentran afloramientos de intrusivos con dirección E-SE. Estas intrusiones, de dimensiones kilométricas y composición granodiorítica-tonalítica de grano medio, posiblemente de edad más reciente, se encuentran intruyendo tanto las secuencias volcánicas como los intrusivos graníticos-granodioríticos.

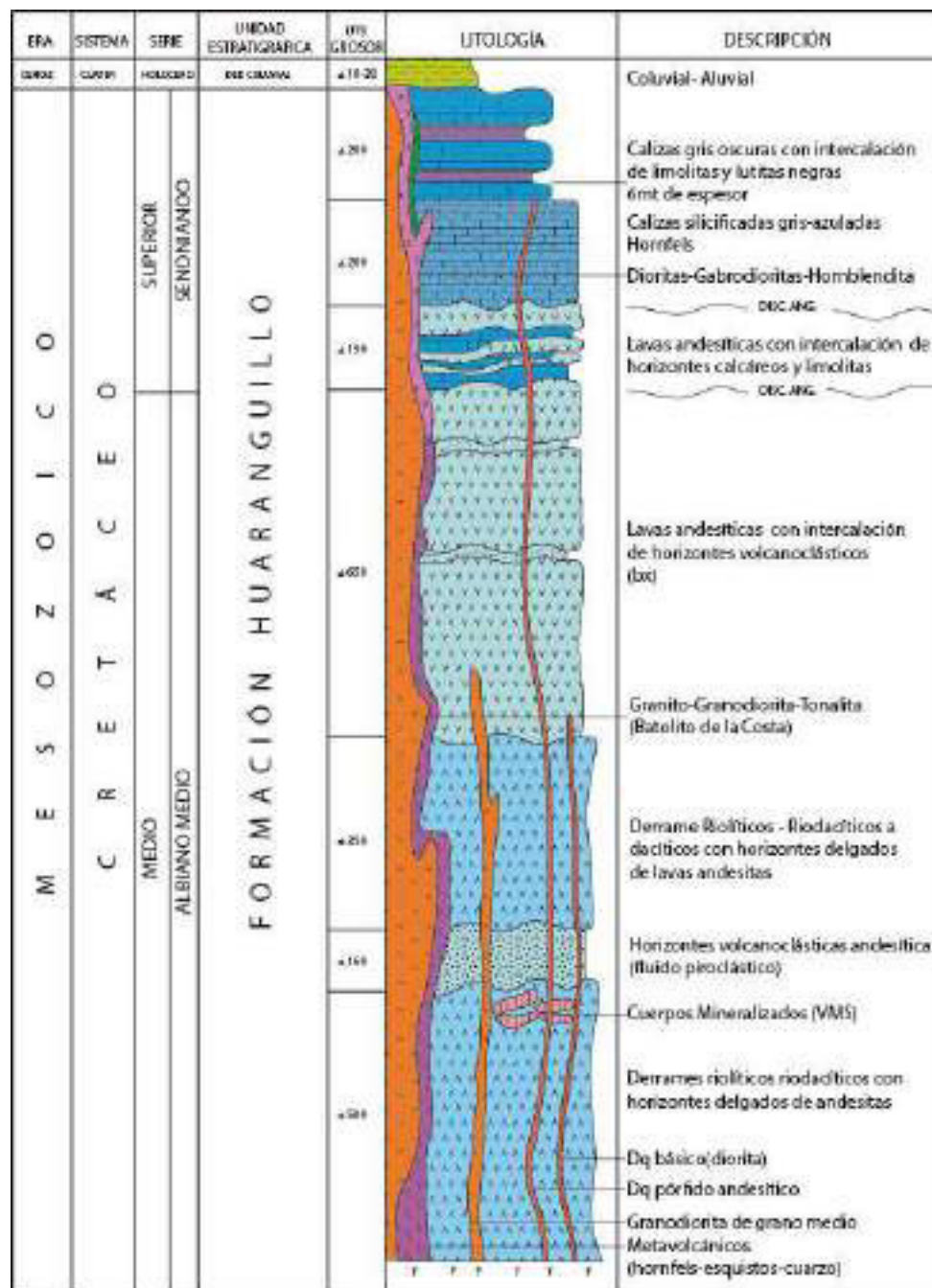


Figura 5.1.- Columna Estratigráfica Distrital

5.1 LITOESTRATIGRAFÍA

En el distrito de Cerro Lindo se reconocen las siguientes unidades litológicas principales:

5.1.1 Depósitos Cuaternarios

Estos depósitos consisten en materiales de origen coluvial y aluvial. Los depósitos aluviales se encuentran en las quebradas principales y tributarias, formados por gravas arenosas con bloques de cantos redondeados a subangulosos. Los depósitos coluviales, de menor extensión, se localizan en las laderas de las quebradas y están compuestos por gravas y bloques subangulosos dispersos, de origen gravitacional.

5.1.2 Meta-volcánicos (MV)

Se localizan en contacto directo con los intrusivos del Batolito de la Costa, presentando una orientación noroeste-sureste y buzamientos hacia el noreste. Estas secuencias tienen potencias variables, que oscilan entre 50 y 400 metros. El intrusivo generó un metamorfismo regional en las rocas volcano-sedimentarias adyacentes (andesitas, riolitas y limolitas), originando rocas metamórficas (meta volcánicas) con texturas esquistosas, hornfels y granoblásticas. Se observan esquistos de muscovita (sericita)-biotita con intercalaciones bandeadas de cuarzo y hornfels gris-verdosos que contienen feldespatos, biotitas, andalucita y, en algunos casos, calcita, baritina y pirita.



Foto 2.- Afloramientos de Meta-volcánicos constituidos por hornfels-esquistos y cuarzo

5.1.3 Volcánicos Félsicos (Riolitas – Riodacitas) (VF)

Las secuencias volcánicas afloran predominantemente en los alrededores de la mina Cerro Lindo, suprayaciendo a las unidades metamórficas. Estas se presentan como flujos masivos y brechas, con intercalaciones de niveles tobáceos. El rumbo general de la secuencia es N30-50°W, y en algunos sectores se evidencia una pseudoestratificación leve, con buzamientos que oscilan entre 30° y 60° hacia el noreste y suroeste.

En las inmediaciones de la mina, particularmente en los afloramientos OB3-4 de la quebrada Topará, los buzamientos de las capas alcanzan los 70° hacia el noreste y 50° hacia el suroeste. A nivel del OB2, también en la quebrada Topará, las capas muestran buzamientos de entre 45° y 50° hacia el noreste.

A nivel macroscópico, estas secuencias presentan un color gris claro a blanquecino, con texturas que van desde porfiríticas hasta afaníticas, y exhiben un ligero bandeamiento de flujo. Están compuestas principalmente por cuarzo ($\geq 10\%$) en forma de "ojos", fenocristales de feldespato potásico, plagioclasas y muscovita (sericita), todo dentro de una matriz microcristalina de cuarzo y feldespato.

En las cercanías de la mina, tanto hacia el noroeste como hacia el sureste, donde el grado de metamorfismo es bajo y las texturas originales se conservan moderadamente, las rocas muestran alteraciones características. Entre los principales minerales de alteración se encuentran la sílice, la muscovita (sericita), y los sulfuros (pirita) diseminados y en venillas. Localmente, también se observan cloritización moderada, ocurrencias de baritina, así como la presencia de óxidos de hierro (jarosita, goethita, hematita) y manganeso. En las proximidades de los cuerpos mineralizados, se distingue un patrón de alteración proximal, caracterizado por una sericitización, silicificación y piritización intensas.

Las secuencias volcánicas riolíticas-riodacíticas del distrito tienen una importancia prospectiva notable, siendo las más expuestas y las más relevantes para albergar cuerpos mineralizados tipo VMS de Cu-Zn-Pb-Ag.



Foto 3.- Muestras de mano de riolitas - riodacitas

5.1.4 Volcano-clásticos Andesíticos-Flujos Piroclásticos (VCA)

Los afloramientos se orientan en dirección NO-SE, distribuyéndose por las laderas de los cerros Campanario y Paltarumi, y extendiéndose hacia el noroeste por los sectores de Pucasalla, Pucatoro y Toldo Grande, hasta el cerro Toldo Chico. Estas unidades forman un horizonte de entre 50 y 150 metros de potencia, intercalado principalmente en las secuencias riolíticas-riodacíticas y, ocasionalmente, en secuencias andesíticas.

Litológicamente, están compuestas por fragmentos líticos subredondeados a redondeados (retrabajados) y subangulosos, con tamaños que oscilan entre 1 y 2 cm. La composición de los fragmentos es riolítica-riodacítica, embebidos en una matriz de grano medio a fino de color gris verdoso y composición andesítica. A nivel distrital, este horizonte podría considerarse como una capa guía, ya que en la mina se encuentra sobre los cuerpos mineralizados con sulfuros masivos.

Desde un punto de vista genético, estos flujos piroclásticos podrían haberse originado debido a la extrusión de flujos lávicos y la formación de domos, posiblemente por colapso gravitacional o por erupciones explosivas asociadas a la extracción de domos



Foto 4.- Afloramientos de volcano-clásticos andesíticos

5.1.5 Volcánicos Andesíticos (VA)

Estas secuencias presentan un amplio afloramiento al este-noreste del distrito, donde yacen en conformidad sobre las secuencias volcánicas félsicas (riolitas-riodacitas). Se manifiestan principalmente como flujos o lavas masivas, con la presencia de niveles tobáceos en áreas localizadas.

La parte superior de esta secuencia culmina en un ambiente volcano-sedimentario, como se observa en el cerro Mesarumi, donde se identifican flujos volcánicos andesíticos intercalados con horizontes sedimentarios compuestos por lutitas calcáreas, limolitas y calizas. Estas unidades presentan un rumbo de N50-60°W, con buzamientos de 40-50° hacia el suroeste y noreste, formando estructuras plegadas en forma de anticlinales y sinclinales.

Macroscópicamente, se caracterizan por un color gris verdoso a oscuro y exhiben texturas afaníticas, porfíricas y vesiculares. Están constituidas por fenocristales de plagioclasa y hornblenda en una matriz afanítica gris-verdosa a oscura, compuesta por minerales ferromagnesianos como piroxenos y anfíboles. Además, muestran una susceptibilidad magnética débil.

La secuencia presenta un grado de alteración débil, evidenciando la presencia de clorita, epidota, sílice y carbonatos (calcita) que rellenan cavidades, así como óxidos de hierro y manganeso (OxFe-OxMn) que se manifiestan como pátinas en fracturas.



Foto 5.- Afloramientos de lavas andesíticas frescas

5.1.6 Calizas – Limolitas – Lutitas

Afloran al este-sureste de la mina Cerro Lindo, entre las cotas de 3,400-3,500 m.s.n.m., en contacto con intrusivos dioríticos y superpuestas de manera discordante sobre las secuencias volcánicas andesíticas. La secuencia está compuesta por calizas de tonalidades gris-azulinas a oscuras, de grano medio a fino, en capas laminadas de 5 a 20 cm de espesor, intercaladas con delgados horizontes de lutitas y lutitas calcáreas gris oscuras. Presenta un rumbo NO-SE y buzamientos al NE y SO, generando estructuras plegadas. La intrusión del batolito diorítico ha provocado una intensa recristalización y metamorfismo de contacto en las calizas, formando hornfels calcosilicatados (calizas silicificadas CS)

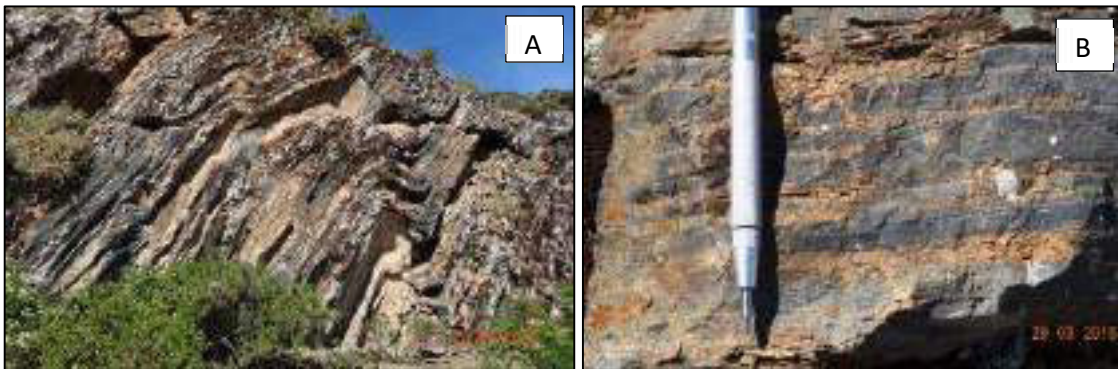


Foto 6.- A) Afloramiento de calizas, B) muestra de caliza silicificada (hornfels)

5.2 ROCAS INTRUSIVAS

El batolito está compuesto principalmente por intrusivos graníticos, predominando las granodioritas y, en menor proporción, los granitos. Estos intrusivos rodean las unidades volcánico-sedimentarias, sugiriendo la presencia de posibles *roof pendants*. En el distrito, también se observan afloramientos de dioritas y hornblenditas más antiguas, así como de granodioritas-tonalitas más recientes y de menor tamaño.

Adicionalmente, se presentan numerosos diques que cortan las secuencias volcánico-sedimentarias. Los más comunes son los diques de pórfido andesítico, de dimensiones kilométricas, que incluso atraviesan los intrusivos graníticos. También se encuentran diques de composición diorítica (básicos), que son menos abundantes, más antiguos y de menor extensión.

A 4 km al noroeste del Caserío de Huirpiná (Concesión Cerro Lindo 5), en la carretera nueva hacia Lunahuaná, se observan afloramientos de calizas levantadas (*roof pendants*) debido a las intrusiones granodioríticas. En estos contactos, se evidencia un proceso de metasomatismo de contacto, que incluye recristalización, marmolización y la formación de calizas granatizadas (granates marrones claros con epidota), junto con ocurrencias de minerales de cobre oxidado (malaquita, crisocola y azurita).

5.2.1 Dioritas – Hornblenditas (Di – Hb)

Estos intrusivos representan las rocas más antiguas del Batolito de la Costa y se encuentran mejor expuestos al este y noreste de la mina Cerro Lindo. Son atravesados por intrusivos más recientes y de composición más ácida.

Desde un punto de vista macroscópico, se caracterizan por una textura fanerítica gruesa y uniforme, con ligeras variaciones en el índice de color. Sus componentes principales son plagioclasas, hornblenda y biotita, acompañados de calcita, epidota y cuarzo presentes en venillas o en concentraciones irregulares

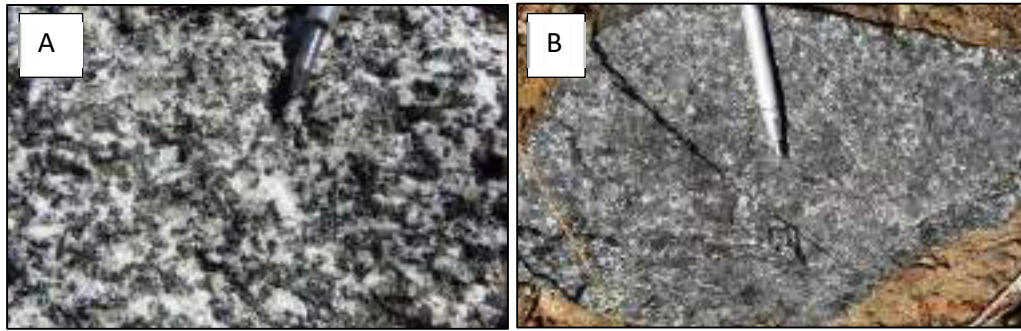


Foto 7.- A) Dioritas, B) Gabrodioritas-horblenditas.

5.2.2 Granodioritas – Tonalitas (Gn-Gd, Tn)

Estos intrusivos afloran extensamente en el área de las concesiones, rodeando las unidades volcánicas-sedimentarias.

Macroscópicamente, presentan un color gris claro y se caracterizan por una textura equigranular, holocristalina, de grano grueso. Entre los minerales esenciales, se reconocen a simple vista plagioclasa, cuarzo, algo de ortosa, abundante hornblenda y escasa biotita.

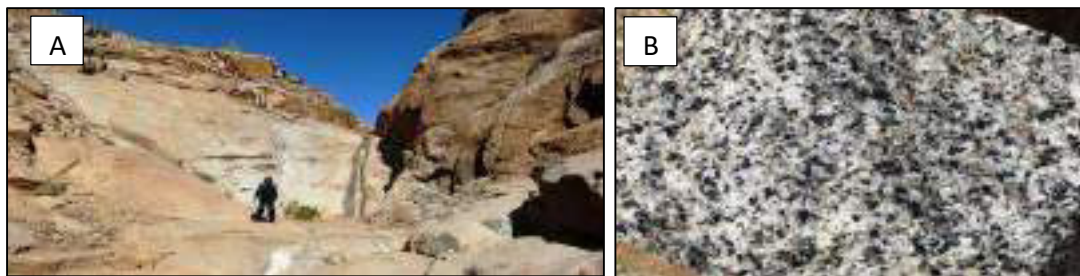


Foto 8.- A) afloramiento de intrusivos graníticos (Qda. Gallo Rumi); B) muestra de mano de granodioritas-tonalitas

5.2.3 Granodiorita – Tonalita (Gd-To) Patahuasi

De posible edad reciente, este intrusivo aflora a 400 metros al noreste de la mina Cerro Lindo (Boca Mina 1875), a lo largo de la quebrada Topará, en dirección este-sureste. Tiene una extensión de 3.5 km de longitud y 300-600 metros de ancho, intruyendo en secuencias volcánicas e intrusivos graníticos (granodioritas y dioritas). Macroscópicamente, se presenta con un color gris claro y una textura equigranular, holocristalina de grano medio. Entre sus minerales esenciales se identifican plagioclasas, cuarzo y biotitas, con cantidades menores de ortosa y anfíboles (hornblenda). Exhibe una ligera cloritización.

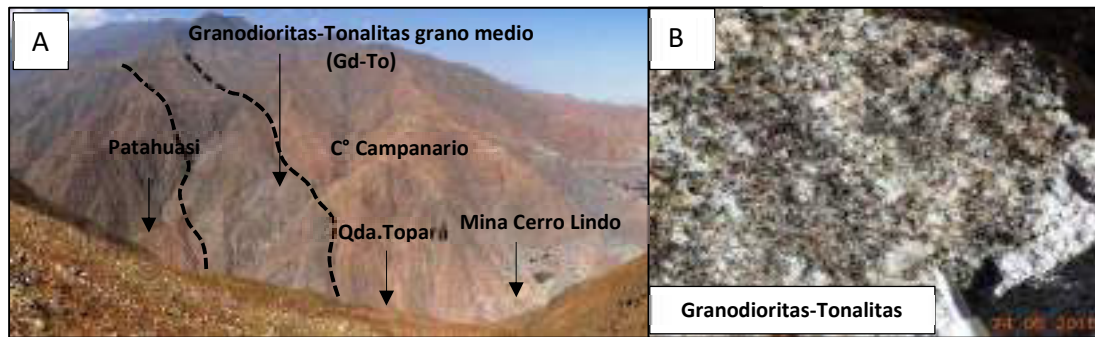


Foto 9.- A) Vista panorámica al este, se muestra afloramientos intrusivos granodioríticos-tonalitas de grano medio y edad más reciente. B) Muestra de mano de granodiorita-tonalita grano medio.

5.2.4 Diques Básicos

En el área, los afloramientos son escasos y se caracterizan por intruir principalmente en secuencias volcánicas. Estos intrusivos tienen una extensión corta y presentan un rumbo preferencial NO-SE con buzamientos de alto ángulo, predominantemente hacia el NE. Su color es gris oscuro, y su composición varía entre dioritas y dioritas basálticas. La textura es equigranular de grano medio, y se identifican plagioclasas, hornblenda y biotitas. Exhiben una susceptibilidad magnética de débil a moderada, y debido a la alteración, muestran una notable cloritización.

5.2.5 Diques Pórfido Andesíticos

Los diques más comunes afloran alrededor del yacimiento y se extienden hasta la zona prospectiva de Ventanayoc. Estos diques tienen varios kilómetros de extensión e intruyen en toda la secuencia volcánico-sedimentaria, incluso cortando los intrusivos del Batolito de la Costa. Presentan un rumbo general de NNE-SSO con buzamientos predominantemente hacia el este. Su color es gris claro y tienen una textura porfírica, con abundantes fenos de plagioclasas, hornblenda y biotitas. La presencia de estos diques podría indicar un posible corredor estructural a través del cual migraron los fluidos hidrotermales.

CAPÍTULO VI

6 GEOLOGIA DEL YACIMIENTO

La geología local ha sido caracterizada mediante mapeo geológico superficial a escala 1:2000, así como por información obtenida de mapeos subterráneos y registros de perforaciones diamantinas. Las secciones siguientes detallan la estratigrafía local, la litología y los procesos metamórficos.

6.1 LITOESTRATIGRAFÍA

A nivel local estratigráficamente el yacimiento Cerro Lindo se constituye de secuencias volcánicas relacionadas a procesos efusivos y explosivos.

Estratigráficamente, el yacimiento Cerro Lindo se compone de secuencias volcánicas originadas por procesos efusivos y explosivos. Estas secuencias volcánicas han experimentado alteraciones significativas, tanto pre- como post-volcánicas, que incluyen oxidación, alteración hidrotermal y metamorfismo.

La alteración proximal a los cuerpos mineralizados se caracteriza por halos de silicificación pervasiva, con ensambles de sílice y sericita, y un incremento de pirita diseminada. Las alteraciones de menor temperatura presentan ensambles de sílice y clorita, con cantidades reducidas de pirita diseminada.

La estratigrafía volcano-sedimentaria en Cerro Lindo se dispone de la siguiente manera, de abajo hacia arriba:

- a) (VF) Volcánicos Félsicos, constituidos principalmente por flujos riolíticos/riodacíticos con diferentes grados texturales (aún se desconoce la base estratigráfica de la unidad volcánica prospectiva en profundidad).
- b) (To) Horizonte de tobas/tufos riolíticos.
- c) (VA) Flujos Andesíticos
- d) (VCA) Volcano-clásticos Andesíticos
- e) (BR) Brechas con clastos y matriz riolíticas/riodacíticas.
- f) (BA) Andesitas brechada, con clastos riolíticos-riodacíticos sub-angulosos 1-2 cm, con fiammes rellenas de sílice, ojos de vidrio volcánico y fenos de plagioclasas.

6.1.1 Volcánicos Félsicos

Estas secuencias, de gran extensión, son predominantemente visibles en el área y están compuestas por intercalaciones sucesivas de riolitas, riodacitas y dacitas (ver Foto 10). A lo largo de la secuencia, se observa una alteración significativa y un metamorfismo recrystalizador, especialmente en los niveles inferiores. Estas secuencias hospedan y bordean los cuerpos mineralizados en el sector de la mina.

6.1.2 Horizonte de Tobas/Tufos

En el sector Topará Sur, se observan afloramientos en la parte superior de los cuerpos mineralizados. Esta secuencia está compuesta por rocas gris-blanquecinas, de bajo peso específico y ligeramente porosas, que presentan ojos de vidrio volcánico. La roca muestra una moderada a intensa argilización, lo que sugiere que podría actuar como un posible horizonte guía (ver Foto 11 A).

6.1.3 Volcánicos Andesíticos

El horizonte está compuesto por flujos andesíticos, con fenos de plagioclasa en una matriz gris-verdosa oscura, cloritizada y con ligera susceptibilidad magnética (ver Foto 12 B). En algunas áreas, se observan lavas almohadilladas (pillow lavas). Este horizonte presenta un rumbo general E-O con buzamientos hacia el sur.

6.1.4 Volcano-clásticos Andesíticos (lapilli)

Los afloramientos son extensos y han sido identificados al menos dos subniveles, intercalados con riolitas y riodacitas, en el sureste y noroeste del área. Estas secuencias están formadas por fragmentos líticos subredondeados a redondeados (retrabajados) de 1 a 4 cm, con composición andesítica a riodacita, en una matriz de grano medio-fino gris-verdosa de composición andesítica (ver Foto 10). Genéticamente, estos flujos piroclásticos podrían haberse originado por extrusiones de flujos lávicos y domos, ya sea por colapso gravitacional o por erupciones explosivas.

6.1.5 Brechas Riolíticas (clastos/matriz 5/1)

En el extremo sureste de la zona, afloran clastos angulosos a subangulosos con diámetros que varían de 1 a 40 cm, de composición riolítica y riodacita. Estos clastos están en una matriz de la misma composición y presentan alteraciones de sílice, sericita y pirita, junto con Fe_{ox} (goethita y hematita) en las fracturas (ver Fotos 12 y 13).

6.1.6 Andesitas Brechadas (clastos/matriz 1/5)

En el área de Topará Norte, al noroeste, aflora una secuencia suprayacente a la volcanoclástica. Está constituida por clastos riolíticos subangulosos de aproximadamente 1-2 cm de diámetro, con fenos de plagioclasas y vacuolas (fiammes) rellenas de sílice (vidrio volcánico), en una matriz cloritizada de composición andesítica.

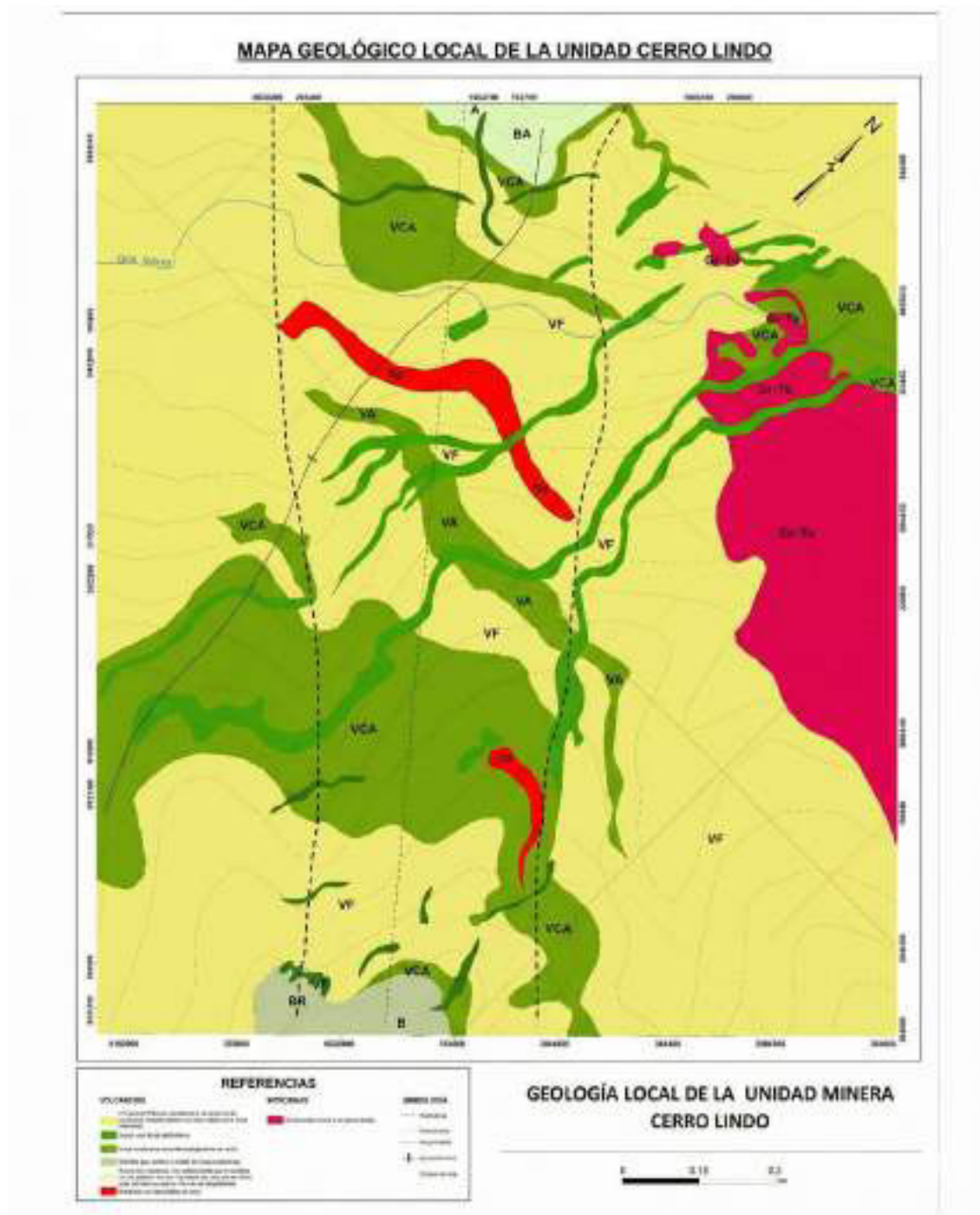


Figura 6-1.- Plano Geológico Local

ERA	SISTEMA	SERIE	UNIDAD ESTRATIGRAFICA	PES. GEOLÓGICA		
CUATRO	CUATRO	CUATRO	DE COLUMA			
M E S O Z O I C O	C R E T Á C E O	MIDIO	ALBIANO MEDIO	FORMACIÓN HUARANGUILLO	Columna aluvial	
					±90m	Bx riolíticos/riodacíticos, clastos angulosos subangulosos 5-30 cm de diámetro en matriz de polvo en fragmentos riolíticos, riodacíticos
					±90m	Volcanoclasticos andesíticos (lapilli) fragmentos redondeados a subredondeados tolaicos lávicos en matriz andesítica
					±80m	Rujos riolíticos riodacíticos
					±80m	Diques básicos dioríticos gabro dioríticos
					±150m	Volcano-clástico andesíticos (VCA)
					±100m	Rujos riolíticos riodacíticos (VF)
					±30m	Rujos andesíticos (VA)
					±70m	Rujos riolíticos riodacíticos (VF)
					±90m	Horizontes de tobas y tufos gris blanquesinos argilizados con presencia de vidrio volcánico
T E R C E R O	P E R M I A N O	MIDIO	ALBIANO MEDIO	FORMACIÓN HUARANGUILLO	Cuerpos mineralizados (CNB)	
					Diques porfido andesítico frescos (PA)	
					Cuerpos mineralizados	
±700m	Rujos riolíticos riodacíticos (VF) con textura brechada y perturbado					

Diagrama de un cuerpo mineralizado (CNB) con una brecha (BR) y un volcán (VCA).

Figure 6-2.- Columna Estratigráfica Local



Foto 10.- Volcánicos félsicos - flujos riolíticos-riodacíticos



Foto 11.- Afloramiento y muestra de mano de Volcano-clásticos andesíticos.



Foto 12.-, A) Tobas/tufos, B) Flujos Andesíticos



Foto13.- Brechas riolíticas con alteración sílice-sericita con OxFe (jarosita-goethita) como pátinas en fracturas

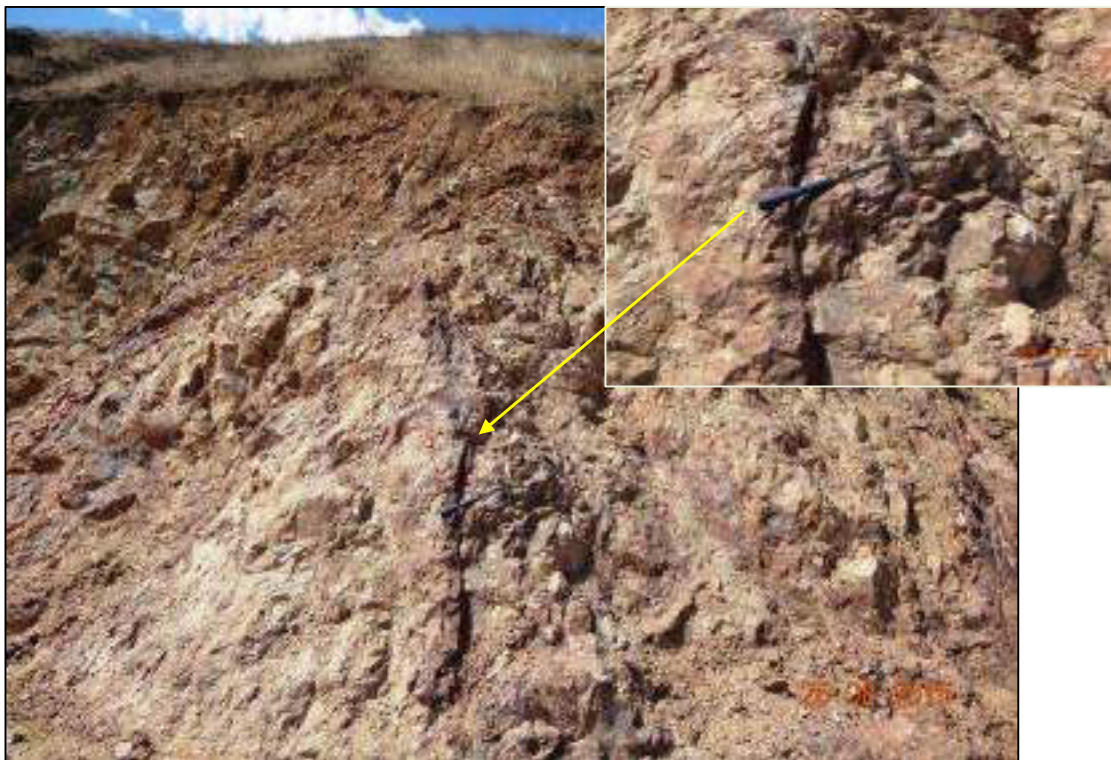


Foto 14.- Brechas riolíticas con alteración sílice-sericita-pirita con OxFe (goethita-hematita en fracturas sub-verticales, posibles conductos-feeders.

6.2 ROCAS INTRUSIVAS

Las rocas intrusivas del Batolito de la Costa, de edad Cretácico Superior a Terciario, se emplazaron durante un periodo de 64 Ma (Pitcher y Cobbing, 1985). El batolito está compuesto principalmente por granitos y granodioritas en contacto con las unidades volcánico-sedimentarias. También se encuentran afloramientos de intrusivos más antiguos y de menor dimensión, como dioritas y hornblenditas. Además, hay una gran cantidad de diques que afectan las secuencias volcánico-sedimentarias; los más comunes son los diques de pórfido andesítico, seguidos por los de composición básica, como microdioritas y gabrodioritas.

6.2.1 Granitos – Granodioritas (Gn-Gd)

Afloran extensamente al suroeste de la mina Cerro Lindo, en contacto directo con las secuencias volcano-sedimentarias, lo que genera un halo de metamorfismo regional compuesto por hornfels, esquistos y milonitas. Macroscópicamente, presentan un color gris claro y se caracterizan por una textura equigranular, holocristalina de grano grueso. Entre sus minerales esenciales, se reconocen fácilmente plagioclasa, cuarzo, ortosa, abundante hornblenda y biotita (Foto 16 A).

6.2.2 Granodiorita – Tonalita Patahuasi (Gd-To)

Aflora a 400 metros al noreste de la mina Cerro Lindo (Boca Mina 1875), siguiendo la quebrada Topará en dirección este-sureste, con una extensión de 3.5 km de largo y entre 300 y 600 m de ancho. Intruye tanto las secuencias volcánicas como los intrusivos graníticos (granodioritas-dioritas). Macroscópicamente, presenta un color gris claro y una textura equigranular, holocristalina de grano medio. Entre sus minerales esenciales se identifican plagioclasas, cuarzo y biotitas, con menor presencia de ortosa y anfíboles (hornblenda) (Foto 15 B).

6.2.3 Diques Básicos

En el área, afloran en los extremos noroeste y sureste del yacimiento, intruyendo principalmente las secuencias volcánicas. Son de corta extensión y presentan rumbos N-S y NO-SE, con buzamientos de alto ángulo, preferentemente hacia el este. Su color es gris oscuro, con una composición que varía de dioritas a gabro-dioritas y una textura equigranular de grano medio. Macroscópicamente, se observan plagioclasas, hornblenda y biotitas, con una

susceptibilidad magnética débil a moderada. Por alteración, se encuentran mayormente cloritizados (Foto 15 C).

6.2.4 Diques Pórfido Andesíticos

Son los más comunes y afloran alrededor del yacimiento, extendiéndose hasta la zona prospectiva de Ventanayoc. Tienen una extensión kilométrica, intruyen toda la secuencia volcano-sedimentaria e incluso cortan los intrusivos del Batolito. Presentan un rumbo general NNE-SSO, con buzamientos entre 60° y 80°, predominantemente hacia el este. Macroscópicamente, son de color gris claro y exhiben una textura porfirítica, con abundantes fenocristales de plagioclasas, hornblendas y biotitas. La presencia de estos diques indica un buen control estructural del yacimiento. A nivel regional, se comportan como posibles corredores estructurales para la migración de fluidos hidrotermales (Foto 15 D).



Foto 12 Rocas Intrusivas: A) Granito-Granodiorita Batolito de la Costa, B) Granodiorita tonalita Patahuasi, C) Dique pórfido andesítico, D) Dique básico (dioritas).

CAPÍTULO VII

7 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

De acuerdo con los estudios y observaciones geológicas en la unidad minera Cerro Lindo, se han identificado tres sistemas de fallas: NS, NO-SE y NE-SO. Estos sistemas están controlados y delimitados por la Falla NE Topará, que separa al sur el predominio del sistema NO-SE y al norte el sistema NS.

El análisis estructural realizado en Cerro Lindo indica que el sistema dominante es el N-S, seguido por el NO-SE, que se manifiesta en la dirección principal de los cuerpos mineralizados y en el intrusivo Catahuasi. El tercer sistema, NE-SO, está relacionado con la falla Topará.

El análisis cinemático de fallas muestra que el sistema NS presenta un comportamiento inverso o normal con una componente de rumbo menor. Durante el periodo compresivo, el eje de esfuerzo principal (δ_1) tiene una dirección EO; en la etapa distensiva, tiende a ser subvertical, generando una distensión EO. El sistema NO-SE exhibe una cinemática distensiva, reflejada en fallas normales con una menor componente de rumbo. Las estrías presentan un ángulo de pitch alto, y el eje de esfuerzos principal (δ_1) es subvertical, provocando distensión en sentido NE-SO. El sistema NE-SO se caracteriza por dos tipos de movimiento: estrías con ángulo de pitch alto y cinemática inversa y normal con componente de rumbo. Durante la etapa compresiva, el eje de esfuerzo principal (δ_1) se orienta NO-SE, mientras que en la etapa distensiva tiende a ser subvertical, generando distensión NO-SE.

El modelamiento tridimensional de las principales fallas y lineamientos indica que la geometría de los cuerpos mineralizados está directamente relacionada con la dirección de las principales fallas. La orientación principal de los cuerpos (NO) es subparalela a las fallas Pahuaypite, Patahuasi y 35. Además, a partir del intercepto entre la Falla 35 y la Falla 75, se observa que el cuerpo 3-4 se desplaza en dirección N-S de manera paralela a la Falla 75, incluso cruzando la Falla Topará.

7.1 Análisis Cinemático de Fallas y Fracturas

Para identificar los sistemas de fallas y fracturas predominantes en el yacimiento Cerro Lindo, y comprender de manera fundamentada los controles en el emplazamiento y la geometría de los cuerpos mineralizados, se recolectaron 280 datos de fallas y fracturas. Estos datos fueron procesados utilizando el software Dips v6.0 (Rocscience, 2012), generando un diagrama de densidad de polos (Figura 7.1).

Los resultados muestran un claro predominio del sistema N-S en Cerro Lindo, evidenciado por la alta densidad de polos en el diagrama de rosetas (Figura 7.2). El sistema NO-SE, con una densidad intermedia, es el segundo en importancia, mientras que el sistema NE-SO presenta un desarrollo limitado, posiblemente relacionado con el lineamiento Topará. La orientación de los planos principales de cada sistema indica una tendencia hacia fallas subverticales, con inclinación al NE (sistema NO-SE), al SE (sistema NE-SO) y al E (sistema NS), como se muestra en la Figura 7.1.

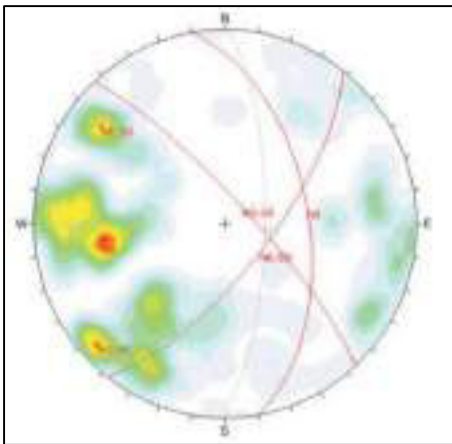


Figura 7-2, Diagrama de densidad de polos indicando principales sets de fallas y fracturas.

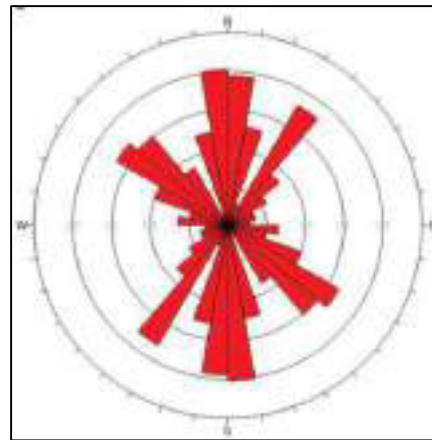


Figure 7-1, Diagrama de roseta

7.1.1 Sistema N-S.

En este sistema de fallas se han identificado tres tipos de movimientos que evidencian su evolución temporal en el área de estudio. Se observaron abundantes estrías bien conservadas con un ángulo de pitch alto, asociadas a cinemática normal e inversa, lo que indica procesos de distensión y compresión. Adicionalmente, se identificaron algunas estrías de bajo ángulo (pitch) que sugieren una cinemática de rumbo.

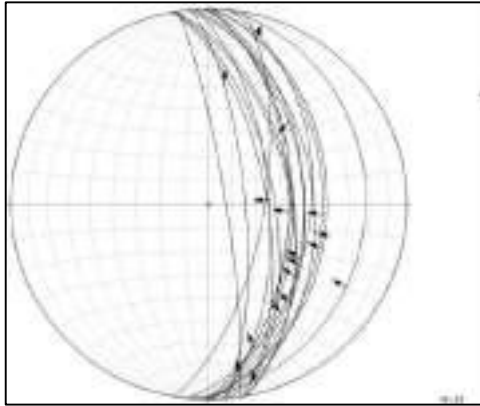


Figura 7.3.- Vista de proyección estereográfica de fallas del sistema N-S

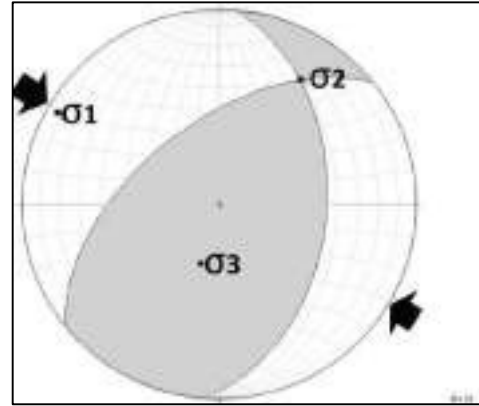


Figura 7.4.- Diagrama de diedros rectos representando las zonas en compresión (blanco) y distensión

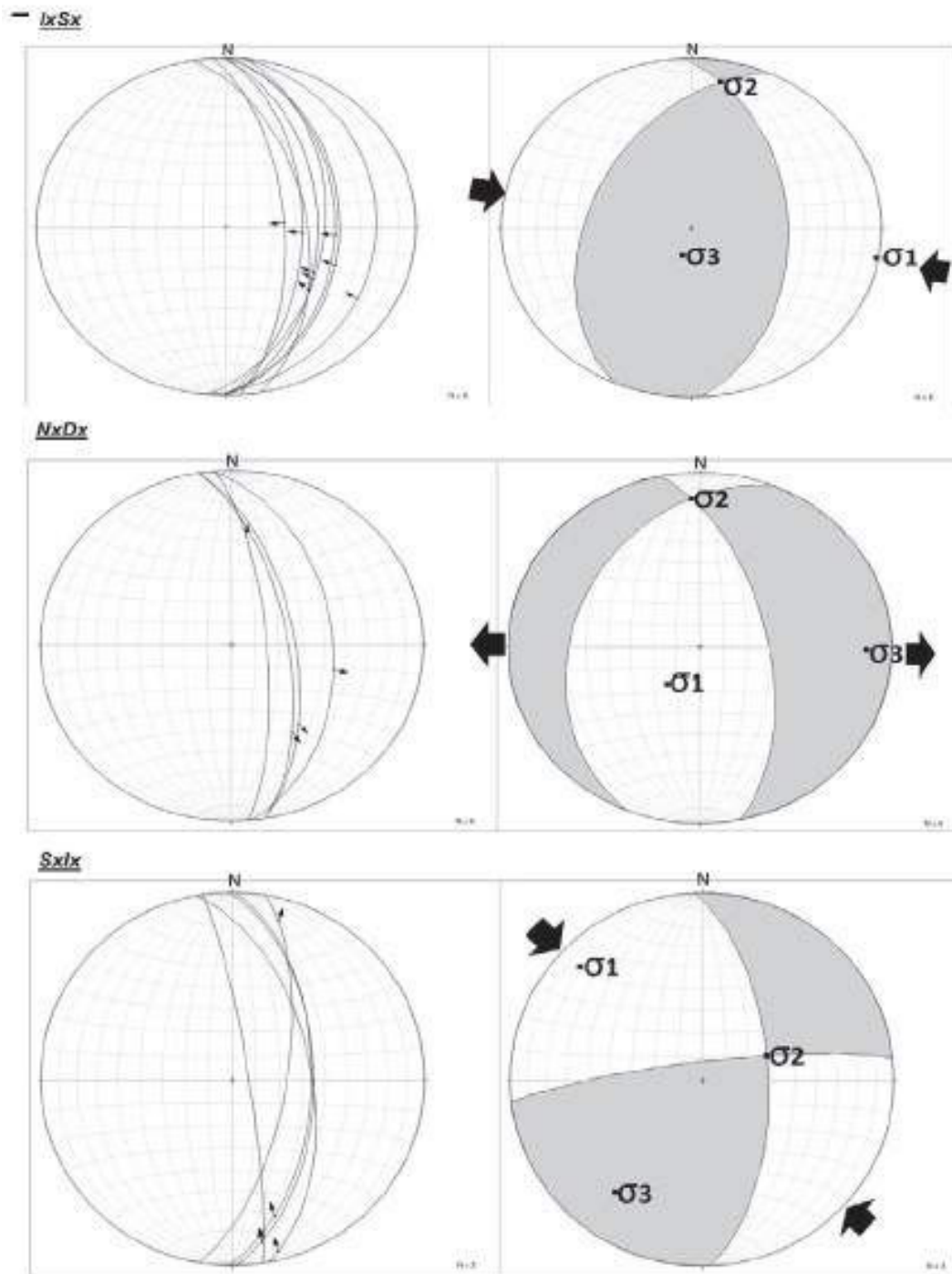


Figura 7.5.- Estereogramas representando tres tipos de movimiento identificados en el sistema N-S.

Parte superior izquierda: fallas de tipo inverso (compresión). Centro izquierda: fallas de tipo normal (distensión). Parte inferior izquierda: fallas de rumbo (transpresión - transtensión). Derecha: diagramas de diedros rectos que muestran las zonas de compresión (blanco) y distensión (gris) para los tres tipos de movimiento identificados en el sistema N-S.

7.1.2 Sistema NO-SE

Este sistema de fallas presenta una cinemática predominantemente normal, con una componente mayormente dextral a sinistral, evidenciada por estrías bien conservadas tanto en la superficie como en el interior de la mina. Las Figuras 7.6 y 7.7 muestran el diagrama de diedros y la proyección estereográfica del sistema NO-SE.

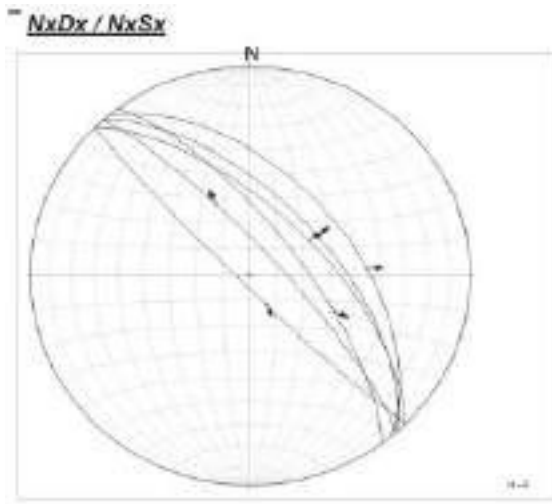


Figure 7.6.- Vista de proyección estereográfica de fallas del sistema NO-SE.

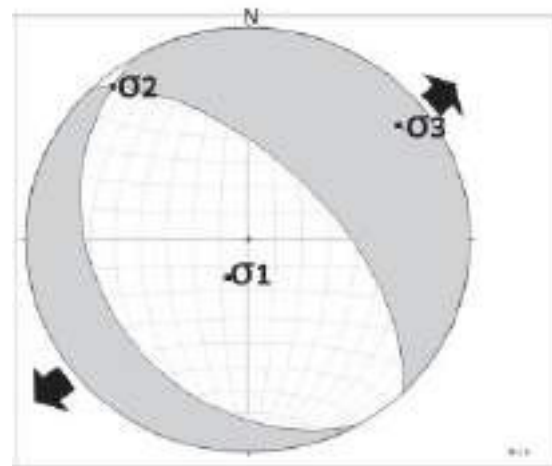


Figura 7.7.- Diagrama de diedros rectos representando las zonas en compresión (gris) y distensión (blanco)- Sistema NO-SE.

7.1.3 Sistema NE-SO

Se han identificado estrías de alto ángulo (pitch) que reflejan dos tipos de movimiento: uno inverso sinestral-dextral y otro normal dextral-sinestral. Estos movimientos se interpretan como etapas compresiva y distensiva en la evolución del sistema. La Figura 7.8 presenta la proyección estereográfica y el diagrama de diedros del sistema NE-SO.

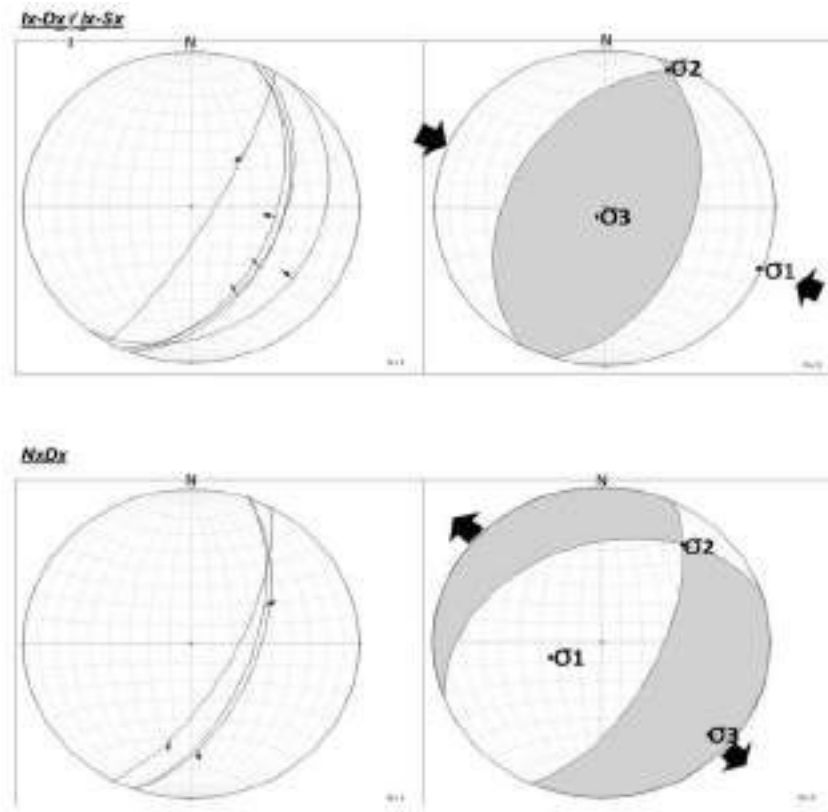


Figura 7.8.- Vista de proyección estereográfica de los dos tipos de movimiento para el sistema NE-SO.

Arriba: Fallas de tipo inverso y diagrama de diedros rectos mostrando compresión NO-SE (blanco).

Abajo: Fallas de tipo normal y diagrama de diedros rectos mostrando distensión NO-SE (gris).

En resumen, en el Sistema NS se han identificado tres tipos de movimiento, reflejados por estrías de alto ángulo (pitch): cinemática inversa o normal con componente de rumbo menor, y cinemática sinestral evidenciada por estrías de bajo ángulo (pitch). Durante el periodo compresivo, el eje de esfuerzo principal δ_1 es esencialmente este-oeste (EO), y durante la etapa

distensiva tiende a ser subvertical, generando distensión EO. El periodo transpresivo se caracteriza por un esfuerzo principal δ_1 orientado NO-SE, compatible con los movimientos descritos.

El Sistema NO-SE muestra una cinemática distensiva, reflejada en fallas de tipo normal con una componente de rumbo menor. Las estrías presentan un ángulo de pitch alto, con el eje de esfuerzo principal δ_1 tendiendo a ser subvertical y generando distensión en sentido NE-SO.

Finalmente, el Sistema NE-SO se caracteriza por dos tipos de movimiento: estrías con alto ángulo de pitch que muestran cinemática inversa y normal con componente de rumbo. Durante la etapa compresiva, el eje de esfuerzo principal δ_1 está orientado NO-SE, mientras que durante la etapa distensiva tiende a ser subvertical, generando distensión NO-SE.

7.2 Modelamiento 3D

Se ha desarrollado un modelo tridimensional de las principales estructuras, incluyendo fallas y lineamientos, que presentan continuidad y están asociadas a la mineralización. Este modelo se construyó mediante la interpolación de las fallas observadas en superficie con las identificadas en los niveles subterráneos, utilizando coordenadas UTM WGS84 Zona 18S.

El resultado es una representación de las superficies que corresponden a estas estructuras, como se muestra en la Figura 7.9.

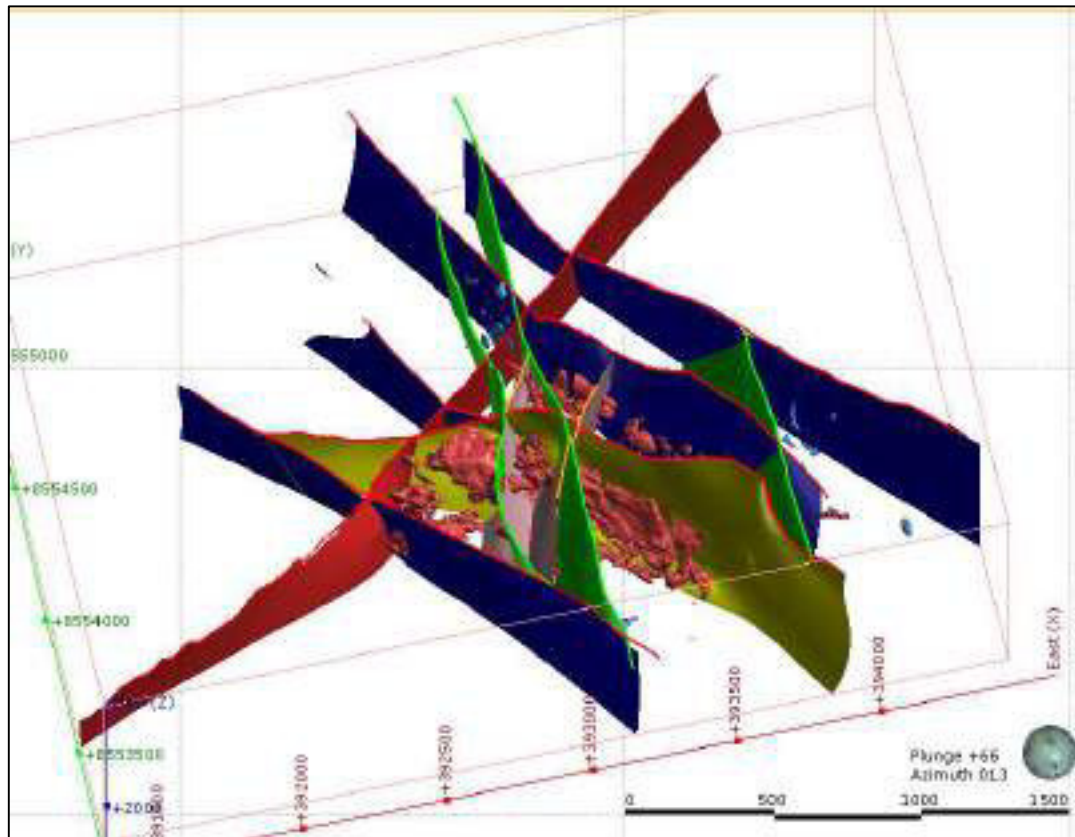


Figure 7.9.- Resultado del modelo 3D de estructuras mayores.

Sistema N-S



Figura 7.10.- Primer Sistema de Fallas N-S

Sistema NE-SO

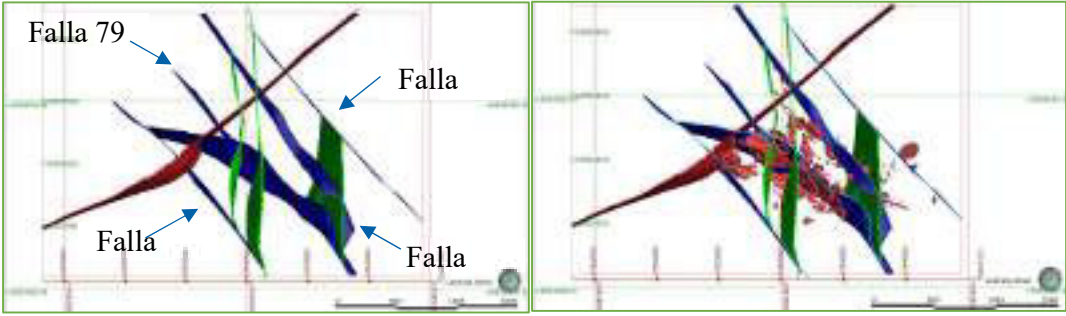


Figura 7.11.- Segundo Sistema de Fallas NE-SO

Sistema NO-SE

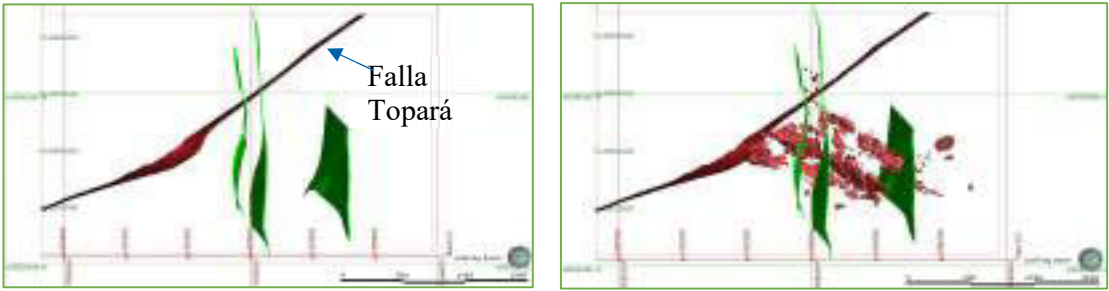


Figura 7.12.- Tercer Sistema de Fallas NO-SE

CAPITULO VIII

8 GEOCRONOLOGÍA DEL YACIMIENTO

Para comprender mejor la geología y estratigrafía del yacimiento Cerro Lindo, se llevaron a cabo estudios de geocronología que incluyeron el análisis de seis muestras de roca: tres de superficie y tres de sondaje. Estas muestras fueron enviadas a CODES Technology Services, donde se trituraron a un tamaño menor a 400 micras. Posteriormente, se analizaron utilizando el método U-Pb en circones con un espectrómetro de masas por ablación láser de la Universidad de Tasmania. Los circones presentan una amplia variación en tamaño, forma y abundancia, incluyendo cristales euhedrales, anhedrales y redondeados, con tamaños que varían de 20 a 200 micras.

Tabla 1 Lista de muestras analizadas por el método U-Pb

Sample	Ubication	East	North	Elevation	Zircon Age (Ma)	Litology
279333	Surface	393,290	8,555,587	2,240	73.89	± Dique pórfido andesítico
279331	CL-15-1660	391,697	8,554,076	1,475	82.35	± Granodiorita grano grueso (Batolito de la Costa)
279338	Surface	393,826	8,553,476	2,522	89.87	± Dique diorítico
279332	CL-14-1415	393,853	8,554,357	1,817	93.72	± Granodiorita grano fino a medio (Patahuasi)
279337	Surface	393,840	8,553,458	2,535	105.7	± Riolita
279334	CL-14-1355	392,537	8,553,999	1,651	106.9	± Riolita (Hanging Wall)

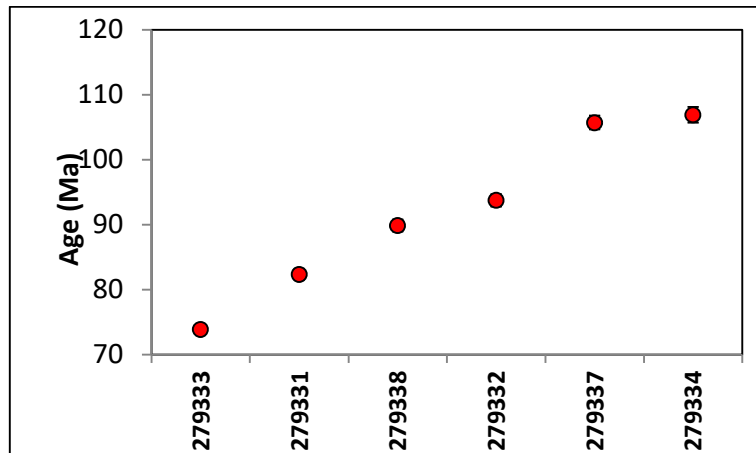


Figura 8.1.- Edad de los circones en muestras analizadas (mediante U-Pb)

8.1 DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA DE MUESTRAS

8.1.1 Muestra N° 279333:

COORDENADAS (WGS84) : 393,290 E - 8°555,587 N

COTA : 2,240 m

Descripción Macroscópica: Dique pórfido andesítico (Foto), gris-blanquecino, fenos de plagioclasas-feldespatos de 1-10 mm, en matriz gris-verdosa de grano fino-medio cloritizado.

R: N-S, B: 60-70°E, potencia 20 metros.

Edad: 73.89 Ma

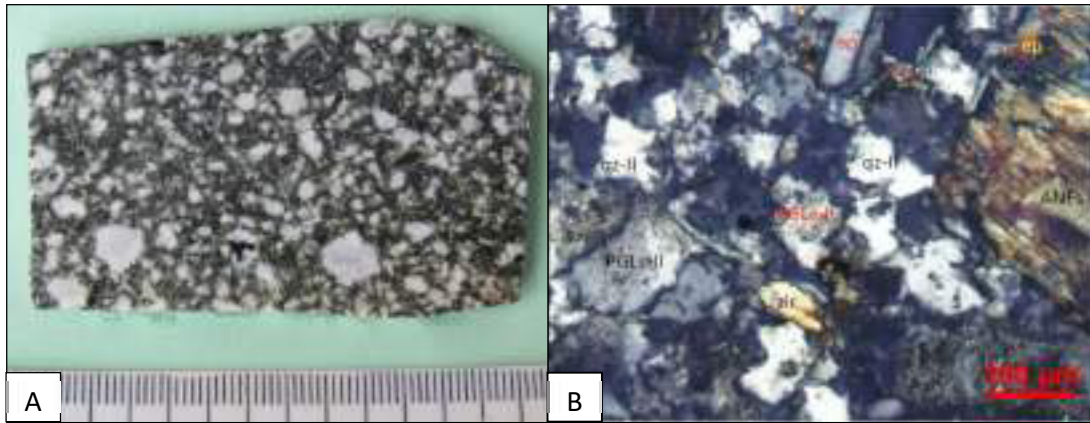


Foto 8.1.1.- A. Foto de muestra de mano. B. Microfotografía en luz transmitida y nicoles cruzados.

Descripción Microscópica: El pórfido dacítico muestra una textura porfírica con una matriz algo más abundante que los fenocristales (Foto 16-B). Los fenocristales predominantes son plagioclasas (PGLs-I), que presentan maclas y zonación parcial. También se encuentran fenocristales menos abundantes y más pequeños de anfíboles (ANFs), generalmente subhédricos y prismáticos alargados, algunos con maclas lamelares.

La matriz de grano fino está compuesta principalmente por plagioclasas (PGLs-II), con cuarzo (qz-II) y anfíboles subordinados. Las plagioclasas de la matriz a veces muestran maclas polisintéticas y, en general, están menos sericitizadas que las plagioclasas de los fenocristales (PGLs-I).

Se observa una ocurrencia esporádica de diminutos cristales sub-euhédricos de apatito y zircón, presentes como granos aislados. La muestra presenta una débil susceptibilidad magnética, lo que sugiere que los diminutos minerales opacos diseminados podrían ser magnetita.

Mineralogía: PGLs-I (39.1%), PGLs-II (22.1%), qz-II (21.2%), ANFs (7.81%), ep (5.1%), CLOs (3.2%), ser, LCX, OPs, ab, ap, zir.

Alteraciones: Sericitización débil a moderada de la PGLs, principalmente de los fenocristales (Foto - B).

Se encuentra una escasa presencia de leucoxeno (LCX), usualmente rodeando algunos minerales opacos, probablemente óxidos de Fe-Ti. La albitización de los fenocristales de plagioclasa (PGLs) es muy débil, manifestándose en diminutos lentes generalmente irregulares. También se observan venillas muy finas y escasas de albita que atraviesan toda la muestra.

TALADRO : CL-15-1660

DE : 511m

HASTA : 518m

Edad: 82.35 Ma.

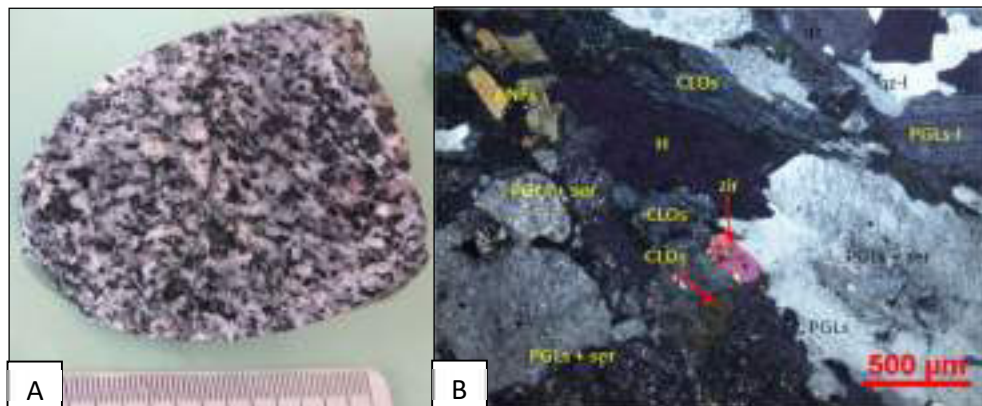


Foto 8.1.2.-A. Foto de muestra de mano. B. Microfotografía en luz transmitida y nicoles cruzados.

Descripción Microscópica: Granodiorita de textura granular alotriomórfica (Foto 17 - B), con predominancia de minerales félsicos, como plagioclasas (PGLs), feldespatos potásicos (FPKs) incluyendo pertitas (P), y cuarzo (qz), sobre los minerales máficos, como anfíboles (ANFs) y piroxenos (PXs).

Entre los minerales máficos primarios, los anfíboles (ANFs) predominan con un color verdoso en nicols paralelos, mientras que los anfíboles de tono más pardo, probablemente ortopiroxenos, están ocasionalmente englobados por los verdosos y presentan maclas. Los clinofanfíboles suelen estar fuertemente cloritizados. Los cristales de clinopiroxenos (CPXs) son muy escasos y presentan maclado simple. No se ha observado biotita.

Entre los minerales accesorios, se identifican pequeños y escasos apatitos subhédricos de hábito prismático, minerales opacos (principalmente magnetita y algunos sulfuros), y zircones casi euhédricos como granos aislados. Los minerales opacos (OPs) suelen asociarse a los clinofanfíboles cloritizados.

Mineralogía: PGLs-I (37.7%), ANFs (21.1%), qz-I (18.0%), FPKs-I (9.6%), CLOs (6.2%) cac, FPKs-III, PXs, ep, mt, ab, ap, zir, SULs CLOs, cac, FPKs-III, ep, ab

Alteraciones: Se observa cloritización de anfíboles (ANFs), sericitización de plagioclasas (PGLs), y calcitización y epidotización asociadas a micro-fracturamientos. Otros minerales secundarios, mucho más escasos, incluyen albita (ab) y feldespatos potásicos (FPKs-III) (Foto 17 - B).

La cloritización es la alteración más intensa y afecta principalmente a los anfíboles, que a veces solo presentan relictos alargados en arreglos subparalelos al clivaje de las cloritas. La sericitización afecta casi exclusivamente a las plagioclasas, aunque en ocasiones también altera a las pertitas.

Se observaron venillas muy finas de albita (ab) y feldespatos potásicos secundarios (FPKs-III) atravesando plagioclasas (PGLs), anfíboles (ANFs) y ocasionalmente apatitos. La epidota es mucho más esporádica y escasa

8.1.3 Muestra N° 279338

Ubicación

COORDENADAS (WGS84) : 393,826 E – 8553476 N

COTA : 2, 522 m

Descripción Macroscópica: Dique diorítico–gabrodiorítico (Foto 18-A) con textura pórfido–afanítica, presenta fenocristales pequeños de plagioclasas cálcicas (0.2–1 mm) en una matriz de cloritas de grano fino.

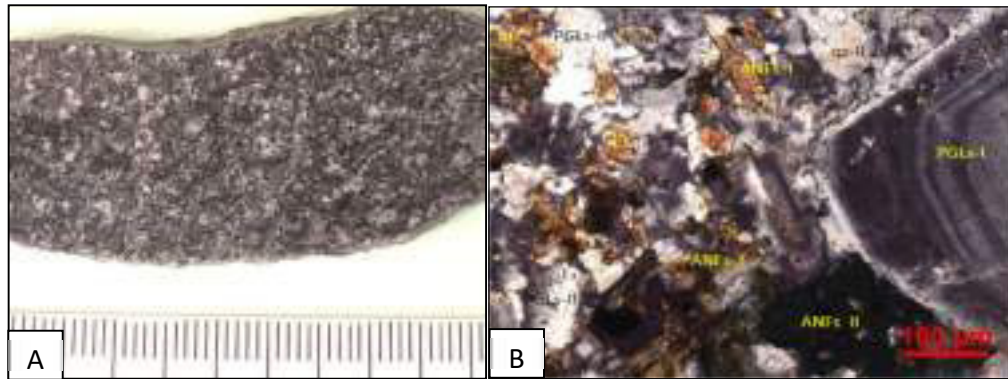


Foto 8.1.3.- A. Foto de muestra de mano. B. Microfotografía en luz transmitida y nicoles cruzados.

Descripción Microscópica: Microtonalita porfirítica con textura micro-porfirítica (Foto 18-B). La muestra presenta fenocristales más abundantes que la matriz, consistentes en pequeños cristales de plagioclasa (PGLs-I) y anfíboles (ANFs), generalmente prismáticos. Las plagioclasas suelen estar macladas y ligeramente zonadas.

La matriz es microgranular afanítica, compuesta principalmente por plagioclasas (PGLs-II), cuarzo (qz-II) y anfíboles, con biotita diseminada en menor cantidad.

Entre los minerales accesorios se encuentran apatito, esfena, zircón y minerales opacos (OPs), siendo la magnetita el mineral opaco predominante, aunque la muestra una susceptibilidad

magnética débil. El apatito se presenta como diminutos cristales euhédricos, hialinos y prismáticos, mientras que el zircón aparece como prismas cortos, generalmente asociados a la esfena.

Mineralogía: PGLs-I (27.1%), qz-II (20.8%), PGLs-II (19.1%), ANFs (24.8%), bt (3.9%), bt, ser, CLOs, efn, OPs, ep, ap, mt, zir

Alteraciones: La alteración predominante en la muestra es la sericitización, que afecta de manera incipiente a las plagioclasas (PGLs). También se observa cloritización, aunque en menor grado, de los anfíboles. La epidotización ocurre en proporción aún menor.

8.1.4 MUESTRA N° 279332

TALADRO : CL-14-1415

DE : 360

HASTA : 370

Descripción Macroscópica: Granodiorita-tonalita (Foto 19-A) de grano medio (Patahuasi). Macroscópicamente, presenta un color gris-claro con una textura equigranular y holocristalina de grano medio. Entre los minerales esenciales se identifican plagioclasas, cuarzo y biotitas, con cantidades menores de ortosa y anfíboles (hornblenda), que muestran una cloritización débil.

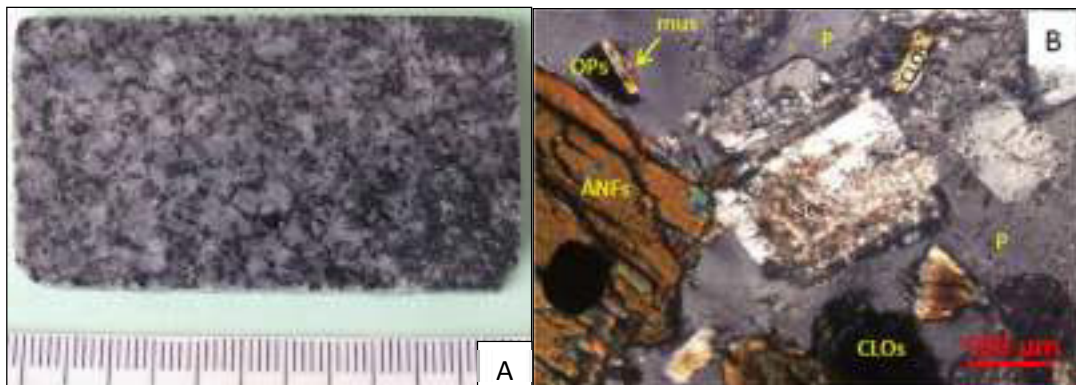


Foto 8.1.4.- A. Foto de muestra de mano. B. Microfotografía en luz transmitida y nicoles cruzados.

Descripción Microscópica: Tonalita de textura equigranular holocristalina (Foto 19-B), caracterizada por la abundancia de plagioclasas, con cuarzo y feldespatos potásicos subordinados. Los minerales máficos son escasos e incluyen principalmente anfíboles, junto con biotita relíctica, magnetita en menor proporción y sulfuros, siendo la pirita la más prominente.

Entre los feldespatos potásicos primarios, la pertita es la variedad predominante, apareciendo generalmente como megacristales que engloban plagioclasas, anfíboles, muscovita, cloritas y minerales opacos, generando una textura poiquilítica.

Los anfíboles, predominantemente euhédricos y con contornos hexagonales, prismáticos o lanceolados, son los minerales máficos primarios más comunes y a menudo presentan maclas. La biotita, observada solo en estado relíctico, ha sido casi completamente reemplazada por alteración clorítica.

El zircón es muy escaso y generalmente se encuentra intercrecido con esfena y/o apatito.

Mineralogía: PGLs-I (61.2%), FPKs-I (3.7%), qz-I (29.5%), ANFs (3.0%), mt (1.8%), py, ser, CLOs, bt

Alteraciones: La alteración en los anfíboles (ANFs) y plagioclasas (PGLs) es débil, manifestándose principalmente como cloritización en los anfíboles y sericitización en las plagioclasas, con epidota presente en menor cantidad (Foto 04-C). La biotita, un mineral relíctico, también muestra cloritización, con casi total reemplazo por cloritas.

La magnetita es escasa, apareciendo como inclusiones aisladas o pequeños agregados. La pirita se encuentra en finas venillas discontinuas y algo dispersas. Los microxenolitos muestran un patrón de alteración similar al de la roca principal.

8.1.5 MUESTRA N° 279337

COORDENADAS (WGS84) : 393,840 E – 8'553-458 N

COTA : 2, 535 m

Descripción Macroscópica: Rocas volcánicas félsicas (riolitas-riodacitas) con textura ligeramente fluidal (Foto 20-A). Presentan fenocristales de plagioclasas y minerales ferromagnesianos alineados en una matriz de color crema-rosada. Se observan amígdalas y/o fiammes rellenas de sílice gris-claro.

Edad: 105.7 Ma

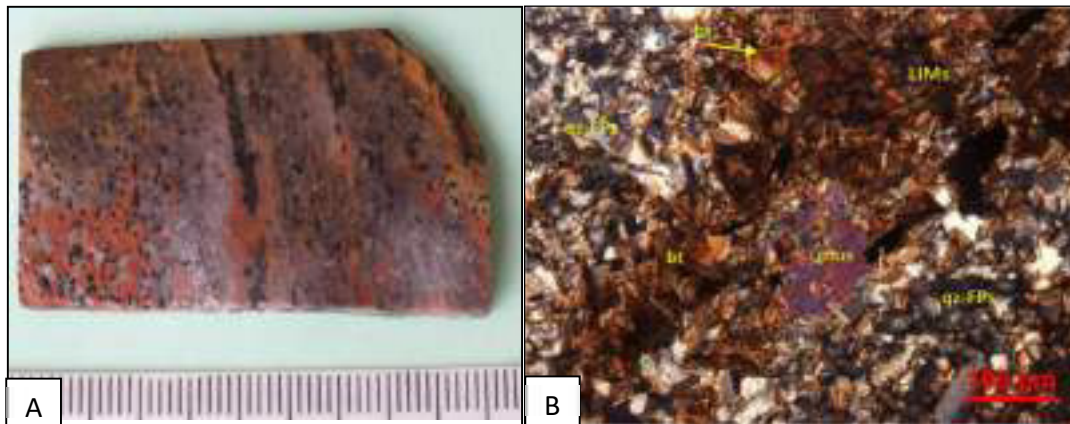


Foto 8.1.5.- A. Foto de muestra de mano. B. Microfotografía en luz transmitida y nicoles cruzados.

Descripción Microscópica: Meta-dacita porfírica con una textura esencialmente microgranular afanítica (Foto 20-B). Bajo microscopio, se observan escasos fenocristales de plagioclasas, algunas macladas y zonadas, en una matriz microgranular compuesta principalmente por cuarzo (qz-II) y plagioclasas subordinadas (PGLs-II).

La biotita forma lentes y venillas, acompañada por grumos de minerales opacos (OPs) y escasas limonitas. Se observa rara vez la presencia de microblastos de muscovita, a veces englobados en los lentes y cúmulos de biotita.

La matriz parece haber sido parcialmente recristalizada, y se nota una débil orientación preferencial, especialmente en la biotita, lo que sugiere un cierto grado de metamorfismo. Los fenocristales de plagioclasas, incluidos los de la matriz, muestran signos de resorción. Como mineral secundario, sólo se identifican limonitas, que aparecen diseminadas o como pigmentación en la muestra.

Mineralogía: qz-II (62.8%), bt (19.5%), PGLs (10.1%), PGLs-I (7.3%), LIMs, mus, zir

8.1.6 MUESTRA N° 279334

TALADRO : CL-14-1355

DE : 180

HASTA : 205

Descripción Macroscópica: Volcánicos félsicos (Foto 21-A), ubicados en la caja techo del cuerpo mineralizado (HW), presentan una textura porfirítica con alteración moderada a intensa. La alteración está compuesta principalmente de sílice, sericita y pirita. Se observan fenocristales de plagioclasas (0.5 - 1 mm) en una matriz de sílice de grano fino.

Edad: 106.9 Ma.

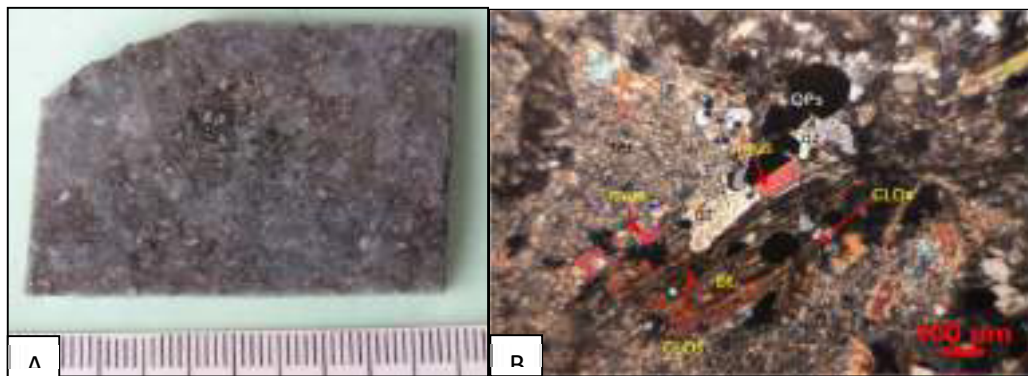


Foto 8.1.6.- A. Foto de muestra de mano. B. Microfotografía en luz transmitida y nícoles cruzados.

Descripción Microscópica: Pórfido tonalítico (Foto 21-B) con textura porfirítica, presenta una alteración intensa, donde la matriz predomina sobre los fenocristales. Los fenocristales incluyen plagioclasas macladas, muscovita y biotita. La biotita está alterada a cloritas y, en algunos casos, pseudomorfizada por cloritas. La muscovita podría ser de origen secundario. Se observan pocos fenocristales de cuarzo (qz-I) con contornos irregulares. La matriz está compuesta principalmente por una mezcla microgranular alotriomórfica de cuarzo (qz-II) con plagioclasas subordinadas (PGLs-II).

Los minerales opacos (OPs) tienen contornos poligonales y, al examen estereoscópico, se identifican principalmente como pirita. Los cristales de rutilo son pequeños, pero generalmente euhédricos, con forma de prismas cortos. En algunas áreas, la matriz muestra recristalización con granos de cuarzo más gruesos, considerados como qz-III.

Mineralogía: ser (44%), PGLs-I (14%), mus (9%), bt + CLOs (8%), qz-II (15%), PGLs-II (5%), OPs (5%) qz-III, qz-I, rt, ser, mus.

Alteraciones: La **sericitización** es la alteración predominante en la muestra (Foto 22-B), afectando principalmente la matriz y el cuarzo (qz-II). Este proceso, que se puede clasificar como una silicificación moderada, ha reemplazado gran parte de la matriz y corroído los bordes de los fenocristales de plagioclasas.

Además, se observa una notable **cloritización (CLOs)** que reemplaza casi por completo los micro fenocristales de biotita y anfíboles. Es común encontrar cristales tabulares sub-idiomórficos de muscovita, frecuentemente en contacto con pirita, ya sea en equilibrio o rodeándola. Estos cristales podrían ser muscovita secundaria, neoformada.

8.2 RESULTADOS

La datación ha permitido establecer la posición estratigráfica de las rocas volcánicas e intrusivas en el tiempo geológico. Las andesitas se sitúan estratigráficamente sobre las rocas riolíticas de edad Cretácico Inferior (Albiano), con fechas de 105.7 Ma (279337) y 106.9 Ma (279334). Estas andesitas están seguidas por los intrusivos de grano medio de Patahuasi, datados en el Turoniano (82.35 Ma, 279331), que son cortados por diques dioríticos de edad Coniaciana (89.87 Ma, 279338). Estos diques están, a su vez, superpuestos por el batolito de la Costa de grano grueso, datado en el Campaniano (93.72 Ma, 279332). Finalmente, los diques andesíticos porfíricos, de edad Campaniana (73.89 Ma, 279333), cortan todas las formaciones anteriores.

La muestra (279335) del **caja piso (foot wall)** fue analizada mediante rutilo, pero no proporcionó resultados útiles para determinar la posición de las rocas volcánicas en relación con la mineralización. Es necesario complementar esta información con datos radiométricos adicionales de los diferentes niveles estratigráficos de las riolitas y de la mineralización. Estos datos servirán como guía para futuras exploraciones y para identificar objetivos potenciales.

CAPITULO IX

9 MINERALIZACIÓN

De acuerdo con la interpretación de secciones transversales cada 40 metros y secciones longitudinales, el yacimiento presenta una extensión mineral de 1,350 m de largo, 83 m de ancho y 245 m de profundidad. La mineralización se orienta predominantemente hacia NW y tiene una inclinación preferencial hacia el SW.

El yacimiento está compuesto por siete cuerpos principales: OB-1, OB-2, OB-3-4, OB-5, OB-6, OB-7 y OB-8, además de cuerpos satélites menores como OB-2A, OB-5A, OB-6A y OB-6B. A continuación, se resumen las dimensiones del yacimiento para cada cuerpo.

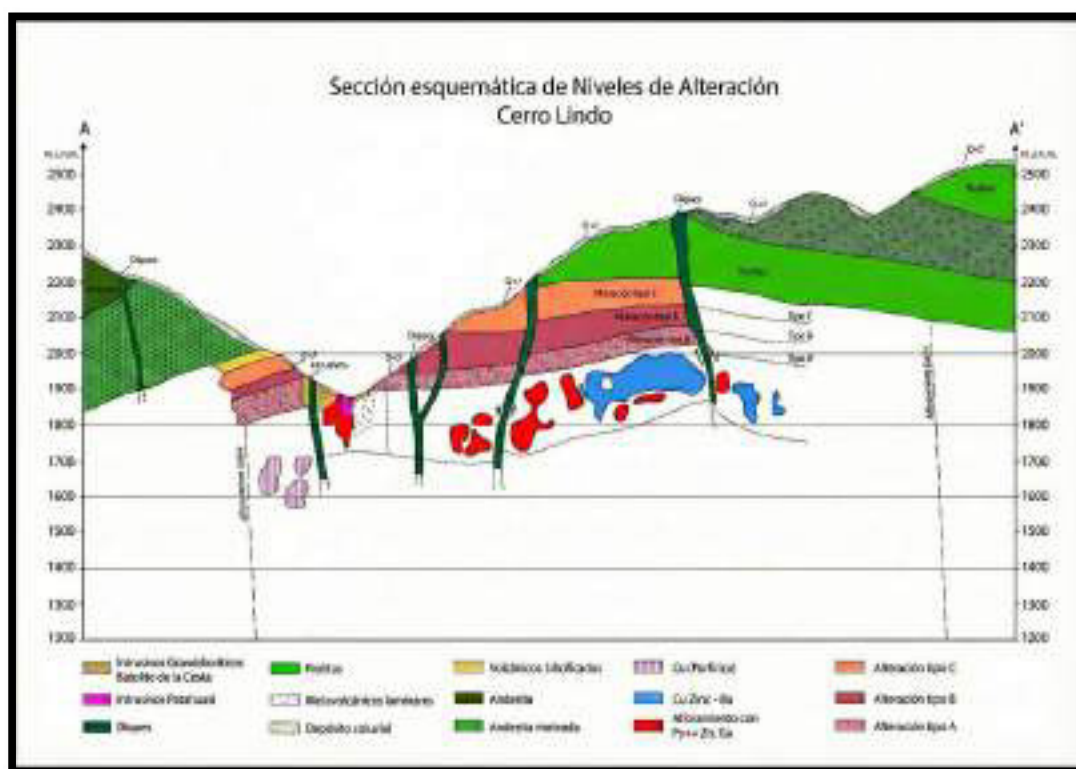


Figura 9.1.-Sección Longitudinal mirando al Nor-este donde se muestra los niveles de alteración. (Tomado del informe interno de CL, M. Lavado.

Tabla 2, Dimensiones del Yacimiento

Descripción	Und.	Cuerpos					
		OB-1	OB-2	OB-3-4	OB-5	OB-6	OB-7
Longitud	m	350	450	340	350	200	170
Ancho	m	60	220	60	65	50	50
Profundidad	m	300	300	170	380	300	60
Cota Máxima	m.s.n.m.	1,850	1,940	1,950	1,980	2,000	1,860
Cota Mínima	m.s.n.m.	1,550	1,640	1,780	1,600	1,700	1,800

Fuente: Geología Cerro Lindo

El depósito Cerro Lindo está compuesto por cuerpos irregulares a lenticulares formados por sulfuros masivos, predominando la pirita (50-95%), con menores proporciones de esfalerita, calcopirita y galena. Se observa una cantidad significativa de baritina (10-60%), especialmente en las porciones superiores de los cuerpos mineralizados.

Estos cuerpos mineralizados están delimitados por fallas transversales sin-volcánicas con una tendencia NNE y buzamientos entre 60-80° ESE. Dentro de estas estructuras, se han emplazado diques pórfido-andesíticos tardíos.

9.1 ZONAMIENTO VERTICAL

Un zoneamiento vertical desde superficie se describe a continuación:

9.1.1 Zona de Gossan

El depósito está compuesto por óxidos de hierro, incluyendo hematita, jarosita y goethita, que resultan de la oxidación y lixiviación de los sulfuros primarios. Los sulfuros baríticos primarios se presentan como barita sacaroide asociada con arcillas y ZnCO_3 . Por otro lado, los sulfuros piríticos primarios se encuentran en forma de brechas de colapso, con abundantes óxidos de hierro originados de la desintegración de la pirita. Estas brechas contienen también cupritas (cuprita-brochantita) y covelina $\pm$ calcosina.

9.1.2 Zona de Sulfuros Primarios

En esta zona, los sulfuros primarios se dividen en dos horizontes distintos: el dominio esfalerita-galena-barita, denominado "Black Ore", y el dominio pirita-calcopirita, denominado "Yellow Ore". La zona de sulfuros primarios ha sido clasificada según la abundancia de mineralización, distinguiéndose tres tipos de sulfuros masivos y uno de sulfuros semi-masivos.

- **SPB - Sulfuros masivos baríticos bandeados ricos en Zn-Pb-Ag:** Este horizonte contiene más del 50% de los sulfuros totales, incluyendo baritina, que representa más del 10% del total. La mineralización está compuesta principalmente de esfalerita, calcopirita y galena, con la plata asociada a la galena. La mineralización presenta una textura de bandeamiento grueso.
- **SPB - Sulfuros masivos baríticos, homogéneos ricos en Cu:** Este horizonte contiene más del 50% de los sulfuros totales, incluyendo barita, que representa más del 10%. La proporción de pirita es menor en comparación con el SPB rico en Zn. La mineralización presenta una textura masiva homogénea, con sulfuros distribuidos en parches gruesos intercrecidos. La marmatita aparece como inclusiones en la calcopirita. Los minerales presentes incluyen barita, pirita, pirrotita, calcopirita y marmatita (Foto 22-B).
- **SPP - Pirita masiva homogénea:** Este tipo de sulfuro masivo está constituido casi en su totalidad por pirita, con menos del 10% de barita y calcopirita intersticial. La textura es homogénea, de grano medio a grueso, y presenta características algo deleznales. La pirita de grano grueso y deleznable, generada por recristalización, se encuentra cerca de los intrusivos y no presenta contaminantes (Hg, As, Sb, Bi). En contraste, la pirita de grano medio, situada un poco más lejos de los intrusivos, muestra niveles de contaminación (Hg, As, Sb, Bi).



•
Foto 22.- Muestras de sulfuros masivos, A) SPB ricos en Zn-Pb-Ag, B) SPB ricos en Cu.

SSM - Sulfuros Semi-Masivos: Este tipo de mineralización contiene entre 20% y 50% de sulfuros, predominando la pirita de grano medio a fino, que se presenta en forma de diseminados, parches, y venillas, especialmente en la caja de piso. La calcopirita se encuentra ocasionalmente en forma de diseminaciones y venillas.

Los enclaves de rocas volcánicas alteradas en los cuerpos mineralizados constituyen aproximadamente el 2% al 3% del depósito, y generalmente tienen tamaños métricos (de 0.5 m a 10 m). Los sulfuros tienen un tamaño de grano que varía de 1 mm a 6 mm, siendo típicamente grueso.

CAPITULO X

10 ALTERACIÓN

10.1 Generalidades

El principal patrón de alteración hidrotermal en Cerro Lindo es una alteración extensa y generalizada de sericita-pirita, que rodea el depósito tanto en la caja de piso como en la caja de techo de los cuerpos mineralizados. La silicificación es débil y localizada. Varios estudios petrográficos de muestras de Cerro Lindo respaldan esta observación (Omni, 1999; Vercelli, 1996; desconocido, 1992). La alteración es generalmente más intensa en la caja de piso y en las áreas del OB-2, donde las texturas originales son apenas reconocibles. La piritización se presenta en forma de disseminaciones y vetillas, extendiéndose por cientos de metros desde el depósito. Los productos de erosión de la pirita, como limonita, hematita y goetita, generan una prominente anomalía de color rojo hematita en la superficie. La alteración de clorita, de color oscuro a negro, asociada con calcopirita, se observa localmente en zonas de debilidad y fallas.

Estas observaciones de campo se caracterizan mediante áreas de alteración. La Figura 10.1 ilustra el blanqueamiento de sodio y calcio en la secuencia volcánica de Cerro Lindo, un patrón típico de depósitos VMS. Se destaca que la alteración en la caja de piso es más intensa que en la caja de techo. El gráfico $\text{SiO}_2 - \text{Zr/TiO}_2$ (Figura 10.2) indica la silicificación, mostrando una línea de tendencia más plana que sugiere una silicificación más fuerte. Este gráfico revela una silicificación débil en las rocas de la caja de piso de Cerro Lindo, pero muy escasa en la caja de techo. Finalmente, la Figura 10.3, que relaciona Na_2O y K_2O (sericita), muestra un aumento en el contenido de sericita hidrotermal (mayor K_2O) a medida que aumenta la alteración (menor Na_2O).

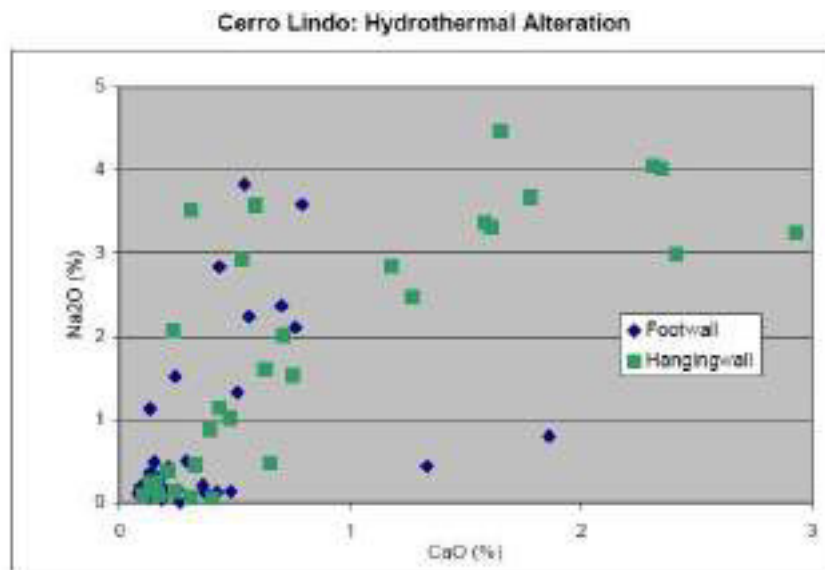


Figura 10.1

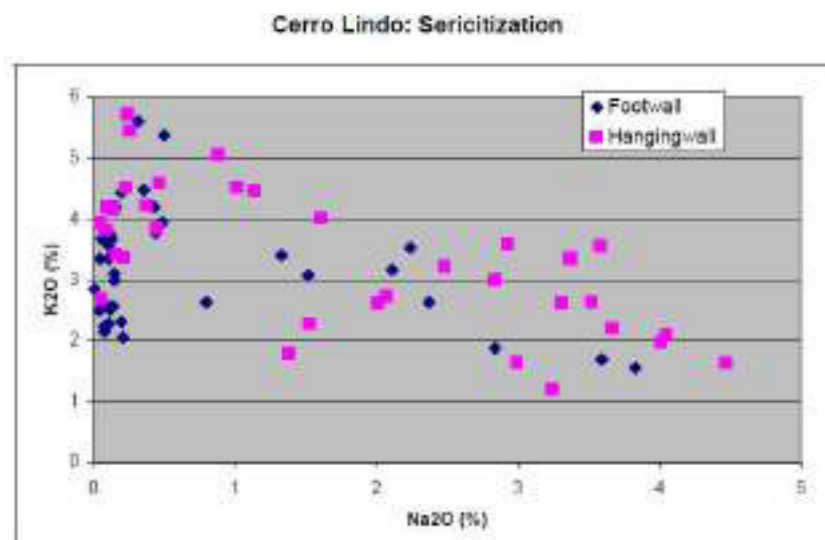


Figura 10.2

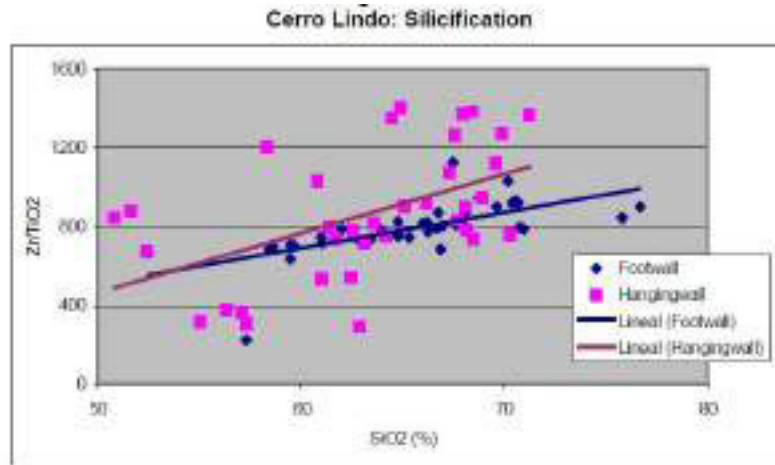


Figura 10.3

10.2 Índice de Alteraciones

La sericitización es la alteración predominante en Cerro Lindo, evaluada mediante interpretaciones de secciones transversales y 25 secciones longitudinales de los cuerpos mineralizados. Se empleó el "Alteration Plot Box", que combina el índice de alteración de Ishikawa (AI) con el índice de clorita, carbonato y piritita (CCPI), para identificar y discriminar procesos de alteración hidrotermal respecto a los de diagénesis (Large et al., 2001). Este método permite distinguir entre alteración relacionada con depósitos de sulfuro masivo (SMV) y alteraciones diagenéticas como albita o albita + feldespato K.

En Cerro Lindo, se aplicó el índice AI-CCPI a todos los cuerpos mineralizados. Los resultados muestran que los cuerpos más cercanos al foco de mineralización son el OB1, OB2B, OB3-4, OB5, OB5C, OB6, OB6A, OB7 y OB8.

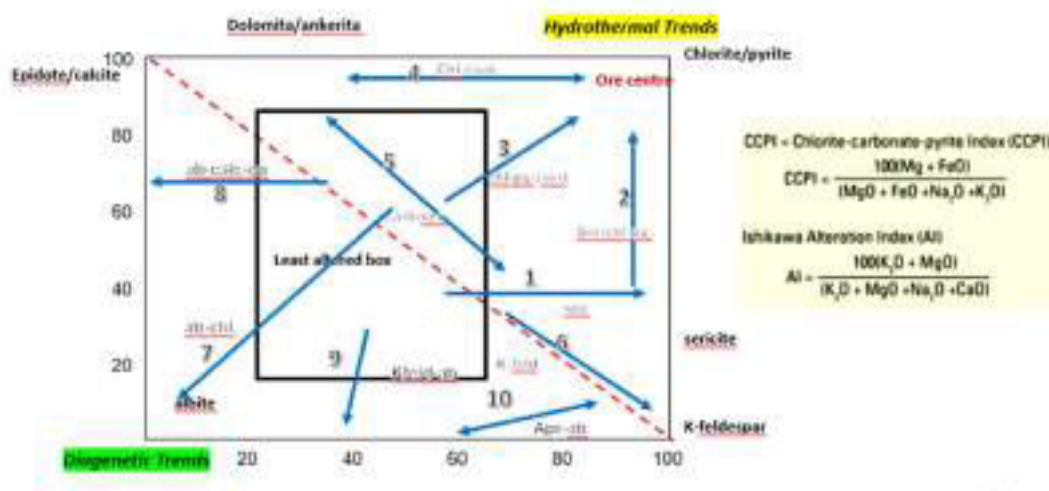


Figura 10.4.- Alteración Plot Box

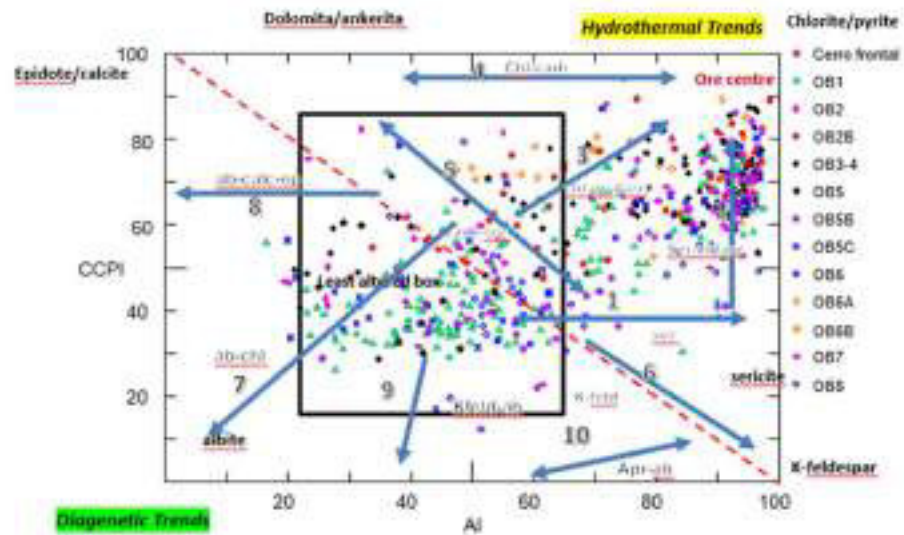


Figura 10.5.- Gráfico de Alteración Box Plot para los Cuerpos Mineralizados en Cerro Lindo

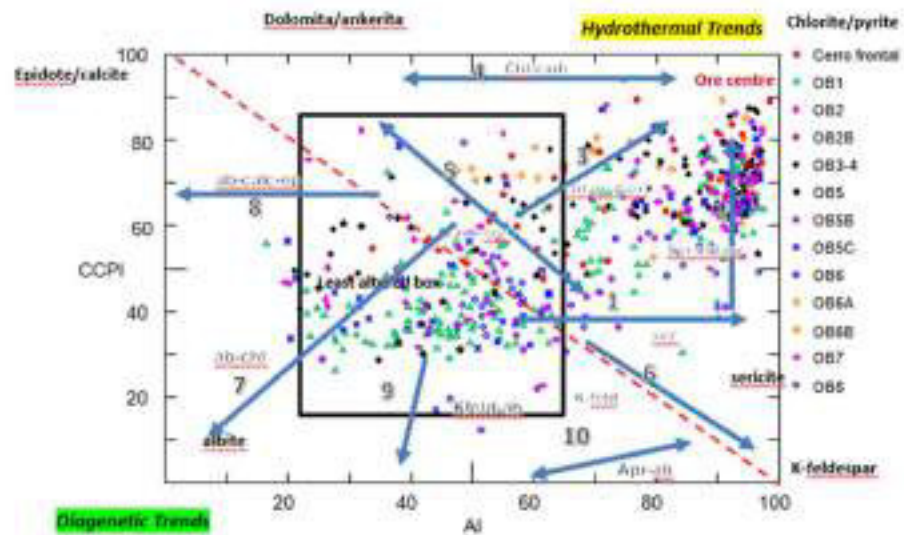


Figura 10.6.- Alteración Box Plot para el OB-1

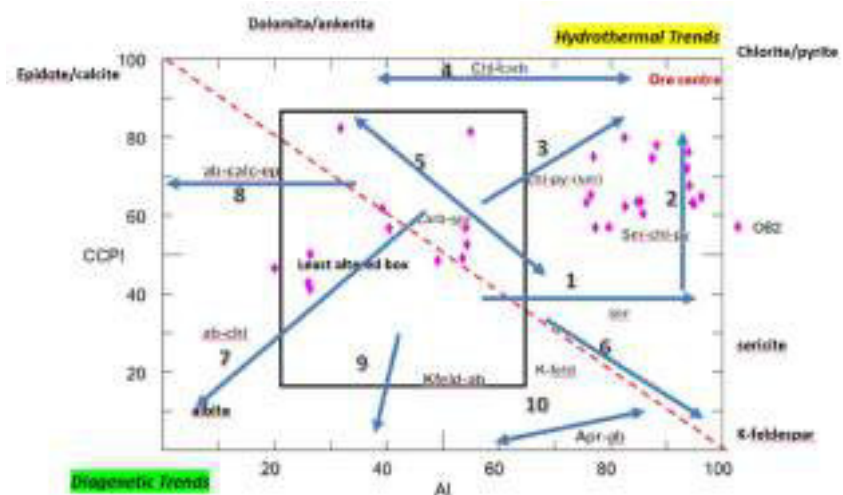


Figura 10.7.- Alteración Box Plot para el OB-2

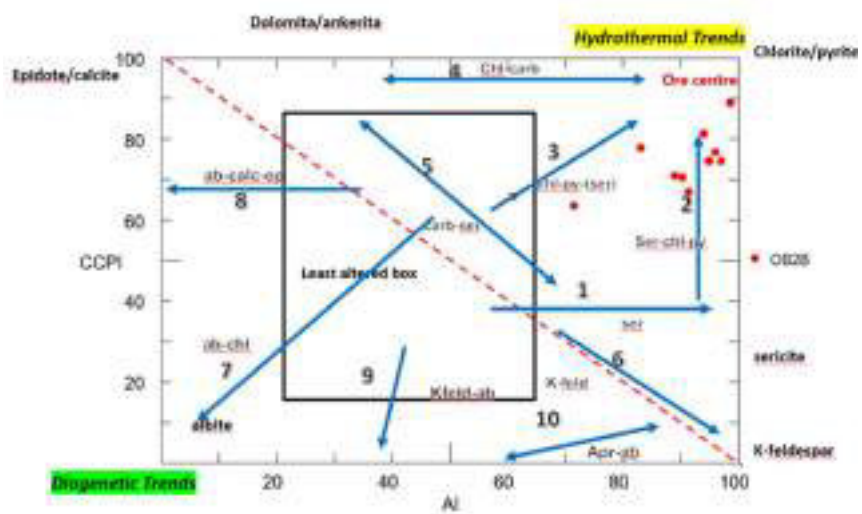


Figura 10.8.- Alteración Box Plot para el OB-2B

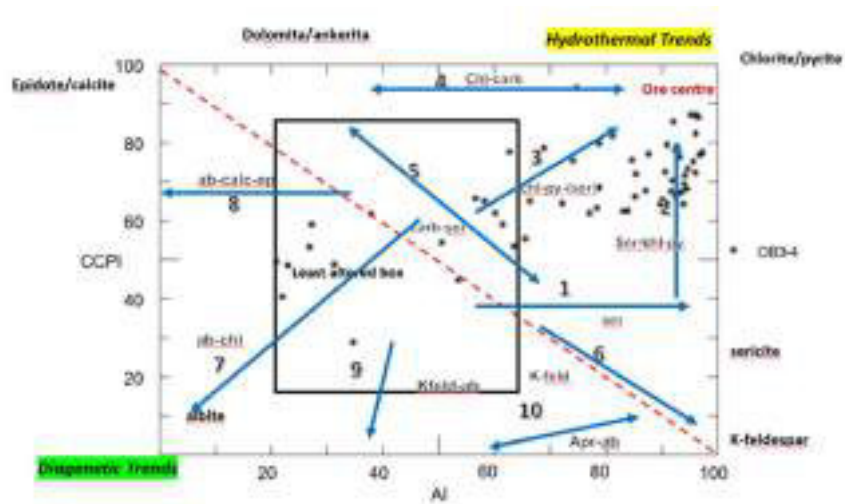


Figura 10.9.- Alteración Box Plot para el OB-3-4

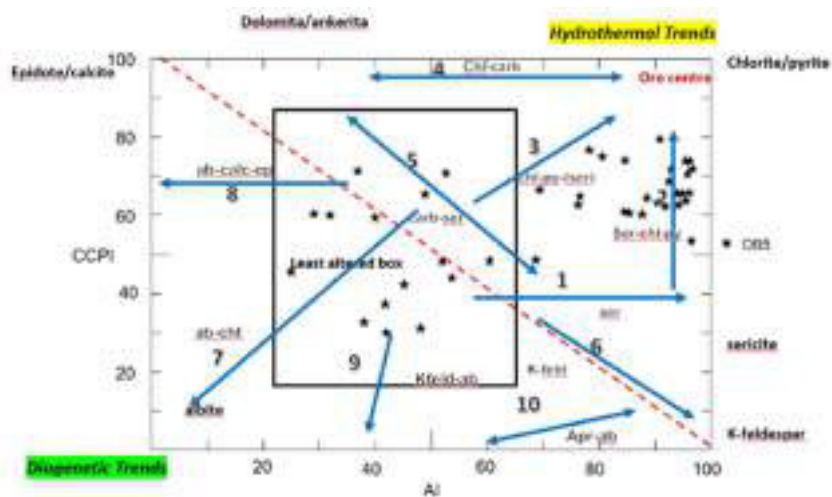


Figura 10.10.- Alteración Box Plot para el OB-5

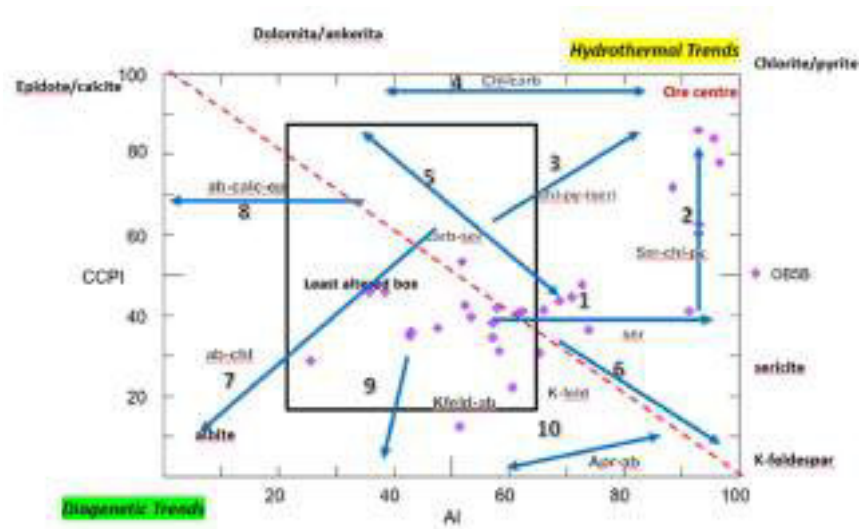


Figura 10.11.- Alteración Box Plot para el OB-5B

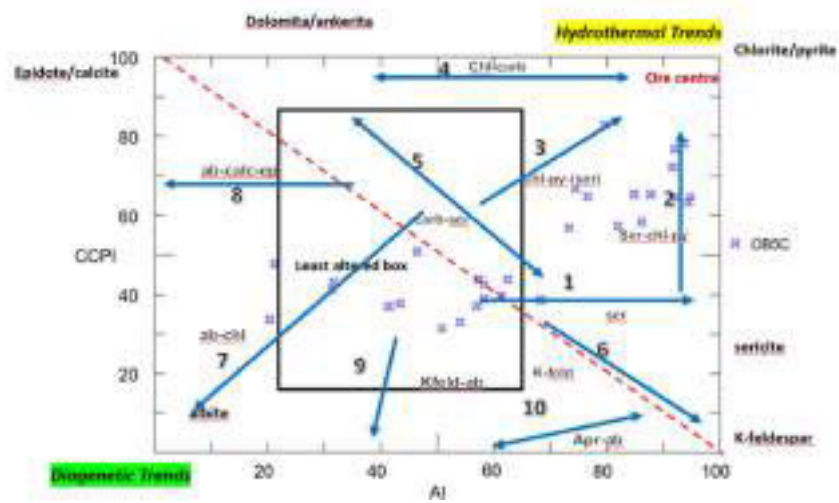


Figura 10.12.- Alteración Box Plot para el OB-5C

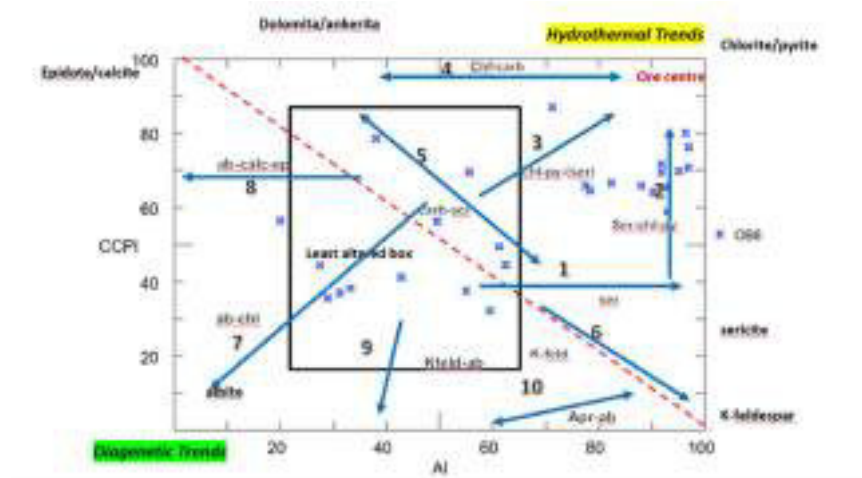


Figura 10.13.- Alteración Box Plot para el OB-6

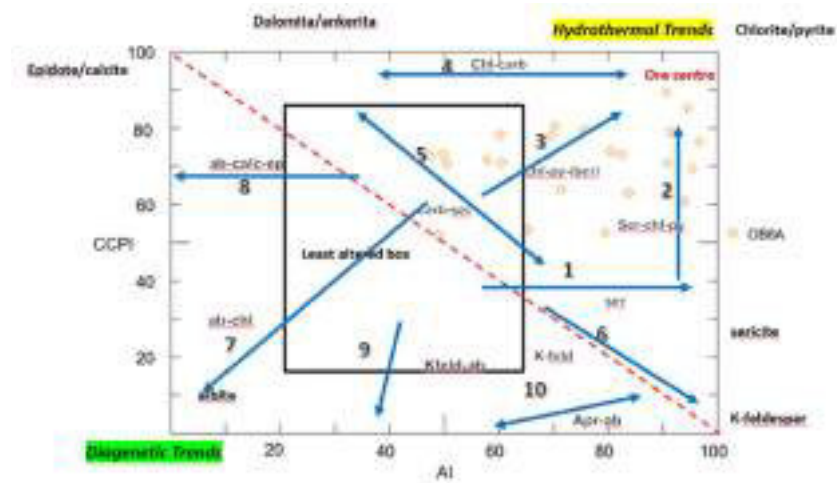


Figura 10.14.- Alteración Box Plot para el OB-6A

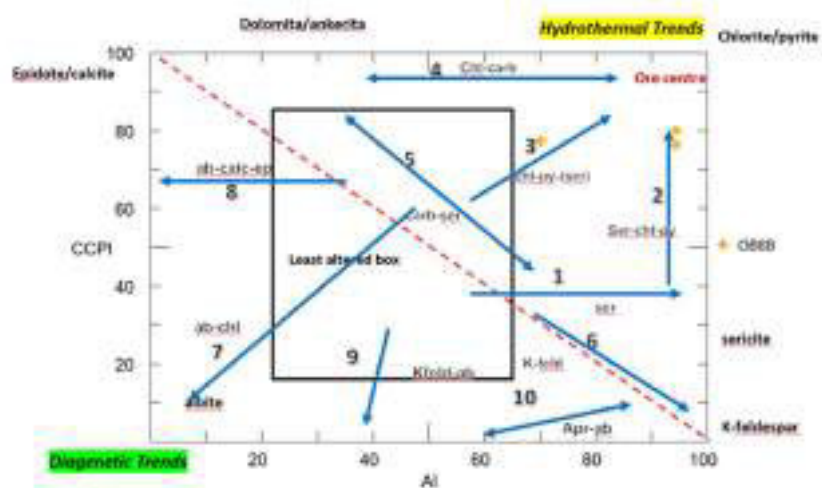


Figura 10.15.- Alteración Box Plot para el OB-6B

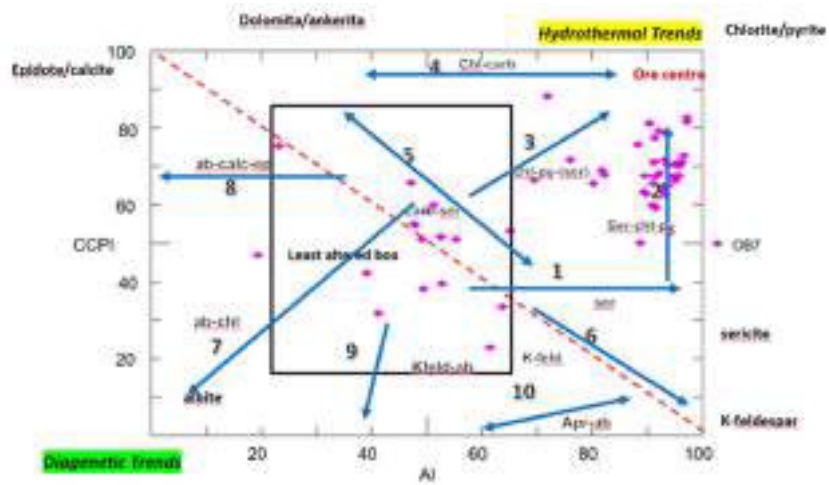


Figura 10.16.- Alteración Box Plot para el OB-7

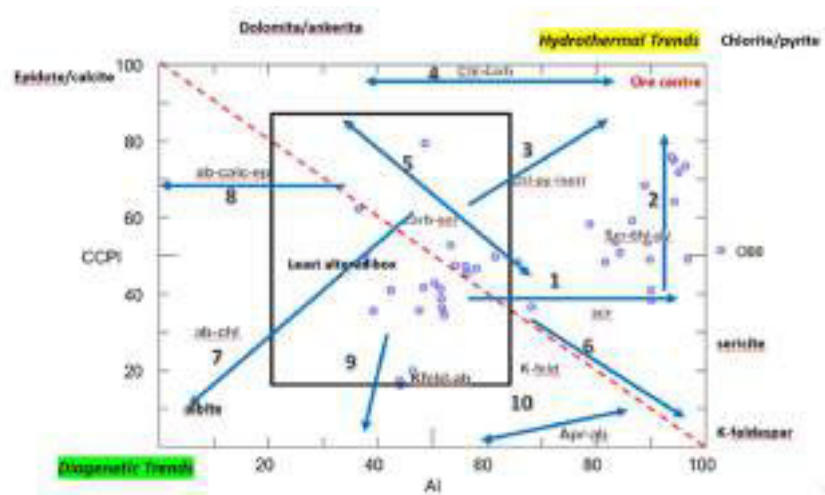


Figura 10.17.- Alteración Box Plot para el OB-8

CAPITULO XI

11 FLUJOS MINERALIZANTES Y RATIOS DE KNUCKEY

La aplicación de Ratios de Knuckey se da en 1982, en Canada en la región de Millenbach, Corbet y otros depósitos del distrito de Noranda, se producen dentro de rocas volcánicas del cinturón Arcaico Abitibi Greenstone.

El análisis mostrado en la tabla siguiente nos muestra dos comportamientos de ratios diferente la primera de la zona de stringer y la segunda de la zona de sulfuros masivos:

TABLE I
MILLENBACH MINE: TOTAL TONNES AND GRADES (MASSIVE AND STRINGERS) UNDELTED

Lens	Tonnes	Massive Sulphides					Tonnes	Stringers					Tonnes	Combined Massive + Stringers				
		Cu (%)	Zn (%)	Ag (g/t)	Au (g/t)	Cu x 100 / Cu + Zn		Cu (%)	Zn (%)	Ag (g/t)	Au (g/t)	Cu x 100 / Cu + Zn		Cu (%)	Zn (%)	Ag (g/t)	Au (g/t)	Cu x 100 / Cu + Zn
1 & 2	21,145	5.81	5.58	60.18	1.016	51	38,755	1.87	0.95	16.65	0.452	66	51,900	5.42	5.84	34.42	0.677	51
3 & 4	33,564	3.52	9.07	68.56	1.383	28	17,291	2.66	1.18	16.65	0.339	68	50,855	3.33	6.39	58.79	1.816	34
5	4,430	2.59	10.36	46.84	0.621	38	9,146	3.55	1.33	29.06	0.705	73	13,576	3.24	4.28	14.90	0.677	62
6	181,352	4.07	8.78	87.47	0.508	32	49,380	3.37	1.12	23.98	0.367	75	230,731	3.62	7.14	73.81	0.480	35
7	21,214	4.26	8.58	54.74	1.326	33							21,214	4.26	8.58	54.74	1.326	33
8, 9, 12, 13	773,112	6.39	11.08	92.55	1.552	37	1,074,792	3.17	1.03	15.24	0.31	75	1,847,904	4.22	5.23	47.12	0.818	46
11 & 18	33,764	6.90	15.09	96.22	0.536	31	21,008	3.19	1.20	27.53	0.282	75	54,772	5.48	9.76	73.64	0.431	36
14	71,394	3.59	12.19	99.32	1.157	23	79,557	3.89	1.67	31.60	0.508	70	150,951	3.73	6.64	60.49	0.818	36
15 & 20	25,897	5.87	11.38	111.45	1.157	34	23,233	3.29	1.70	46.27	0.705	66	49,130	4.63	8.89	95.70	0.931	41
16 & 21	16,441	3.18	10.86	99.88	1.088	23	52,142	2.47	1.13	23.14	0.31	69	68,583	2.44	1.46	43.48	0.734	61
17	4,239	6.41	5.19	40.91	0.705	56	5,849	1.34	0.79	11.85	0.367	63	10,088	3.47	2.69	33.98	0.988	37
19	4,191	8.35	4.56	87.47	1.947	65							4,191	8.35	4.56	87.47	1.947	65
22 (D-200)	39,279	4.69	8.22	64.05	1.89	36	17,509	2.45	0.7	18.34	0.762	78	56,788	4.80	3.90	46.94	1.524	40
23	10,496	2.26	15.20	76.75	0.818	13	21,648	2.1	2.27	42.04	0.367	48	32,144	2.27	6.49	55.13	0.586	25
D-68													40,915	1.82	1.02	65.79	1.973	43
TOTAL	1,240,517	5.63	10.62	89.44	1.411	32	1,402,310	3.13	1.1	18.06	0.339	69	2,642,741	4.28	5.36	51.92	0.875	38
Zinc Deposit	75,000	8.17	8.65	43.36	0.69	2							75,000	8.17	8.65	43.36	0.69	2

Figura 11.1.-*Tomado del artículo de Knuckey -1982

La Segunda tabla es tomada del original para hacer énfasis en los 2 zonas estudiadas (Sulfuros Masivos y Stringers):

Lens	Massive Sulphides					Cu x 100 / Cu + Zn	Stringers					Cu x 100 / Cu + Zn
	Tonnes	Cu %	Zn %	Ag g/t	Au g/t		Tonnes	Cu %	Zn %	Ag g/t	Au g/t	
1 & 2	21,145	5.81	5.58	60.1	1.016	51	30,755	1.87	0.95	16.65	0.452	66
3 & 4	33,564	3.52	9.07	68.56	1.383	28	17,291	2.66	1.18	16.65	0.339	69
5	4,430	2.59	10.36	46.84	0.621	20	9,146	3.55	1.33	29.06	0.705	73
6	181,352	4.07	8.78	87.47	0.508	32	49,380	3.37	1.12	23.98	0.367	75
7	21,214	4.26	8.58	54.74	1.326	33						
8,9,10,12,13	773,112	6.39	11.08	92.55	1.552	37	1,074,792	3.17	1.03	15.24	0.31	75
11&18	33,764	6.9	15.09	96.22	0.536	31	21,008	3.19	1.2	37.53	0.282	73
14	71,394	3.59	12.1	99.32	1.157	23	79,557	3.89	1.67	31.6	0.508	70
15&20	25,897	5.87	11.38	111.45	1.157	34	23,233	3.29	1.7	46.27	0.705	66
16&21	16,441	3.18	10.86	99.88	2.088	23	52,142	2.47	1.13	23.14	0.31	69
17	4,239	6.41	5.1	40.91	0.705	56	5,849	1.34	0.79	11.85	0.367	63
19	4,191	8.35	4.56	87.47	1.947	65						
22	39,279	4.69	8.22	64.05	1.89	36	17,509	2.45	0.7	18.34	0.762	78
23	10,496	2.26	15.2	76.75	0.818	13	21,648	2.1	2.27	42.04	0.367	48
D-68												
Total	1,240,517	5.63	10.62	89.44	1.411	32	1,402,310	3.13	1.1	18.06	0.339	69

Tabla 3.- Resumen de Zonas de Sulfuros Masivos y Stringers

Desde el descubrimiento de Home Mine en 1923, el Campamento Noranda ha producido 17 minas de metales y 15 minas de oro que han producido cerca de dos millones de toneladas de cobre, un millón de toneladas de zinc, 373,000 kg de oro y 1,8 millones de kg de plata.

Tres nuevos depósitos metálicos: Magusi, Nuevo Insko y Corbet y tres nuevos depósitos de oro: Silverstack, Thompson-Bousquet y Dumagami han sido descubiertos en los últimos 8 años. Aunque Millenbach es la única mina actualmente en producción, otras tres están en desarrollo activo.

Los depósitos metálicos que ocurren generalmente en el área son casi todos cuerpos estratificados de sulfuros masivos.

11.1 Flujos mineralizantes mediante ratios de Knuckey

Los ratios de Knuckey (1982) desarrolló un índice derivado de las leyes de algunos metales con el objetivo de identificar zonamientos metálicos que indiquen la presencia de flujos mineralizantes de alta temperatura. Este método busca determinar la posible fuente mineral enriquecedora del depósito mediante la técnica de análisis de dirección de flujos calientes.

El índice, conocido como ratio de Knuckey, se define mediante la fórmula:

$$\text{Ratio de Knuckey} = \frac{\text{Cu (\%)} \times 100}{\text{Cu (\%)} + \text{Zn (\%)}}$$

11.2 Aplicación de los ratios de knuckey

Los ratios de Knuckey son herramientas cuantitativas empleadas para caracterizar depósitos minerales y sugerir la dirección de movimiento o vectorización de los fluidos mineralizantes.

Para este estudio, se interpolaron los valores de los ratios de Knuckey ($\text{Cu} / (\text{Cu} + \text{Zn})$) para generar sólidos tridimensionales que permiten identificar las posibles direcciones de los flujos mineralizantes en el yacimiento. Con base en estos valores y su interpretación, se definieron planos de tendencia que contribuyen al entendimiento del sistema mineralizante.

La mineralización estudiada se clasifica en tres tipos principales:

- **SPB - Sulfuros masivos baríticos bandeados, ricos en Zn-Pb-Ag:** Este horizonte contiene más del 50% de los sulfuros totales, con una proporción significativa de baritina, que representa más del 10% del volumen total. Los principales minerales presentes son esfalerita, calcopirita y galena, siendo la plata un elemento asociado a la galena. La textura predominante es un bandeamiento grueso de los minerales.
- **SPB - Sulfuros masivos baríticos homogéneos, ricos en Cu:** Este horizonte, similar al anterior en cuanto a su proporción de sulfuros totales (>50%), contiene una menor cantidad de pirita. La baritina representa también más del 10% del volumen total. La textura es masiva y homogénea, con los sulfuros distribuidos en parches gruesos e

intercrecidos. La marmatita aparece como inclusiones dentro de la calcopirita. Los minerales principales incluyen baritina, pirita, pirrotita, calcopirita y marmatita.

- **SPP - Pirita masiva homogénea:** Este tipo de mineralización está compuesto casi exclusivamente de pirita, con una proporción menor al 10% de baritina y calcopirita intersticial. La textura es homogénea, de grano medio a grueso, y presenta características algo deleznales. La recrystalización genera pirita de grano grueso y deleznable, que se encuentra en proximidad a cuerpos intrusivos. Esta pirita carece de elementos contaminantes como Hg, As, Sb y Bi.

El análisis de los ratios de Knuckey y la caracterización textural de los diferentes tipos de sulfuros permiten inferir las rutas de migración de los fluidos mineralizantes y las zonas de mayor concentración de metales, lo que resulta clave para la exploración y modelamiento geológico del depósito.

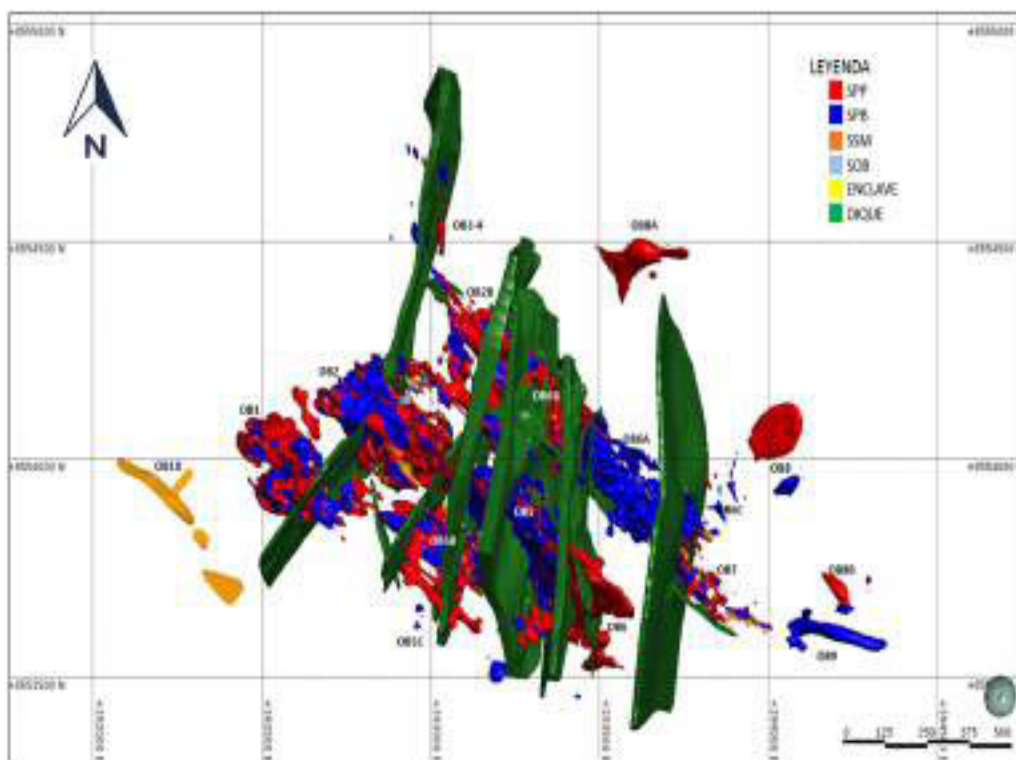


Figura 11.2.- Vista en Planta de los OB y los dique andesíticos.

			Cu	Zn	Pb	Ag		
		Toneladas	%	%	%	Oz/t	Cu x100/Cu + Zn	
Cuerpos	OB-1	36,369,368	0.74	1.09	0.13	0.64	68.6	Zona de Stringer
	OB-2	63,760,101	0.74	1.30	0.17	0.68	57.7	
	OB-2B	20,155,042	0.55	0.83	0.13	0.55	66.8	
	OB-3-4	5,257,449	0.26	0.33	0.07	0.37	79.0	
	OB-5	35,307,199	0.55	2.56	0.30	0.87	22.0	Sulfuros Masivos
	OB-5B	29,166,185	0.31	2.00	0.28	0.73	15.8	
	OB-6	20,783,850	0.50	1.66	0.19	0.60	30.6	
	OB-6A	27,273,281	0.46	2.55	0.38	0.88	18.5	
	OB- 6B	13,217,138	0.37	1.28	0.18	0.57	29.3	
	OB7	8,552,485	0.29	1.79	0.28	0.68	16.5	

Tabla 4.- Tonelaje total y leyes de OB, con Ratio de Knuckey.

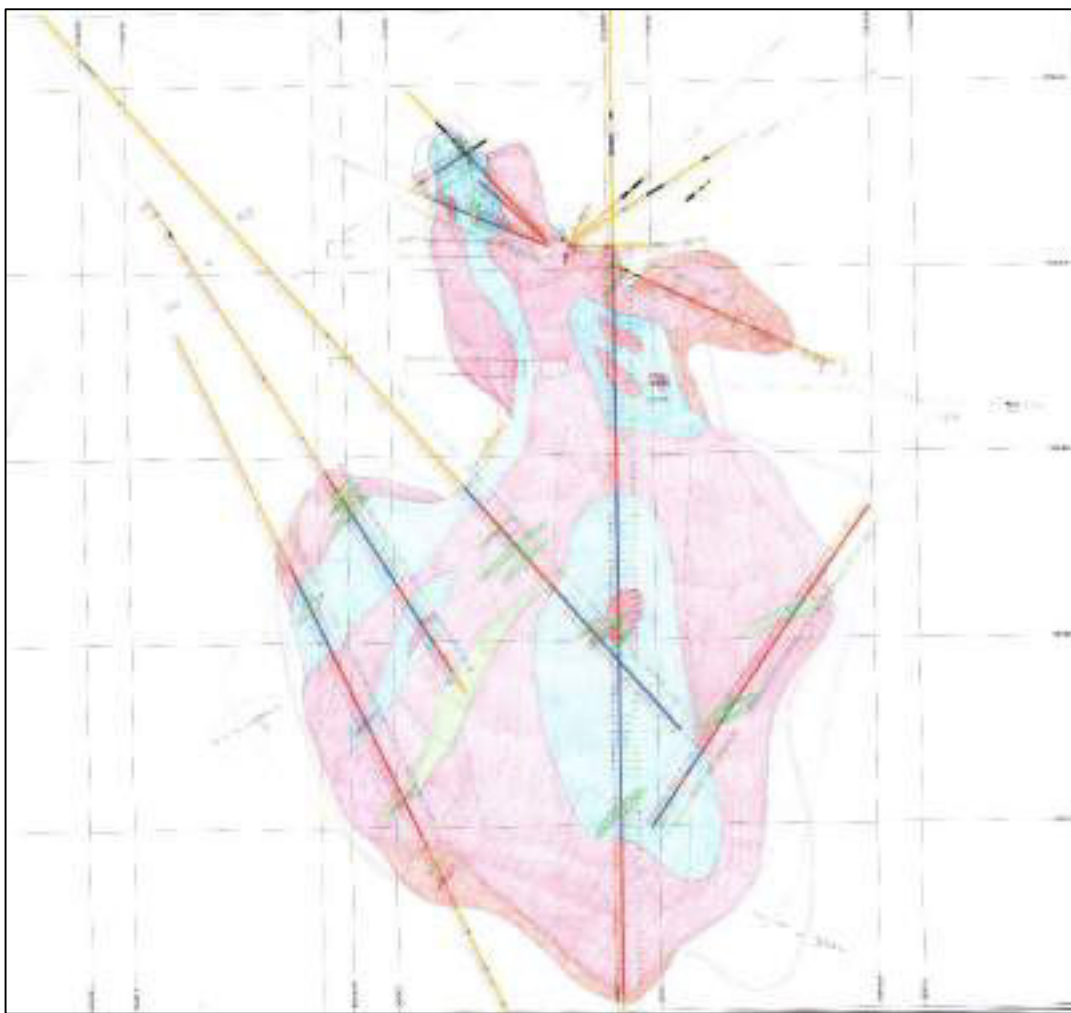


Figura 11.3.- Sección longitudinal del cuerpo OB1.

La figura muestra la distribución del tipo de mineralización a lo largo del cuerpo: se observa predominancia de SPP (sulfuros masivos piríticos) tanto en la caja piso como en la caja techo.

En la parte central del cuerpo, se identifican concentraciones significativas de SPB (sulfuros masivos baríticos), destacándose una franja elongada que resalta la zonación metalúrgica dentro del depósito.

11.3 Análisis de Concentraciones Metalúrgicas mediante Cortes en Planta

Dentro del marco de los trabajos realizados, se llevaron a cabo un total de siete cortes horizontales en planta para todos los cuerpos mineralizados, abarcando desde el nivel 1600 hasta el nivel 1900, con una separación de 50 metros entre cada corte.

En cada planta analizada, se identificaron concentraciones notablemente marcadas de metales, evidenciadas mediante ratios de Knuckey superiores a 75. Estas altas concentraciones se encuentran principalmente en las siguientes áreas:

- **Caja piso del cuerpo OB1:** Se observan valores destacados que reflejan una mineralización enriquecida en la base del cuerpo, indicando posibles vectores hacia flujos mineralizantes ascendentes desde zonas profundas.
- **Zona central de los cuerpos OB5, OB2B y OB5B:** Las concentraciones superiores a 75 en estas áreas sugieren la presencia de núcleos de mineralización altamente enriquecidos. Estas zonas pueden representar focos de acumulación debido a condiciones favorables para la precipitación de sulfuros metálicos desde fluidos hidrotermales.

El análisis sistemático de estos cortes permitió identificar patrones de zonación metalúrgica y distribuciones de alta concentración en el depósito. Estos resultados son fundamentales para el modelado geológico tridimensional y para la definición de zonas prioritarias en futuras campañas de exploración.

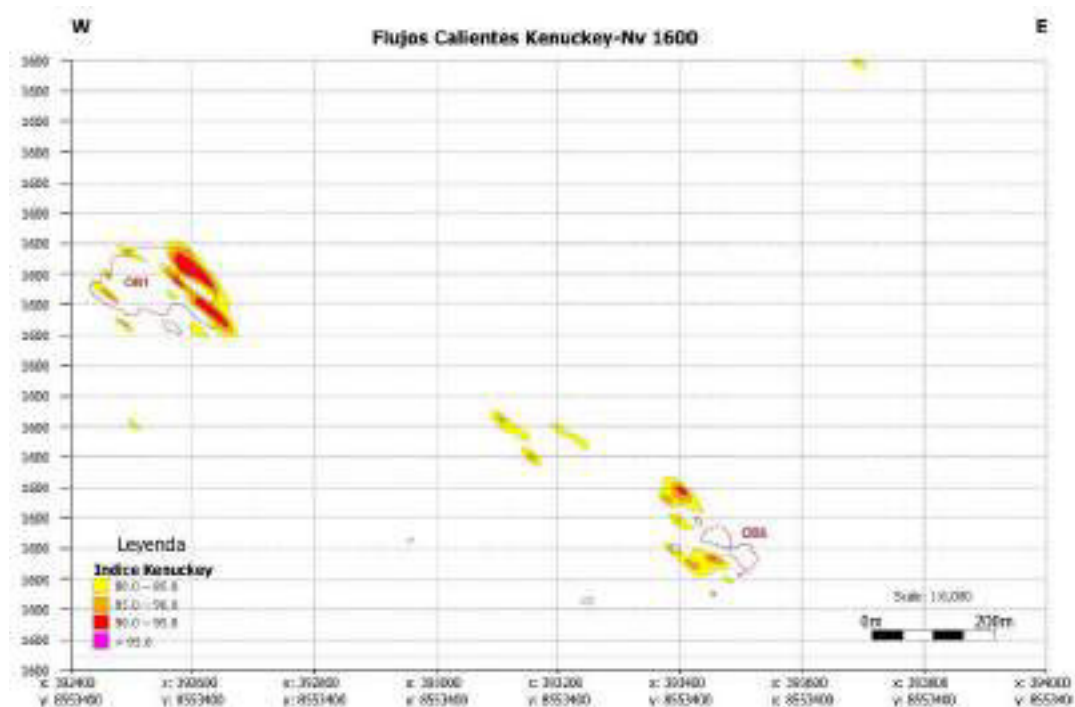


Figura 11.4.- Vista en planta Nivel 1600

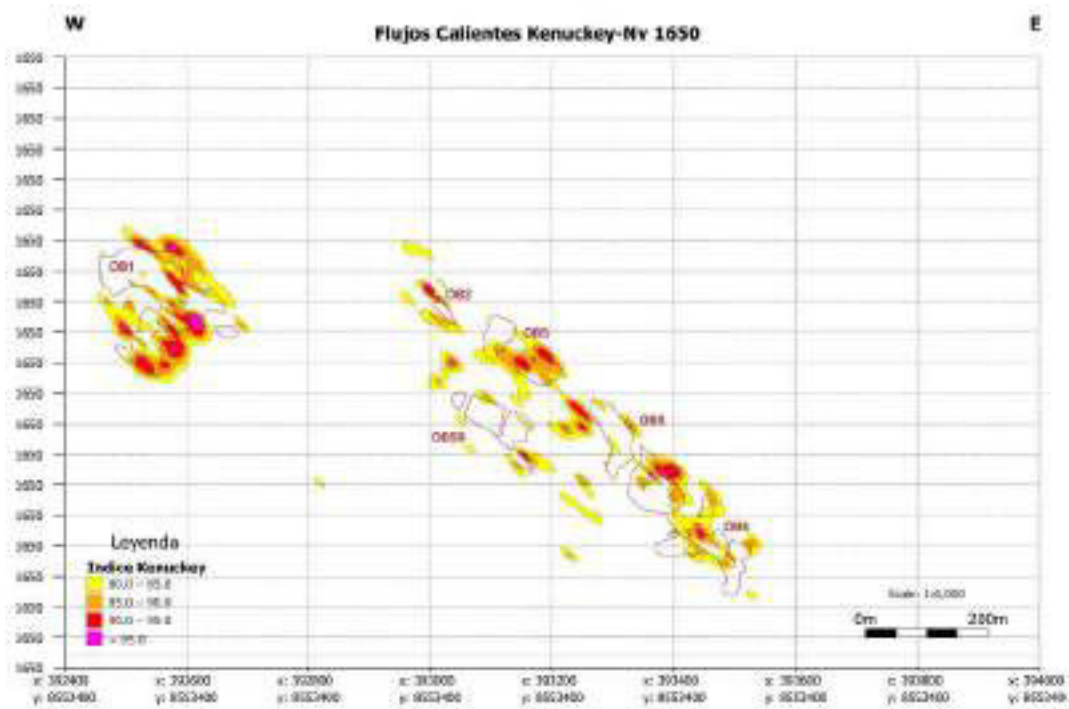


Figura 11.5.- Vista en Planta 1650.

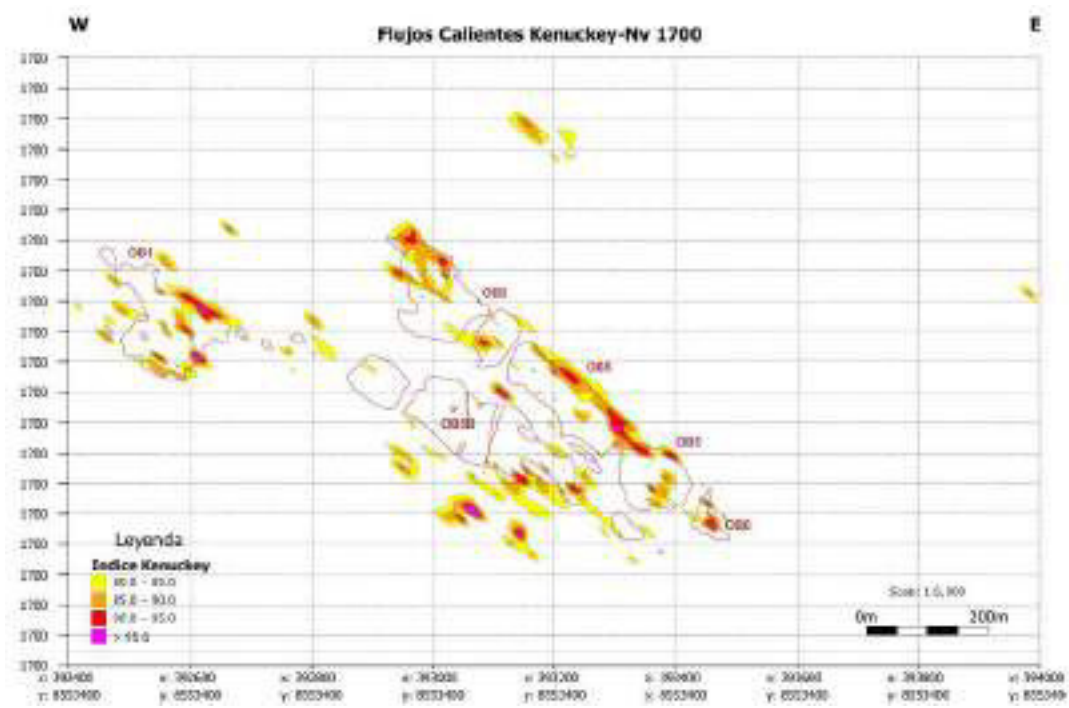


Figura 11.6.- Vista en Planta Nivel 1700

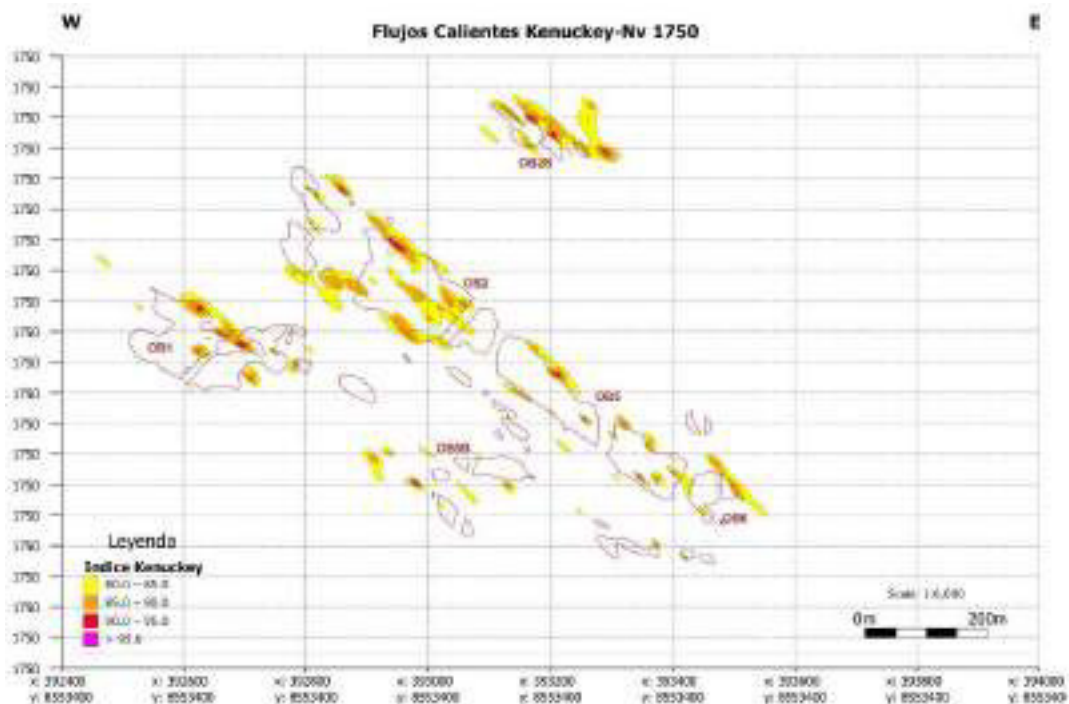


Figura 11.7.- Vista en Planta Nivel 1750.

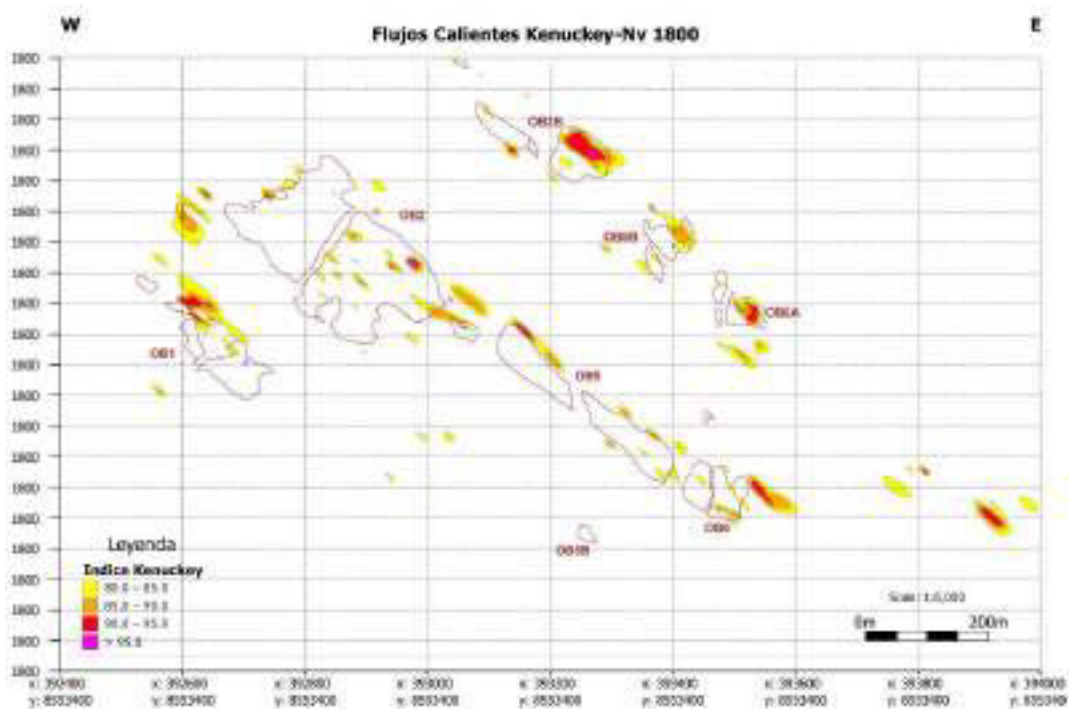


Figura 11.8.- Vista en Planta Nivel 1800.

CAPITULO XII

12 CONCLUSIONES

12.1 Datación

Los datos geocronológicos, obtenidos mediante análisis U-Pb en circones con espectrómetro de masas por ablación láser en la Universidad de Tasmania, abarcaron seis muestras de roca (tres de superficie y tres de sondajes). Los resultados indican lo siguiente:

- Las andesitas, superpuestas a rocas riolíticas del Cretácico Inferior (Albiano), tienen edades de 105.7 Ma (muestra 279337) y 106.9 Ma (muestra 279334).
- Estas son seguidas por intrusivos de grano medio de Patahuasi, datados en el Turoniano (82.35 Ma, muestra 279331), los cuales son cortados por diques dioríticos del Coniaciano (89.87 Ma, muestra 279338).
- Posteriormente, los diques están cubiertos por el batolito de la Costa de grano grueso, datado en el Campaniano (93.72 Ma, muestra 279332).
- Finalmente, los diques andesíticos porfíricos del Campaniano (73.89 Ma, muestra 279333) cortan todas las unidades anteriores.

12.2 Estructural

El análisis estructural permitió identificar tres sistemas principales de fallas:

- **NS (Norte-Sur):** Sistema dominante en el área, asociado a la dirección principal de cuerpos mineralizados y al intrusivo Patahuasi.
- **NO-SE (Noroeste-Sureste):** Sistema secundario, también presente en los cuerpos mineralizados.
- **NE-SO (Noreste-Suroeste):** Relacionado con la falla Topará.

12.3 Alteración

El patrón de alteración hidrotermal dominante en Cerro Lindo incluye:

- Alteración sericítica - pirítica, que rodea el depósito en la caja piso (footwall) y caja techo (hangingwall). La pirita se presenta en diseminaciones y vetillas, extendiéndose cientos de metros desde los cuerpos mineralizados.
- Erosión de pirita genera limonita, hematita y goetita, observándose anomalías de color rojo hematita en la superficie.
- Silicificación débil y localizada.

12.4 Mineralización

La mineralización del depósito Cerro Lindo consiste en cuerpos irregulares y lenticulares de sulfuros masivos, con:

- Pirita predominante (50-95%).
- Menores proporciones de esfalerita, calcopirita y galena.
- Baritina significativa (10-60%), concentrada en las porciones superiores de los cuerpos mineralizados.

12.5 Ratios de Knuckey

- Los cuerpos mineralizados de sulfuros masivos se formaron en un ambiente volcánico submarino, relacionado con flujos de lava antes, durante y después de la extrusión de conos o domos riolíticos porfiríticos.
- El zonamiento metálico, desde cobre en los márgenes hasta zinc en las zonas centrales, refleja cambios abruptos en las condiciones fisicoquímicas en la interfase roca caja-agua marina.
- En una escala más amplia, el contenido promedio de cobre disminuye proporcionalmente al incremento de distancia desde las ventanas hidrotermales principales, mostrando un decrecimiento continuo en los lentes satélites.
- El uso de ratio de knuckey es útil para el tipo de yacimiento VMS, ya que se muestra una manera mas eficiente de la dirección de desplazamiento de los flujos de mineralización, lográndose obtener planos de tendencias.
- Los flujos de mineralización se muestran a través de los ratios de knuckey que viene desde la parte inferior de cada cuerpo mineralizado.

CAPITULO XIII

13 BIBLIOGRAFÍA

Atherton, M.P. (1990). The Coastal Batholith of Peru: The Product of Rapid Recycling of 'New' Crust Formed Within Rifted Continental Margin. *Geological Journal*, 25, 337–349.

Atherton, M.P., & Aguirre, L. (1992). Thermal and Geotectonic Setting of Cretaceous Volcanic Rocks Near Ica, Peru, in Relation to Andean Crustal Thinning. *Journal of South American Earth Science*, 5, 47–69.

Atherton, M.P., Pitcher, W.S., & Warden, V. (1983). The Mesozoic Marginal Basin of Central Peru. *Nature*, 305.

Atherton, M.P., & Webb, S. (1989). Volcanic Facies and Structure and Geochemistry of the Marginal Basin Rocks of Central Peru. *Journal of South American Earth Sciences*, 2, 241–261.

Di Benedetto, F., Bernardini, G.P., Costagliola, P., Plant, D., & Vaughan, D.J. (2005). Compositional Zoning in Sphalerite Crystals. *American Mineralogist*, 90, 1384–1392. <https://doi.org/10.2138/am.2005.1754>

Bente, K., & Doering, T. (1995). Experimental Studies on the Solid-State Diffusion of Cu + In in ZnS and on “Disease” (Diffusion Induced Segregations) in Sphalerite and Their Geological Applications. *Mineralogy and Petrology*, 53, 285–305. <https://doi.org/10.1007/BF01160153>

Bente, K., & Doering, T. (1993). Solid-State Diffusion in Sphalerites: An Experimental Verification. *European Journal of Mineralogy*.

Bortnikov, N., Genkin, D., Dobrovol'skaya, M., Muravitskaya, G., & Filimonova, A. (1991). The Nature of Chalcopyrite Inclusions in Sphalerite: Exsolution, Coprecipitation, or “Disease”? *Economic Geology*, 86, 1070–1082. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.86.5.1070>

Canales, J. (2016). Cartografiado Geológico y Muestreo Geoquímico y Litogeoquímico - Cerro Lindo. *Internal Mine Report*.

Cobbing, E.J., & Pitcher, W.S. (1972). The Coastal Batholith of Central Peru. *Journal of the Geological Society of London*, 128, 421–460.

Cook, N.J., Ciobanu, C.L., Pring, A., Skinner, W., Shimizu, M., Danyushevsky, L., Saini, B., & Melcher, F. (2009). Trace and Minor Elements in Sphalerite: A LA-ICP-MS Study. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 73(16), 4761–4791. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2009.05.045>

Ferrill, D.A., Morris, A.P., Evans, M.A., Burkhard, M., Groshong, R.H., & Onasch, C.M. (2004). Calcite Twin Morphology: A Low-Temperature Deformation Geothermometer. *Journal of Structural Geology*, 26, 1521–1529. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2003.11.028>

Franklin, J.M., Gibson, H.L., Jonasson, I.R., & Galley, A.G. (2005). Volcanogenic Massive Sulfide Deposits. In *Economic Geology 100th Anniversary Volume*, 523–560.

Galley, A.G., Hannington, M.D., & Jonasson, I.R. (2007). Volcanogenic Massive Sulfide Deposits. In *Mineral Deposits of Canada: A Synthesis of Major Deposit-Types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods* (Vol. 5), 141–161. [https://doi.org/10.1016/0169-1368\(95\)00022-4](https://doi.org/10.1016/0169-1368(95)00022-4)

Grammatikopoulos, T.A., Valeyev, O., & Roth, T. (2006). Compositional Variation in Hg-Bearing Sphalerite from the Polymetallic Eskay Creek Deposit, British Columbia, Canada. *Chemie der Erde*, 66, 307–314. <https://doi.org/10.1016/j.chemer.2005.11.003>

Guillong, M., Meier, D.L., Allan, M.M., Heinrich, C.A., & Yardley, B.W.D. (2008). Sills: A Matlab-Based Program for the Reduction of Laser Ablation ICP-MS Data of Homogeneous Materials and Inclusions. In *Mineralogical Association of Canada Short Course 40*, 328–333.

Hannington, M.D. (2014). *Volcanogenic Massive Sulfide Deposits*. Elsevier Ltd.

Hutchison, M.N., & Scott, S.D. (1981). Sphalerite Geobarometry in the Cu-Fe-Zn-S System. *Economic Geology*, 76, 148–155.

Informe Técnico - Dataciones Cerro Lindo (agosto, 2016). *Informe Interno*, 1–14.

Jaillard, E. (1994). Kimmeridgian to Paleocene Tectonic and Geodynamic Evolution of the Peruvian (Ecuadorian) Margin. In *Cretaceous Tectonics of the Andes*, 101–167.

Knuckey, M.J., Comba, C.D.A., & Riverin, G. (1982). Structure, Metal Zoning and Alteration at the Millenbach Deposit, Noranda, Quebec. In *Precambrian Sulphide Deposits*.

Lavado, M. (2015). *Informe Interno Final C.L.*

Large, R.R, Gemmel, J.B., Paulick, H., and Huston, D.L. (2001). Hidrothermal alteration and volatile element haloes for the Rosebery K lens volcanic-hosted massive sulfide deposit, western Tasmania; *Economic Geology*, v. 96, p. 1055-1072.

Marshall, B., & Gilligan, L. (1986). An Introduction to Remobilization: Information from Ore-Body Geometry and Experimental Considerations. *Ore Geology Reviews*, 87–131.

McClenaghan, S., Lentz, D., Martin, J., & Diegor, W. (2009). Gold in the Brunswick No. 12 Volcanogenic Massive Sulfide Deposit, Bathurst Mining Camp, Canada: Evidence from Bulk Ore Analysis and Laser Ablation ICP-MS Data on Sulfide Phases. *Mineralium Deposita*, 44, 523–557. <https://doi.org/10.1007/s00126-009-0233-7>

Meffre, S., & Thompson, J. (2016). U-Pb Geochronology of Rocks for Milpo.

Megard, F., Noble, D.C., McKee, E.H., & Bellon, H. (1984). Multiple Pulses of Neogene Compressive Deformation in the Ayacucho Intermontane Basin, Andes of Central Peru. *Geological Society of America Bulletin*, 95, 1108–1117.

Mukasa, S.B. (1984). Comparative Pb Isotope Systematics and Zircon U-Pb Geochronology of the Coastal, San Nicolas and Cordillera Blanca Batholiths, Peru. *Ph.D. Thesis*, 362.

Mukasa, S.B. (1986). Zircon U-Pb Ages of Super-Units in the Coastal Batholith, Peru: Implications for Magmatic and Tectonic Processes. *Geological Society of America Bulletin*, 97, 241–254.

Myers, J.S. (1974). Cretaceous Stratigraphy and Structure, Western Andes of Peru Between Latitudes 10°-10°30'S. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 58, 474–487.

Myers, J.S. (1980). *Geología de los Cuadrángulos de Huarmey y Huayllapampa*. Lima: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 33, 153.

Noble, D.C., & Farrar, E. (1979). Introduction: Several Important Aspects of the Volcanic and Tectonic History of the Central Andes. *Geological Society of America*, 45, 80–86.

Oldham, L., Dávila, D., Atencio, J., & Sarmiento, N. (2016). *Informe Final de Exploraciones Geológicas - Estructurales U.M. Cerro Lindo*.

P. Denwer, K. (2018). Alteration and Mineral Zonation at the Mt Lyell Copper–Gold Deposit, Tasmania. *Australian Journal of Earth Sciences*, 65, 1–21. <https://doi.org/10.1080/08120099.2018.1472663>

Pitcher, W.S., Atherton, M.P., Cobbing, E.J., & Beckinsale, R.D. (1985). *Magmatism at a Plate Edge: The Peruvian Andes*. Glasgow: Blackie and Sons, 323.

Polliand, M., Schaltegger, U., Frank, M., & Fontboté, L. (2005). Formation of Intra-Arc Volcanosedimentary Basins in the Western Flank of the Central Peruvian Andes During Late Cretaceous Oblique Subduction: Field Evidence and Constraints from U–Pb Ages and Hf Isotopes. *Earth Science*, <https://doi.org/10.1007/s00531-005-0464-5>

R. Craig, J., M. Vokes, F., & Solberg, T. (1998). Pyrite: Physical and Chemical Textures. *Mineralium Deposita*, 34, 82–101. <https://doi.org/10.1007/s001260050187>

Robb, L.J. (2005). *Introduction to Ore-Forming Processes*. Blackwell Publishing.

Roberts, W.M.B. (1965). Recrystallization and Mobilization of Sulfides at 2,000 Atmospheres and in the Temperature Range 50-145°C. *Economic Geology*, 60, 168–180.

Samaniego, A. (2016). *Cerro Lindo Mine, Peru*.

Soler, P. (1991). El Volcanismo Casma del Perú Central: Cuenca Marginal Abortada o Simple Arco Volcánico? In *VII Congreso Peruano de Geología*, Resúmenes Extendidos, 659–663.

Soler, P., & Bonhomme, M.G. (1990). Relation of Magmatic Activity and Plate Dynamics in Central Peru from Late Cretaceous to Present. *Geological Society of America*.

Webb, S. (1976). *The Volcanic Envelope of the Coastal Batholith in Lima and Ancash, Peru*. Ph.D. Thesis.

Winter, L.S. (2008). The Genesis of “Giant” Copper-Zinc-Gold-Silver Volcanogenic Massive Sulfide Deposits at Tambogrande, Peru. *The University of British Columbia*.

ANEXOS

LISTA DE TABLAS	
Tabla 1.-	Lista de muestras analizadas por el método U-Pb
Tabla 2.-	Dimensiones del Yacimiento
Tabla 3.-	Resumen de Zonas de Sulfuros Masivos y Stringers
Tabla 4.-	Tonelaje total y leyes de OB, con Ratio de Knuckey.

Lista de Fotos	
Foto 1.-	Vista Panorámica de La unidad Minera Cerro Lindo.
Foto 2.-	Afloramientos de Meta-volcánicos constituidos por hornfels-esquistos y cuarzo
Foto 3.-	Muestras de mano de riolitas - riolacitas
Foto 4.-	Afloramientos de volcano-clásticos andesíticos
Foto 5.-	Afloramientos de lavas andesíticas frescas
Foto 6.A	Afloramiento de calizas muestra de caliza silicificada (hornfels)
Foto 6.B	Muestra de caliza silicificada (hornfels)
Foto 7.A	Dioritas
Foto 7.B	Gabrodioritas-horblenditas.
Foto 8.A	Afloramiento de intrusivos graníticos (Qda. Gallo Rumi)
Foto 8.B	Muestra de mano de granodioritas-tonalitas
Foto 9.A	Vista panorámica al este, se muestra afloramientos intrusivos granodioríticos-tonalitas de grano medio y edad más reciente.
Foto 9.B	Muestra de mano de granodiorita-tonalita grano medio.
Foto 10.-	Volcánicos félsicos - flujos riolíticos-riolacíticos
Foto 11.-	Afloramiento y muestra de mano de Volcano-clásticos andesíticos.
Foto 12.A	Tobas/tufos
Foto 12.B	Flujos Andesíticos
Foto 13.-	Brechas riolíticas con alteración sílice-sericita con OxFe (jarosita-goethita) como pátinas en fracturas
Foto 14.-	Brechas riolíticas con alteración sílice-sericita-pirita con OxFe (goethita-hematita en fracturas sub-verticales, posibles conductos-feeders.
Foto 15.A	Granito-Granodiorita Batolito de la Costa
Foto 15.B	Granodiorita tonalita Patahuasi,
Foto 15.C	Dique pórfido andesítico
Foto 15.D	Dique básico (dioritas).
Foto 8.1.1.A	Foto de muestra de mano B.
Foto 8.1.1.B	Microfotografía en luz transmitida y nicoles cruzados.
Foto 8.1.2.A	Foto de muestra de mano B.
Foto 8.1.2.B	Microfotografía en luz transmitida y nicoles cruzados.
Foto 8.1.3.A	Foto de muestra de mano.
Foto 8.1.3.B	Microfotografía en luz transmitida y nicoles cruzados.
Foto 8.1.4.A	Foto de muestra de mano.
Foto 8.1.4.B	Microfotografía en luz transmitida y nicoles cruzados.
Foto 8.1.5.A	Foto de muestra de mano.
Foto 8.1.5.B	Microfotografía en luz transmitida y nicoles cruzados.
Foto 8.1.6.A	Foto de muestra de mano.
Foto 8.1.6.B	Microfotografía en luz transmitida y nicoles cruzados.
Foto 22.-	Muestras de sulfuros masivos, A) SPB ricos en Zn-Pb-Ag, B) SPB ricos en Cu.

LISTA DE FIGURAS	
Figura 1.-	Ubicación y acceso a la UM Cerro Lindo
Figura 2.1.-	Ubicación metalogénica del yacimiento VMS Cerro Lindo.
Figura 2.2.-	Las fallas sinvolcánicas sirvieron como conductos para los fluidos mineralizantes.
Figura 2.3.-	Mapa metalogenético de depósitos tipo VMS: Operaciones y proyectos mineros.
Figura 3.1.-	Marco tectónico de los ambientes de formación de los depósitos VMS
Figura 3.2.-	Esquema del sistema de circulación de fluidos que dan origen a los depósitos VMS
Figura 3.3.-	Zonamiento de los metales base en un depósito VMS
Figura 4.1.-	Ambiente de Formación del Yacimiento Cerro Lindo
Figura 4.2.-	Mapa de Geología Regional
Figura 5.1.-	Columna Estratigráfica Distrital
Figura 6.1.-	Plano Geológico Local
Figura 6.2.-	Columna Estratigráfica Local
Figura 7.1.-	Diagrama de roseta
Figura 7.2.-	Diagrama de densidad de polos indicando principales sets de fallas y fracturas.
Figura 7.3.-	Vista de proyección estereográfica de fallas del sistema N-S
Figura 7.4.-	Diagrama de diedros rectos representando las zonas en compresión (blanco) y distensión
Figura 7.5.-	Estereogramas representando tres tipos de movimiento identificados en el sistema N-S.
Figura 7.6.-	Vista de proyección estereográfica de fallas del sistema
Figura 7.7.-	Diagrama de diedros rectos representando las zonas en compresión (gris) y distensión (blanco)-Sistema NO-SE.
Figura 7.8.-	Vista de proyección estereográfica de los dos tipos de movimiento para el sistema NE-SO.
Figura 7.9.-	Resultado del modelo 3D de estructuras mayores.
Figura 7.10.-	Primer Sistema de Fallas N-S
Figura 7.11.-	Segundo Sistema de Fallas NE-SO
Figura 7.12.-	Tercer Sistema de Fallas NO-SE
Figura 8.1.-	Edad de los circones en muestras analizadas (mediante U-Pb)
Figura 9.1.-	Sección Longitudinal mirando al Nor-este donde se muestra los niveles de alteración. (Tomado del informe interno de CL, M. Lavado.
Figura 10.1.-	Cerro Lindo, Alteration Hydrothermal
Figura 10.2.-	Cerro Lindo, Sericitization
Figura 10.3.-	Cerro Lindo, Silicification
Figura 10.4.-	Alteración Plot Box
Figura 10.5.-	Gráfico de Alteración Box Plot para los Cuerpos Mineralizados en Cerro Lindo
Figura 10.6.-	Alteración Box Plot para el OB-1
Figura 10.7.-	Alteración Box Plot para el OB-2
Figura 10.8.-	Alteración Box Plot para el OB-2B
Figura 10.9.-	Alteración Box Plot para el OB-3-4
Figura 10.10.-	Alteración Box Plot para el OB-5
Figura 10.11.-	Alteración Box Plot para el OB-5B
Figura 10.12.-	Alteración Box Plot para el OB-5C
Figura 10.13.-	Alteración Box Plot para el OB-6
Figura 10.14.-	Alteración Box Plot para el OB-6A
Figura 10.15.-	Alteración Box Plot para el OB-6B
Figura 10.16.-	Alteración Box Plot para el OB-7
Figura 10.17.-	Alteración Box Plot para el OB-8
Figura 11.1.-	Tabla de Tonelajes y Leyes de la Mina de Millenbach
Figura 11.2.-	Vista en Planta de los OB y los diques andesíticos.
Figura 11.3.-	Sección longitudinal del cuerpo OB1.
Figura 11.4.-	Vista en planta Nivel 1600
Figura 11.5.-	Vista en Planta 1650.
Figura 11.6.-	Vista en Planta Nivel 1700
Figura 11.7.-	Vista en Planta Nivel 1750.
Figura 11.8.-	Vista en Planta Nivel 1800.
Figura 11.9.-	Vista en Planta Nivel 1850.
Figura 11.10.-	Vista en Planta Nivel 1900.

