

Universidad Nacional de Ingeniería
Facultad de Ingeniería Geológica Minera y Metalúrgica



TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

**Control estructural y profundización de la mineralización
cuprífera en la zona de Pumagayoc - Mina Cobriza - Huancavelica**

Para obtener el título profesional de Ingeniero Geólogo

Elaborado por

Rubén Leoncio Tinco Orihuela

 [0009-0001-9924-1087](https://orcid.org/0009-0001-9924-1087)

Asesor

M.Sc. Nora Nelly Revollé Álvarez

 [0000-0003-1818-9561](https://orcid.org/0000-0003-1818-9561)

LIMA – PERÚ

2025

Citar/How to cite	Tinco Orihuela [1]
Referencia/Reference	[1] R. Tinco Orihuela, " <i>Control estructural y profundización de la mineralización cuprífera en la zona de Pumagayoc - Mina Cobriza - Huancavelica</i> " [Trabajo de suficiencia profesional de pregrado]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2025.
Estilo/Style: IEEE (2020)	

Citar/How to cite	(Tinco, 2025)
Referencia/Reference	Tinco, R. (2025). <i>Control estructural y profundización de la mineralización cuprífera en la zona de Pumagayoc - Mina Cobriza - Huancavelica</i> . [Trabajo de suficiencia profesional de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

Dedicatoria

A mis padres Leoncio Tinco y Lidia Orihuela porque hicieron de mí una persona de bien, impartíendome ejemplos dignos de superación, entrega y honradez, son mi motivación para alcanzar mis metas personales.

A mi novia Rossmary Matta por ser el aliciente que me impulsó a concluir este trabajo.

A Dios por ser mi principal motivación para seguir adelante, por guiar mis pasos y brindarme lo más importante en la vida, salud.

Agradecimientos

A Dios, por protegerme en el día a día y por dirigir mis pasos por el sendero del bien.

A la empresa Doe Run Perú S.A. Unidad Minera Cobriza que me dio la oportunidad de desempeñar mi labor de geólogo.

A los ingenieros Nora Revollé y Alfonso Huamán por su predisposición, paciencia y apoyo que hicieron realidad la elaboración de este trabajo.

A mi alma máter la Universidad Nacional de Ingeniería, que con su exigencia hizo de mi persona un profesional exitoso.

Resumen

El presente trabajo corresponde al estudio del control estructural del yacimiento metasomático distal Cobriza Cerro Pumagayoc emplazado en las calizas Copacabana, localizado al sur este de la ciudad de Lima, distrito de San Pedro de Coris, Provincia de Churcampa, región Huancavelica.

La Unidad Minera produce 9,100 TM/día, con leyes promedio de 0.98% de Cu y 21 g/TM Ag; tiene minerales contaminantes de arsénico, bismuto y antimonio.

El presente trabajo de investigación tiene por objetivo establecer cuáles son los controles estructurales y genéticos de formación del yacimiento; para ello se ejecutó el estudio lito estructural y mineralógico en las labores mineras ejecutadas en el extremo sur de Pumagayoc, logrando la correlación geológica de las estructuras mineralizadas relevantes del yacimiento.

La campaña de perforación diamantina 2013-2014, tuvo como objetivo investigar la continuidad de mineralización en el extremo sur de Pumagayoc, determinando con estos estudios, que la falla Pumagayoc 1 de rumbo y buzamiento N45°E, 20°NW, ejerció el control estructural de los flujos mineralizantes y estuvo ligada a la génesis del yacimiento en este sector.

Como resultado de esta evaluación geológica, se logró además el diseño técnico económico más apropiado, que permitió el mejor desarrollo y preparación de la mina cobriza, en el extremo sur de Pumagayoc.

Palabras clave — Mineralización, Pumagayoc, mina, Cobriza.

Abstract

The present work corresponds to the study of the structural control of the Cobriza Cerro Pumagayoc distal metasomatic deposit located in the Copacabana limestone, located to the south east of the city of Lima, San Pedro de Coris district, Churcampa Province, Huancavelica region.

The mining unit has a daily production of 9,100 TM with average grades of 0.98% Cu and 21 gr/TM Ag; it has polluting minerals such as arsenic, bismuth and antimony.

The objective of this research work is to establish what are the structural and genetic controls of formation for the deposit; For this, a study of all the work carried out in the extreme south of Pumagayoc was carried out, in order to execute a geological correlation of all the relevant structures of the deposit.

The 2013-2014 diamond drilling campaign aimed to determine the continuity of mineralization at the southern end of Pumagayoc, taking into account the fault at the southern end of Pumagayoc (unnamed) N45°E, 20°NW as structural and genetic control of the deposit in the mentioned sector, which demonstrates the end of mineralization.

The result of this geological evaluation achieved a successful design for the development and preparation of the copper mine in the extreme south of Pumagayoc.

Keywords — Mineralization, Pumagayoc, mine, Cobriza.

Tabla de Contenido

	Pág.
Resumen	v
Abstract	vi
Introducción	xvii
Capítulo I. Parte introductoria del trabajo	1
1.1 Generalidades	1
1.1.1 Ubicación y accesos	1
1.1.2 Clima, flora y fauna.....	3
1.2 Descripción del problema de investigación	6
1.2.1 Justificación de la Investigación.....	6
1.3 Objetivos	7
1.3.1 Objetivo general	7
1.3.2 Objetivos específicos.....	7
1.4 Antecedentes Investigativos	7
1.4.1 Antecedentes internacionales.....	7
1.4.2 Antecedentes nacionales	8
Capitulo II. Marcos teórico y conceptual.....	10
2.1 Marco teórico.....	10
2.1.1 Franja metalogenética	10
2.1.2 Condiciones fisicoquímicas de formación	11
2.2 Marco conceptual	13
2.2.1 Depósito Tipo Skarn	13
2.2.2 Controles estructurales.....	15
Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación	28
3.1 Metodología de la investigación.....	28
3.1.1 Diseño de la investigación	28
3.1.2 Unidad de análisis	28

3.1.3	Etapas de la investigación	28
3.1.4	Matriz de consistencia	30
3.2	Geología regional	32
3.2.1	Litología.....	32
3.3	Geología local	45
3.3.1	Geomorfología.....	45
3.3.2	Litología.....	45
3.3.3	Geología estructural	56
3.3.4	Geología económica.....	67
3.4	Investigaciones de campo	68
3.4.1	Alteración y mineralización	68
3.5	Investigaciones de laboratorio	82
3.5.1	Alteraciones hidrotermales y mineralización	82
3.5.2	Paragénesis	91
3.5.3	Macro y micro plegamiento.....	95
Capítulo IV. Análisis e interpretación de resultados		97
4.1	Control estructural	97
4.2	Control estratigráfico	98
4.3	Control litológico.....	98
4.4	Control físico químico	99
4.5	Control mineralógico.....	100
4.6	Interpretación metalogenética	105
4.6.1	Fase metamórfica e isoquímica.....	106
4.6.2	Fase metasomática	109
4.6.3	Fase hidrotermal y mineralización	109
4.7	Zoneamiento metálico del manto Cobriza zona Pumagayoc	110
4.8	Recopilación y análisis de datos.....	110
4.8.1	Mapeo geológico del extremo sur de Pumagayoc	110

4.8.2	Logeos geológicos y leyes de taladros diamantinos	113
4.9	Propuesta de ingeniería	114
4.10	Estimación de reservas	114
4.10.1	Reservas probadas y probables	114
	Conclusiones	123
	Recomendaciones	124
	Referencias bibliográficas	125
	Anexos	128

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1: Accesibilidad, tiempos de traslado y distancias hacia la mina	1
Tabla 2: Matriz de consistencia.....	31
Tabla 3: Composición química (%) del horizonte calcáreo Cobriza y del skarn de hornblenda	49
Tabla 4: Análisis geoquímico del batolito de Cobriza y mineral rico en hornblenda.....	53
Tabla 5: Leyes promedio de plomo, zinc y plata en afloramientos de baritina y calcita. ..	80
Tabla 6: Reservas probadas y probables para el año 2016.	115
Tabla 7: Evolución de las reservas minerales Unidad Minera Cobriza	115
Tabla 8: Reservas generadas por perforación diamantina	116
Tabla 9: Flujo de caja de ingresos y costos de producción.	117

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 : Plano de ubicación de la mina Cobriza	2
Figura 2 : Sembrío de papa como actividad económica, típico en climas fríos a templados.....	4
Figura 3 : Zonas altas de San Pedro de Coris con vegetación típica de un clima frígido..	4
Figura 4 : Poblado de Pumagayoc donde se practica la agricultura, es de clima templado.....	5
Figura 5 : Río Mantaro, ubicado a 1,980 m.s.n.m., se observa también los Baños Termales de Pampa Coris, zona de clima cálido	5
Figura 6 : El metamorfismo y metasomatismo de contacto, sumado a la movilización de Mg, Fe y de otros elementos, da origen al skarn.....	13
Figura 7 : Hornfels en dolomita, alto contenido de magnesio.....	14
Figura 8 : Skarn con reemplazamiento de calcopirita masiva. Mina Cobriza.....	14
Figura 9 : Hornblenda y posiblemente rastros de materia orgánica. Mina Cobriza.....	14
Figura 10: Magnetita con intercalaciones de hornblenda en pseudoestratos. Mina Cobriza.....	15
Figura 11: Formación de oquedades durante el plegamiento.....	16
Figura 12: Formación de stockwork en función de la dirección de los estratos.....	16
Figura 13: Trampas ocasionadas por fuerzas tensionales de compresión y extensión. ..	16
Figura 14: Esquema de una falla normal.....	17
Figura 15: Esquema de una falla inversa.....	18
Figura 16: Esquema de una falla de desplazamiento.....	18
Figura 17: Principales indicadores cinemáticos para determinar el sentido de movimiento de fallas.....	19
Figura 18: Esquema de los pliegues y sus partes principales, en un pliegue vertical y un pliegue inclinado.....	21

Figura 19: Clasificación según la forma, de izquierda a derecha: antiforma y sinforma (m: capa moderna, a: capa antigua)	21
Figura 20: Subclasificación según inclinación, de izquierda a derecha: simétrico, inclinado, agachado e invertido.....	22
Figura 21: Pliegue inclinado en paquete de calizas cuyo plano axial buza 60°	22
Figura 22: Pliegue tumbado en paquete de calizas cuyo plano axial buza 10°	23
Figura 23: Falla normal en paquete de calizas.....	23
Figura 24: Pliegues simétricos como control de la mineralización, albergando mayor concentración de Cu	23
Figura 25: Vista SE, contacto concordante del Batolito de Cobriza con las lutitas pizarrosas del Grupo Tarma.	32
Figura 26: Evolución del dominio Herciniano en el centro del Perú.....	33
Figura 27: Vista mirando al NW mostrando los afloramientos del Horizonte Cobriza.	35
Figura 28: Plano geológico regional Unidad Minera Cobriza.....	39
Figura 29: Columna estratigráfica regional.....	40
Figura 30: Facies del Pensilvaniano.	44
Figura 31: Horizontes de calizas de 10 a 20 cm de espesor, afloran al techo del horizonte Cobriza al NW de la mina Cobriza (Huaribamba).....	48
Figura 32: Horizontes de Calizas de 0.5 a 1cm de espesor afloran al piso del Horizonte Cobriza al NW de la mina Cobriza (Huaribamba).....	48
Figura 33: Sección transversal del flanco este del anticlinal de Coris.	55
Figura 34: Plano geológico local	57
Figura 35: Columna estratigráfica local	58
Figura 36: Plano estructural local.....	60
Figura 37: Modelo estructural del yacimiento Cobriza.....	63
Figura 38: Gráfica de un pliegue de arrastre.....	64
Figura 39: Pliegues Kink Chevron en frentes de avance del sub-nivel 10 5250 Sur Pumagayoc	65

Figura 40: Afloramiento del manto Cobriza en las áreas de Coris y Pumagayoc.	67
Figura 41: Textura bandeada de calcopirita (cp) con piroxenos (Pxs), tipo diópsido (diop). Nivel 04 Sección 2,320, cota 2,076 m., caja piso del manto.....	68
Figura 42: Muestra tomada en el Nivel 00 Sección 2,530, cota 2,044 m. caja piso, se muestra arsenopirita (asp) masiva con parches de calcopirita (cp).....	70
Figura 43: Muestra tomada en el nivel 51, sección 2,753, cota 2,565 m, se observa pirrotita (po), calcopirita (cp) y arsenopirita (asp) dentro de una matriz de hornblenda (hb) – actinolita (act).	72
Figura 44: Muestra tomada en el nivel 51, sección 2,590, cota 2,593 m. se observa calcopirita y arsenopirita dentro de una matriz de cuarzo - biotita y hornblenda-actinolita	72
Figura 45: Muestra tomada en el nivel 10, sección 2,170, cota 2,150 m, se muestra pirrotita (po) de grano grueso y diseminaciones de calcopirita (cp).....	73
Figura 46: Muestra tomada en el nivel 00.	73
Figura 47: Muestra tomada en el nivel 00, sección 3600, cota 2,000 m caja piso, la muestra presenta cristales de granates marrones a rojizos (andradita).	75
Figura 48: Muestra tomada en el nivel 10, sección 1,480, cota 2,211m., caja piso en manto desplazado se muestra diópsido en bandas intercaladas con bandas de pirrotita – calcopirita.	77
Figura 49: Muestra tomada en el nivel 10 sección 1,355, cota 2,182 m., caja piso, la muestra presenta dolomitización como matriz con fina diseminación de py, atravesada por venas y venillas de cuarzo recristalizado y calcita.	77
Figura 50: Muestra tomada en el nivel 42 sección 2,660, cota 2,420 m, caja techo.	78
Figura 51: Nivel (-20), sección 2,430, cota 1,992 m. Se muestra el contacto caja piso, seguido de la zona de hornfels, con venillas de cuarzo con calcopirita y arsenopirita.	79

Figura 52: Muestra tomada en el nivel 10 sección 1,340, cota 2,180 m. caja piso, la muestra presenta brechamiento, clastos de dolomita, hornfels, dentro de una matriz de calcita, siderita y baritina.	79
Figura 53: Brechas, con matriz de baritina-calcita y clastos angulosos a sub-angulosos de pizarra-caliza obtenido del DDH OP16-2014.	80
Figura 54: Muestras de mármol gris - blanquecino a crema con bandas de diópsido – granates obtenido del DDH OP16-2014	81
Figura 55: Muestra tomada del nivel 80 S Pumagayoc, sección 5,000, cota 2,820 m. Muestra con presencia de óxidos de cobre, brocantita, azuritas y malaquitas.....	82
Figura 56: Muestra de caliza recristalizada, en donde se observa bandeamiento de 1-2 mm.	83
Figura 57: Muestra tomada del Nivel 00, sección 2,320, cota 2076 m. Ancho de foto 2 mm. Se observa esfalerita (ef) con calcopirita (cp) y pirrotita (po), se observan texturas de exsolución de calcopirita (cp).	85
Figura 58: Muestra tomada del nivel 19, sección 2,740, cota 2201.5 m. Caja piso. LP 10x10. Calcopirita como inclusiones.....	86
Figura 59: Zinc en mineral de marmatita como mineralización típica de la zona de Pumagayoc, presentándose en venillas a la caja piso.....	87
Figura 60: Nivel 19, sección 2,740, cota 2,201 m. Caja piso. LP. 10x10. En la parte central cristales alotriomórficos de esfalerita (marmatita.....	87
Figura 61: Nivel 51, sección 2,570, cota 2,589 m. Caja techo. LP 10x10. Biotita - margarita a partir del reemplazamiento de hornblenda-actinolitas.	88
Figura 62: Nivel 51, sección 2,590, cota 2,593. Ancho de foto 2.00 mm. Hacia la parte central cristales prismáticos alargados de Hornblendas-Actinolitas	88
Figura 63: Nivel 51, sección 2,750, cota 2,510 m; Fluorita-Cuarzo-Sericita (Talco) - Arsenopirita.	89

Figura 64: Nivel 10, sección 1,355, cota 2,182 m. Caja piso. Vena rellena por minerales opacos y cuarzos corta a carbonatos (dolomitización)	90
Figura 65: Cu nativo en cristales octaédricos, formado en zona de falla, en el Nivel 28 Norte, ubicado a 40 metros de la superficie	90
Figura 66: Esquema de la evolución y mineralización Skarn Cobriza	92
Figura 67: En la parte inferior se observa cristales gruesos de calcita con sus típicos clivajes en rombos, y en contacto hacia la parte superior se tiene formas hemiradiales de wollastonita Wo.....	95
Figura 68: Nivel 00, sección 3,450, cota 2,000m. Caja techo.Los espacios intergranulares de los granates que se observan en la parte central están rellenos por hornblendas y calcita	95
Figura 69: Se observa el paquete sedimentario marmolizado del Grupo Copacabana ...	99
Figura 70: Plegamiento de las calizas del Grupo Copacabana, provocada por fallas de rumbo NNW-SSE.	99
Figura 71: Muestra tomada del Nivel 00, sección 3,450, cota 2,000 m. caja techo; la muestra presenta intercalaciones de dos tipos de facies	101
Figura 72: Mineralización de calcopirita, marmatita, siderita y sericita en pseudoestratos	102
Figura 73: Mineralización de sericita y siderita en pseudoestratos con incrustaciones de arsenopirita cúbica. Correspondiente al área de Pumagayoc	103
Figura 74: Venillas de marmatita, siderita, calcita y disseminaciones de pirita, éstas emplazadas entre el manto y la caja piso (hornfels)	104
Figura 75: Rejalgar con cristales subhedrales emplazados en fallas transversales al manto Cobriza	104
Figura 76: Mena de plata en mineral de galena argentífera, mineralización del extremo sur de Pumagayoc.	104
Figura 77: Mineralización de magnetita en pseudoestratos con concreciones de calcita y Hornblenda en cristales subhedrales.....	105

Figura 78: Esquema de la evolución geológica del manto Cobriza.	107
Figura 79: Evolución genética del yacimiento Cobriza.	108
Figura 80: Perforación diamantina versus reservas probadas.....	117
Figura 81: Sección transversal geológica DDH C04-2013.	118
Figura 82: Sección longitudinal geológica DDH C04-2013.....	119
Figura 83: Sección transversal geológica DDH OP16-2014.....	120
Figura 84: Sección longitudinal DDH OP16-2014.	121
Figura 85: Sección longitudinal zoneamiento geológico área Pumagayoc	122

Introducción

En el presente trabajo de investigación, se tiene como objetivo desarrollar los estudios geológicos, a fin de garantizar la producción anual de 4,500 tms. El contenido se ha estructurado en cuatro capítulos, descritos a continuación:

En el Capítulo I, trata de las generalidades, la descripción del problema de investigación. Así mismo este capítulo contiene objetivos generales y específicos, antecedentes internacionales y nacionales.

El Capítulo II, se titula Marcos teórico y conceptual y contiene: Marco Teórico, donde se muestran diversos estudios base relacionados con el tipo de yacimiento que es clasificado la mina Cobriza. También se incluye en el presente capítulo el Marco Conceptual, donde se precisa los términos recurrentes en la investigación que connotan un significado específico tales como depósito skarn, controles estructurales, indicadores cinemáticos, descripción y tipos de pliegues.

El Capítulo III, se titula Desarrollo del trabajo de investigación y contiene: diseño y unidad de análisis de la investigación, así mismo se cuenta con la descripción de la geología regional y local, litología, investigaciones de campo, investigaciones de laboratorio tales como alteraciones hidrotermales y mineralización

El Capítulo IV, se titula Análisis y discusión de resultados de la investigación y contiene los parámetros del yacimiento tales como controles estructurales, control estratigráfico, control litológico, control físico químico, control mineralógico, interpretación metalogenética, zonamiento metálico del manto Cobriza Zona Puamagayoc; así como la recopilación y análisis de datos.

Finalmente se brindan las conclusiones y recomendaciones donde se indica los argumentos finales y sugerencias para futuras propuestas que puedan complementar esta investigación.

Capítulo I. Parte introductoria del trabajo

1.1 Generalidades

1.1.1 Ubicación y accesos

Cobriza es un yacimiento que se encuentra ubicado en el flanco oeste de la Cordillera Oriental de los Andes Centrales, a 110 km en línea recta al sureste de la ciudad de Huancayo. Se encuentra en el cuadrángulo de Huanta (26 – ñ, Ingemmet), coordenadas centrales UTM 8609500 N, 566200 E (Zona 18, Banda L) como referencia, altitud media de 2,000 m.s.n.m., en el distrito de San Pedro de Coris, provincia de Churcampa, región de Huancavelica (INGEMMET, 1996, p.142), tal como se ilustra en la figura 1.

La mina Cobriza es accesible desde la ciudad de Lima por dos rutas o vías principales.

Tabla 1

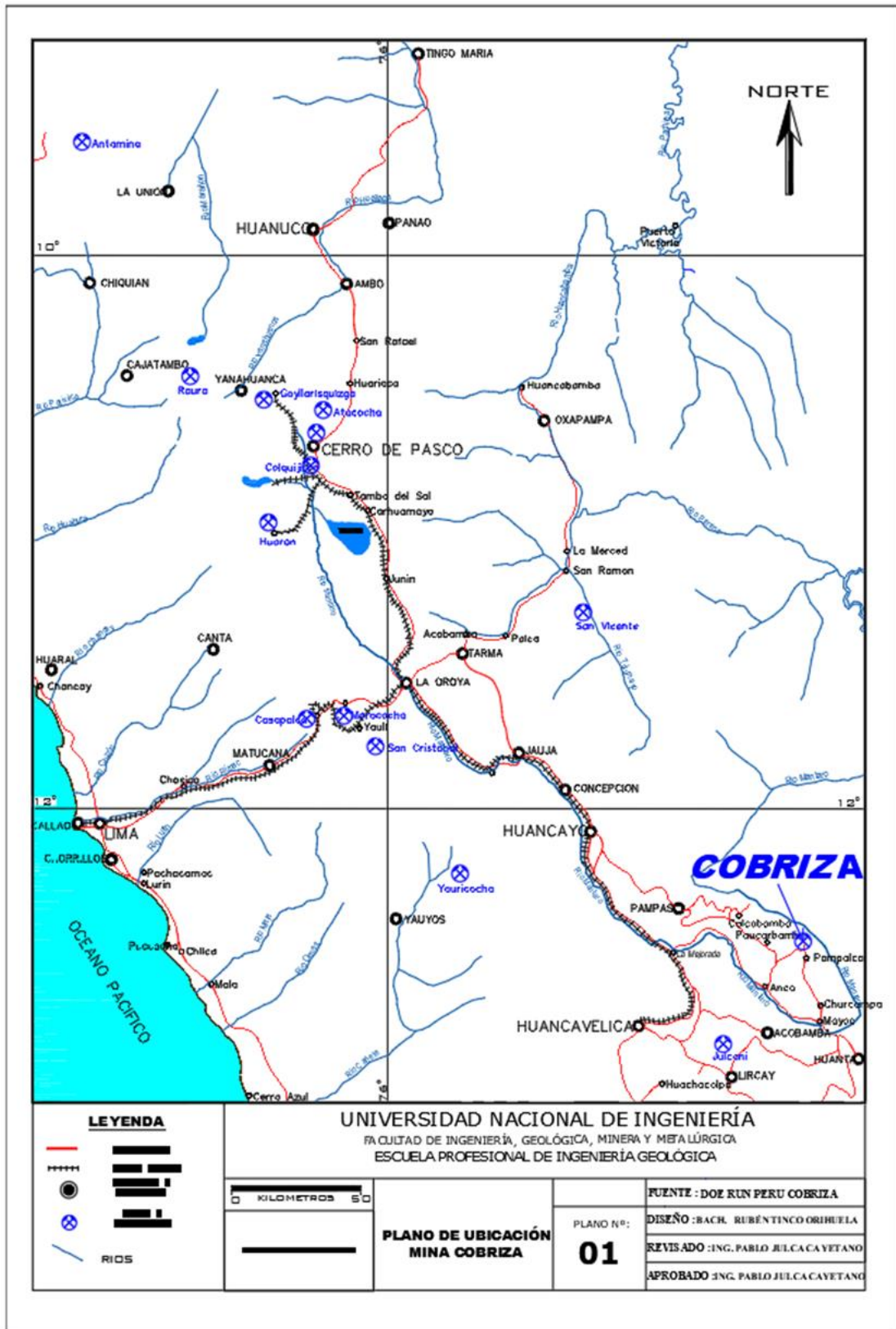
Accesibilidad, tiempos de traslado y distancias hacia la mina

RUTA 1	DISTANCIA (km)	ESTADO DE LA VÍA	TIEMPO DE VIAJE
Lima - La Oroya	210	Asfaltada	5h
La Oroya – Huancayo	160	Asfaltada	2h
Huancayo – Pampas	100	Afirmada	3h
Pampas - San Pedro de Coris - Cobriza	30	Afirmada	1.5h
Total	500		11.5h
RUTA 2	DISTANCIA (km)	ESTADO DE LA VÍA	TIEMPO DE VIAJE
Lima – Ayacucho (vía aérea)	202	Aérea	0.45 h
Ayacucho - Huanta-Churcampa	100	Afirmada	2h
Churcampa - San Pedro de Coris	50	Afirmada	1h
San Pedro de Coris – Cobriza	10	Afirmada	0.45h
Total	362		4.5h

Nota: Elaboración propia.

Figura 1

Plano de ubicación de la mina Cobriza



Nota: Elaboración propia.

La zona de trabajo es fuertemente accidentada y se encuentra en el flanco oeste de la Cordillera Oriental de los Andes Centrales, con cerros altos que sobrepasan los 4,000 m de altura y valles que descienden hasta los 2,000 m de altitud.

1.1.2 Clima, flora y fauna

El clima es templado, con temperatura promedio anual de 21.2°C. Los meses de clima es seco, son los de mayo a noviembre. Por otro lado, la humedad relativa promedio es de 60%, con incremento de la misma en los meses de enero a marzo. Respecto a la precipitación, se tiene que la máxima es de 567 ml/año, siendo la menor de 323 ml/año, con un promedio anual de 406 ml/año. Debido a la periodicidad de las tormentas, las laderas de Cobriza se ven afectadas por el proceso de erosión de suelos. El promedio anual de drenaje estimado para la micro cuenca Cobriza, es de 87 l/s (INGEMMET, 1996, p.15).

La variedad de climas, se da por la diferencia de altitud existente en esta zona, que va desde un clima frígido en la zona de altas montañas, clima templado en la zona de valles andinos y clima semi tropical en la zona ceja de selva. La zona de trabajo, se encuentra en el flanco oeste de la Cordillera Oriental de los Andes Centrales, con su punto más alto en el cerro Yanarumi con 4,200 metros de altitud y el punto más bajo en el fondo del valle del río Mantaro a 1,980 m.s.n.m.

Doe Run Perú (2010) en un Informe Técnico, describe para el área de investigación, las siguientes regiones climáticas del área de trabajo:

Clima frígido.

El clima frígido se presenta en la zona Puna ubicada sobre los 4,000 metros de altitud, presenta vegetación característica de altas montañas, la temperatura oscila entre 0°C y 6 °C y la precipitación pluvial anual entre 500 ml a 1,000 ml. (figura 3).

Clima frío a templado.

El clima frío a templado, se presenta en los valles altos entre los 3,200 y 4,000 metros de altitud; la temperatura característica media de esta zona, oscila entre 6°C y 12°C

con precipitaciones que varían entre 500 y 1,000 ml al año. En esta zona se desarrolla agricultura (Figuras 2 al 5).

Figura 2

Sembrío de papa como actividad económica, típico en climas fríos a templados



Nota: Elaboración propia.

Figura 3

Zonas altas de San Pedro de Coris, con vegetación típica de un clima frígido



Nota: Elaboración propia.

Clima templado.

El clima templado se presenta en la zona, donde los valles se encuentran a mediana altura, entre 2,100 y 3,200 de altitud, con temperaturas que varían entre 12°C y 18°C, la precipitación anual es de 500 hasta 1,500 ml. Debido al buen clima, en los valles de clima templado, se encuentran la mayoría de las zonas pobladas. Este clima, es el adecuado para el buen desarrollo de poblaciones, agricultura y la ganadería.

Clima templado a cálido.

Este tipo de clima se presenta en los valles bajos con altitudes entre 1,500 y 2,100 metros, temperaturas entre 18°C y 24°C y precipitaciones que oscilan entre los 250 y 1,000 ml. Este clima, es el predominante en el yacimiento Cobriza.

Figura 4

Poblado de Pumagayoc donde se practica la agricultura, es de clima templado



Nota: Elaboración propia.

Figura 5

Río Mantaro, ubicado a 1,980 m.s.n.m., se observa también los Baños Termales de Pampa Coris, zona de clima cálido



Nota: Elaboración propia.

Los auquénidos son los principales representantes de la fauna departamental, vicuñas y guanacos pastan en las mesetas altoandinas. Otros herbívoros son: tarucas, vizcachas y chinchillas. Estas especies son alimento de carnívoros como el puma y el zorro andino. Los carroñeros cóndores y gallinazos dan cuenta de los cadáveres de animales que consumen sin peligro de infecciones gracias a su eficiente sistema inmunológico.

1.2 Descripción del problema de investigación

La necesidad de definir zonas de mineralización mediante estudios geológicos, a fin de garantizar la producción actual 2025 de alrededor de 4,500 TM/día, es trabajo permanente e imperativo en la mina Cobriza. El presente estudio, definirá las áreas de mayor potencial en el extremo sur de Pumagayoc, ya que presenta indicios favorables de importancia prospectiva y exploratoria, por sus valores de interés en Cu y Ag. Interpretará también, la distribución económica del Cu a profundidad, en el área de Pumagayoc.

1.2.1 Justificación de la Investigación

La mina Cobriza producía 7,800 TM/día a setiembre del 2019 y 4,500 TM/día a diciembre de 2021. Al requerirse la confirmación de nuevos recursos minerales, se está prospectando las zonas de Pumagayoc y Coris. Es de necesidad, estudiar e interpretar en base a los controles estructurales, el comportamiento de la mineralización de Cu y Ag en profundidad, en volúmenes y leyes que garanticen la continuidad de la operación de Cobriza.

Botín (2019), señala que “El proceso de inversión minera se caracteriza por el enfoque en la reducción del riesgo asociado a los parámetros del proyecto que inciden sobre la utilidad económica y la viabilidad del proyecto. Si el proceso se conduce adecuadamente, el riesgo, medido como producto del potencial económico y la probabilidad de éxito, debe disminuir en cada fase. (p.72)”.

Interpretamos que lo señalado en el párrafo anterior, comprende tanto los resultados del proceso geoevaluativo, que son decisivos en la primera etapa de cualquier proyecto de inversión minera, así como los resultados en el control geoeconómico y de calidad, que son permanentes durante la vida de la mina. En esta investigación de las zonas de Pumagayoc y Coris que corresponden a la Zona Sur del yacimiento, entre las secciones 4,500 a la 5,000 y entre las cotas 1,800 -2,000 m.s.n.m., se estima cubicar 337,000 TM de mineral económico, con leyes de 1.20 % Cu y 60 g/t Ag.

Machare (2011), indica respecto a la influencia de las características petrológicas y de los controles estructurales, en los procesos de mineralización, lo siguiente:

- Incrementan la porosidad y permeabilidad de los macizos rocosos
- Forman o vías o zonas de tránsito (pathways) para los fluidos mineralizantes.
- Aquellas muy grandes (fallas profundas) permiten el ascenso de fluidos desde la fuente de metales hacia el depósito. Aquellas más pequeñas permiten la circulación de los fluidos en la zona del yacimiento. Las estructuras tienen que estar activas durante la circulación
- Crean el espacio para el depósito de menas y controlan las formas del yacimiento
- Cuando son post-depósito, modifican la geometría original dando como resultado yacimientos deformados, ej. vetas “perdidas” por fallas. (p.18).

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Explicar el control estructural y profundización de la mineralización cuprífera de interés económico, en el extremo sur del área de Pumagayoc, que es parte del yacimiento Cobriza.

1.3.2 Objetivos específicos

- Interpretar las características litológicas, estructurales, de alteraciones y mineralización, en el área mineralizada de Pumagayoc.
- Establecer los controles de mineralización y generar un modelo estructural en dicha área.
- Determinar en esta área, la existencia de reservas y/o recursos minerales de posible interés económico y de mineral Potencial de posible interés exploratorio.
- Presentar esta investigación a consideración de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica de la FIGMM-UNI, como trabajo de tesis, para sustentar el título profesional de Ingeniero Geólogo.

1.4 Antecedentes Investigativos

1.4.1 Antecedentes internacionales

Eggert (2010), manifiesta que la exploración y el desarrollo de un yacimiento mineral, son actividades de investigación que de culminar con el descubrimiento de un

depósito mineral importante, conduce a beneficios de trascendencia económico social nacional y/o internacional, para la empresa minera, comunidades y pueblos del área de influencia, así como para la nación.

Smirnov et al., (1986) indica que el concepto de skarn está relacionado a rocas calcáreas que, en contacto con cuerpos intrusivos, forman por procesos de metamorfismo y metasomatismo, yacimientos minerales en skarn, que suelen denominarse con nombres distintos, como, yacimientos de contacto, metamórficos de contacto, metasomáticos de contacto y yacimientos en skarn, principalmente.

Antonio Raimondi (1866), reportó el yacimiento de Cobriza en su estudio de Recursos Minerales y Naturales.

1.4.2 Antecedentes nacionales

Quispe (2006) y Macharé (2001), manifiestan que los indicadores cinemáticos o tectoglifos son una serie de estructuras (milimétricas a métricas), desarrolladas en medio frágil y asociadas a fallas. Se emplean para determinar la dirección y sentido de desplazamiento sobre un plano de falla.

Petersen (1965), indica que el origen de Cobriza ha sido atribuido a un skarn distal formado en las calizas del Grupo Tarma.

Huamán et al. (1990), proponen para este yacimiento un origen singenético con alteración y removilización epigenética posterior, presentan evidencias de estructuras sedimentarias.

La edad entre el granito de Cobriza (253± 11 Ma, Noble et al., 1995) y la mineralización (263± 8 Ma, Noble et al., 1995), es bastante cercana.

Soler (1991a), sugiere que las características petrológicas y geoquímicas del intrusivo indican un emplazamiento en régimen extensional, asociado al rift Permo-Triásico.

Se han realizado estudios petro-minerográficos de muestras, por parte de la Cía. Cerro de Pasco Corporation y Centromin Perú. Así mismo, se han desarrollado una serie de estudios de investigación, sobre la geología, mineralización y alteraciones del depósito.

Cabe mencionar los trabajos de U. Petersen, J. Fernández, M. García, R.H. Phendler, H.W. Kobe, entre muchos otros.

Capítulo II. Marcos teórico y conceptual

2.1 Marco teórico

De acuerdo con el Informe Técnico Doe Run Perú (2010), Cobriza es un skarn cálcico magnesiano, estratiforme con sulfuros masivos, óxidos masivos y valores anómalos en cobre, plata y bismuto.

2.1.1 Franja metalogenética

Los yacimientos tipo skarn en el Perú, metalogénicamente, se han formado en la Franja Sedimentaria Mesozoica de la Cordillera Interandina en el contacto de stock de intrusiones del terciario, de composición intermedia (diorita, diorita cuarcífera, granodiorita, monzonita, monzonita cuarcífera), con calizas del Mesozoico (Triásico-Jurásico, Cretácico), como ejemplo se tiene Antamina (Cu, Zn, Ag, Mo), Raura (Zn, Pb, Ag), Morococha (Cu, Zn, Ag, Pb), Milpo - Atacocha (Zn, Pb, Ag); también se tiene yacimientos tipo skarn en el batolito de Andahuaylas – Yauri del Terciario inferior en contacto con las calizas del Cretácico medio a superior, ejemplo, los yacimientos en skarn de Fe (Andahuaylas, Ferrobamba, Livitaca), Chalcobamba (Cu), Tintaya (Cu, Mo).

Excepcionalmente existe mineralización tipo skarn de Fe en Marcona en la Cordillera de la Costa, en el contacto del Volcánico Río Grande del Jurásico con calizas del Jurásico y Paleozoico. Aunque en este caso, se discute también un origen tipo IOCG. En la Cordillera Negra (Ancash), en las calizas de la Formación Santa del Cretácico inferior, se explotó el yacimiento tipo skarn El Extraño (Pb, Ag, Zn) con presencia de mantos por reemplazamiento de horizontes calcáreos favorables. En la Cordillera Oriental, en la Formación Copacabana del Paleozoico, en forma de mantos se forma un yacimiento de tipo skarn de Cu en Cobriza (Huancavelica). También para este yacimiento, hay estudios que sugieren un origen singenético. Estos yacimientos tipo skarn, tienen una gran importancia en la producción de minerales metálicos en el Perú y en menor grado en la producción de algunos minerales no metálicos. Pero también entre los yacimientos

metálicos en skarn, en esta cordillera interandina, existen yacimientos de menor tonelaje, que son explotados en rangos de pequeña y mediana minería.

Por la composición química original de las rocas calcáreas, se distinguen tres tipos de skarn: calcáreo, magnesiano y de silicatos, que difieren en cuanto a los detalles en su composición mineral. El yacimiento Cobriza, está ubicado en el tipo "calcáreo". El skarn calcáreo, se forma al sustituirse principalmente las calizas. Es la variedad más difundida de skarn. Entre los principales minerales formadores de skarn de este tipo figuran, el granate (de la serie grosularia-andradita) y el piroxeno (de la serie diópsido-hedembergita). A veces adquiere un desarrollo considerable la vesuvianita, la wollastonita, la escapolita, los anfíboles, la epidota, la magnetita, los carbonatos y el cuarzo. La profundización de su mineralización está en función a la profundización de la caliza, que puede alcanzar cientos de metros; así como de la profundidad, composición y fluidos mineralizadores generados por el intrusivo que genera el skarn.

2.1.2 Condiciones fisicoquímicas de formación

Los yacimientos de skarn se forman como resultado de la acción combinada del calor de las intrusiones y las soluciones gaseoso-acuosas mineralizadas calientes. En la etapa inicial de investigación del skarn, se estimaba que este era producto de la acción directa de las fusiones magmáticas incandescentes sobre las rocas encajonantes. Más tarde se estableció universalmente, que el skarn puede desarrollarse tanto en las rocas calcáreas inmediatas a los intrusivos que los generan, como en las zonas periféricas de éstos, constituyendo los endoskarn. El skarn se forma en las zonas de contacto de los intrusivos, como regla, cristalizados completamente o en sumo grado. La acción de estos intrusivos sobre las rocas circundantes, es doble. Por una parte, las calienta originando su recrystalización y la formación de aureolas principalmente de marmolización más o menos discontinuas, por efecto del metamorfismo térmico. En rocas arcillosas, como los esquistos y pizarras entre otras, se forman diversas rocas cornéanas de contacto denominadas hornfels con componentes silico-alumínicos; de las areniscas se forman cuarcitas con cambios en la sílice, y de las rocas calcáreas principalmente calizas mármoles por

transformación de los carbonatos de calcio y adición de sílice. Luego del proceso anterior, ocurre metasomatismo propiamente dicho, generado por las sustancias volátiles que se originan en la periferia del cuerpo intrusivo o en sus partes profundas, formando los cuerpos de skarn con o sin mineralización metálica, cuyo interés económico dependerá del volumen y valor de los iones metálicos que contengan dichos fluidos. La posición final de los cuerpos de skarn, es controlada por las deformaciones tectónicas; su extensión total generalmente, constituye no más de una décima parte del perímetro del cuerpo intrusivo.

La relación entre los productos del metamorfismo térmico y el metasomatismo en las aureolas de los cuerpos intrusivos, consiste en lo siguiente:

- Las rocas que sufren metamorfismo térmico, se forman principalmente durante la recristalización de las rocas circundantes sin la aportación considerable de sustancias nuevas, mientras que las rocas metasomáticas o skarn, se forma a expensas de la acción que los compuestos químicos aportados ejercen sobre las rocas encajonantes.
- Las rocas que sufren metamorfismo térmico, se forman en los estadios tempranos de penetración y solidificación de los cuerpos intrusivos, creando una aureola discontinua, mientras que el skarn suele originarse más tarde, alimentado finalmente por un flujo de minerales en proporciones variables en su volumen en compuestos químicos y iones, de cuya proporción y tipo, dependerá el interés económico del yacimiento.
- Las rocas que sufren metamorfismo térmico, se forman al enfriarse los cuerpos intrusivos a cualquier profundidad y a cualesquiera presiones, y el skarn solo puede formarse a una profundidad relativamente pequeña, donde la presión interna, desarrollada por los compuestos volátiles del cuerpo intrusivo en estado de enfriamiento, es capaz de superar la presión externa de las rocas suprayacentes.

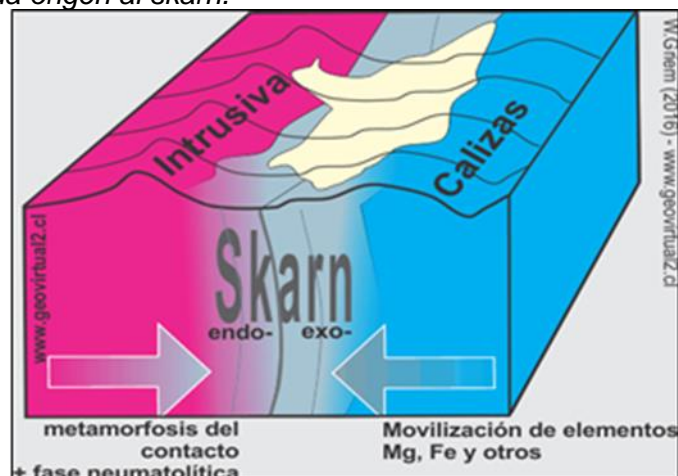
2.2 Marco conceptual

2.2.1 Depósito Tipo Skarn

Bateman A. (1978), define un skarn, como un depósito formado en un ambiente de metamorfismo de contacto con roca caja de carbonatos, como calizas, dolomitas y tal vez margas. Adicionalmente de los fenómenos de la metamorfosis de contacto, se puede detectar una fuerte metasomatosis en las rocas calcáreas y en el plutón. Esta metasomatosis, se manifiesta por una intensa movilización de líquidos del plutón hacia la roca de caja y desde la roca de caja hacia el plutón. El skarn que se forma a partir de la roca intrusiva, se llama endoskarn; mientras que el formado a partir de la roca de caja, se denomina exoskarn.

Figura 6

El metamorfismo y metasomatismo de contacto, sumado a la movilización del Mg, Fe y de otros elementos, da origen al skarn.



Nota: Bateman (1978).

Meinert et al. (2005), indica que los depósitos tipo skarn, fueron explorados y evaluados por minerales tales como Au, Ag, Cu, Fe, Mo, Sn, Zn, U, Tierras raras; éstos a su vez pueden subdividirse según el mineral o minerales más abundantes y de mayor valor económico. Estos depósitos poseen diversos tipos de alteración, como también características geoquímicas propias. Es así que se considera a Cobriza como un depósito de metamorfismo de contacto (skarn), con presencia de abundante granate, anfíboles (actinolita, tremolita y hornblenda), magnetita y pirrotita, que indican la llegada de soluciones poco saturadas con reemplazamiento de sulfuros de cobre. Se considera que

el granate reemplazó a los piroxenos, posteriormente reemplazados por anfíboles, magnetita, pirrotita y calcopirita. Las lutitas pizarrosas y lutitas calcáreas presentan un fuerte proceso de metamorfismo de alta temperatura.

Figura 7

Hornfels en dolomita, alto contenido de magnesio.



Nota: Rubén Tinco O (2018).

Figura 8

Skarn con reemplazamiento de calcopirita masiva. Mina Cobriza.



Nota: Rubén Tinco O (2018).

Figura 9

Hornblenda y posiblemente rastros de materia orgánica. Mina Cobriza.



Nota: Rubén Tinco O (2018).

Figura 10

Magnetita con intercalaciones de hornblenda en pseudoestratos. Mina Cobriza.



Nota: Rubén Tinco O (2018).

2.2.2 Controles estructurales

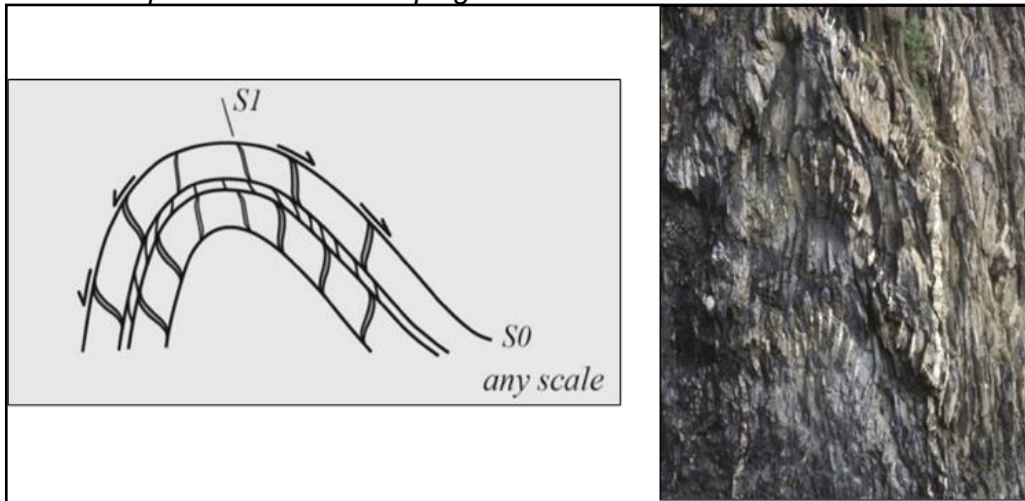
La mineralización de Cobriza tiene controles estructurales y estratigráficos. En diversos países, se han realizado numerosos estudios de diferentes yacimientos relacionados a la investigación de los procesos de formación de vetas, debido a su importancia en términos de tectónica y deformación (determinación de tensión y deformación) y/o por interés económico de los minerales que contienen. Es así, que diversos trabajos se han concentrado en la geometría externa de las vetas y sus relaciones con el modo de apertura y, en consecuencia, el campo de distorsión estructural local o regional durante la formación de vetas. En los siguientes ítems se desarrolla el marco teórico de los controles estructurales.

2.2.2.1 Trampas de formación. De acuerdo con Chauvet (2019), las figuras 11, 12 y 13 muestran tres tipos de trampas tectónicas clásicas. En la figura 11 las oquedades formadas durante el plegamiento de los estratos son rellenadas por los fluidos mineralizantes que contribuyen a la formación de mineralización económica. En la figura 12 se observan las oquedades formadas por cizallamiento diferencial, debido a fuerzas opuestas que ocasiona fracturamiento de la roca, en donde se alberga la mineralización económica, acompañadas de estratos más competentes y consolidados que favorecen la formación de un stockwork. En la figura 13 se observa fracturas controladas por fuerzas opuestas formando microbrechas que favorecen el albergue de mineralización económica.

Estos tres mecanismos son los más comunes en la formación de vetas de interés económico.

Figura 11

Formación de oquedades durante el plegamiento.



Nota: Chauvet (2019).

Figura 12

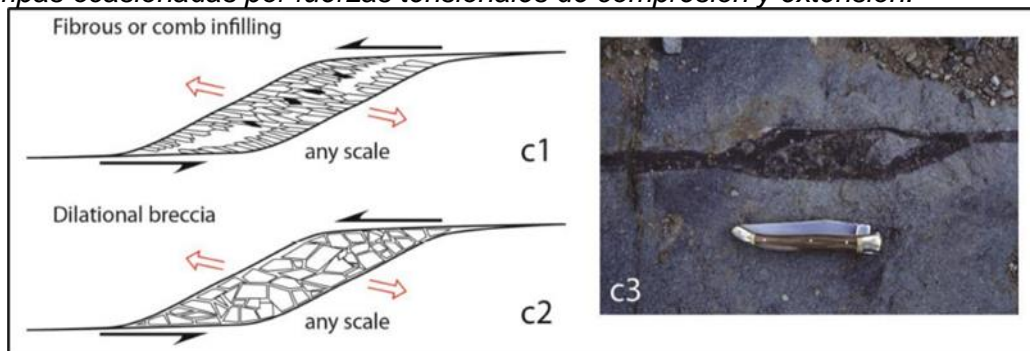
Formación de stockwork en función de la dirección de los estratos.



Nota: Chauvet (2019).

Figura 13

Trampas ocasionadas por fuerzas tensionales de compresión y extensión.



Nota: Chauvet (2019)

2.2.2.2 Fallas. Las fallas son roturas del macizo rocoso usualmente en una superficie plana, que tiene desplazamiento. Las fallas pueden ser visibles a simple vista o desde una vista aérea. Davis y Reynolds (1996), clasifican las fallas en:

Falla normal:

Es aquella en la que el bloque techo se mueve hacia abajo con respecto al bloque piso. Estas fallas suelen tener buzamientos moderados a altos, con un promedio de 60°. Con buzamientos menores a 45° (no previstos por la dinámica Andersoniana), pasan a denominarse fallas normales de bajo ángulo.

Falla transcurrente:

Es aquella que tiene movimiento horizontal de los bloques adyacentes. Dependiendo del movimiento relativo de un bloque con respecto al otro, pueden ser de dos tipos: dextrales o sinestrales. En el yacimiento Cobriza se tiene fallas sinestrales, tales como:

- Falla Rosa N30°-40°E, 45°SE
- Falla Frida N-S, 40° W
- Falla al extremo sur de Pumagayoc (sin nombre) N45°E, 20°NW

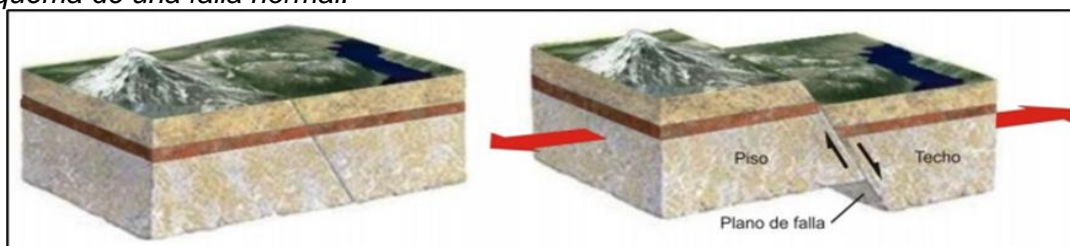
Siendo el desplazamiento de las fallas Rosa y Frida de 20 a 30 metros, y la falla al extremo sur de Pumagayoc tiene un desplazamiento de 20 metros.

Falla inversa:

Se caracterizan por un movimiento del bloque del techo hacia arriba con respecto al bloque piso. Las fallas inversas tienen generalmente un buzamiento menor a 45°, en promedio 30°. Si buzán más de 45° se les denominan fallas inversas de gran ángulo.

Figura 14

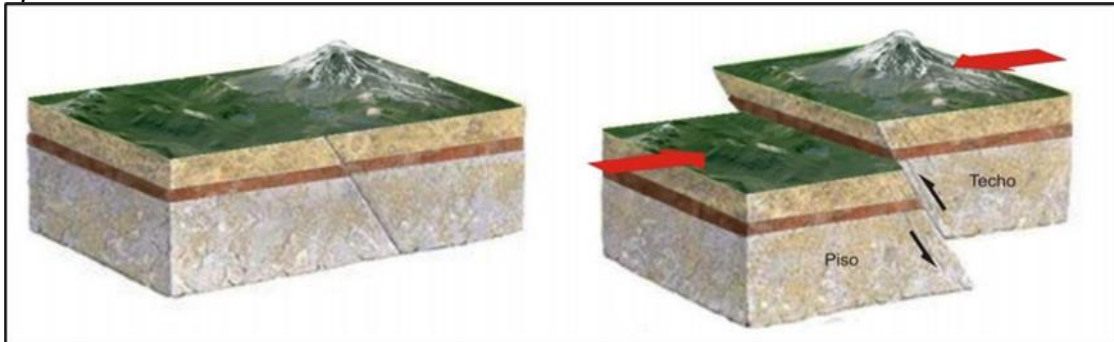
Esquema de una falla normal.



Nota: Davis y Reynolds (1996).

Figura 15

Esquema de una falla inversa.



Nota: Davis y Reynolds (1996).

Figura 16

Esquema de una falla de desplazamiento.



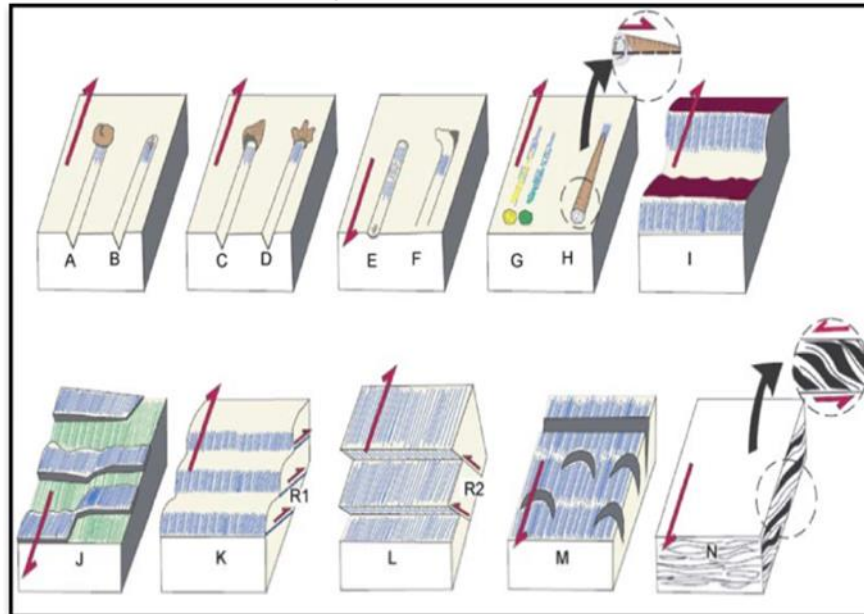
Nota: Davis y Reynolds (1996).

2.2.2.3 Indicadores cinemáticos (Tectoglifos). Quispe (2006) y Macharé (2001), manifiestan que los indicadores cinemáticos o tectoglifos, son una serie de estructuras (milimétricas a métricas) desarrolladas en medio frágil y asociadas a fallas. Se emplean para determinar la dirección y sentido de desplazamiento sobre un plano de falla. En la figura 17 se muestran los principales tectoglifos empleados para definir el sentido de movimiento del bloque faltante. Dentro de los cuales se puede destacar:

- El elemento estriador al cabo de la estría, que puede ser un fragmento de roca.
- El material triturado al cabo de la estría está constituido por material arrancado del plano de falla y depositado a un extremo de la estría.

Figura 17

Principales indicadores cinemáticos para determinar el sentido de movimiento de fallas.



Nota: A) Elemento estriador al cabo de estría. B) Material triturado al cabo de estría. C) Banqueta al cabo de estría. D) escama de arrastre. E) Nichos de arranque F) Escama de arranque. G) Colas de mineral. H) Lomosal abrigo. I) Planos ondulados: Faceta estriada VS. J) Cristalización al abrigo. K) Ridel R1. L) Ridel R2. M) Lúnulas de tracción. N) Lenticulaciones. Fuente, Quispe (2006).

- La banqueta al cabo de la estría se forma a partir del material arrancado del plano de falla, que es acumulado al extremo de la estría en forma de un pequeño promontorio.
- La escama de arrastre se forma cuando el material arrancado del plano de falla es depositado al extremo de la estría en forma de una escama.
- Los nichos de arranque se manifiestan como microdeslizamientos.
- Las escamas de arranque se generan a partir de las estrías que tienen uno de sus extremos levantados, arrancando material del plano de falla y dejando como resultado una superficie irregular.
- Las colas de mineral se caracterizan por tener presencia de minerales a un extremo de las estrías, mientras que hacia el lado opuesto se tiene polvo de mineral, dispuesto a manera de microbandas.
- Para que se formen los lomos al abrigo, se requiere de un elemento estriador endentado en el plano de falla, de tal manera que, durante el desplazamiento

relativo de bloques, el material arrancado del plano de falla se deposita a manera de lomas y es protegido por el elemento estriador endentado.

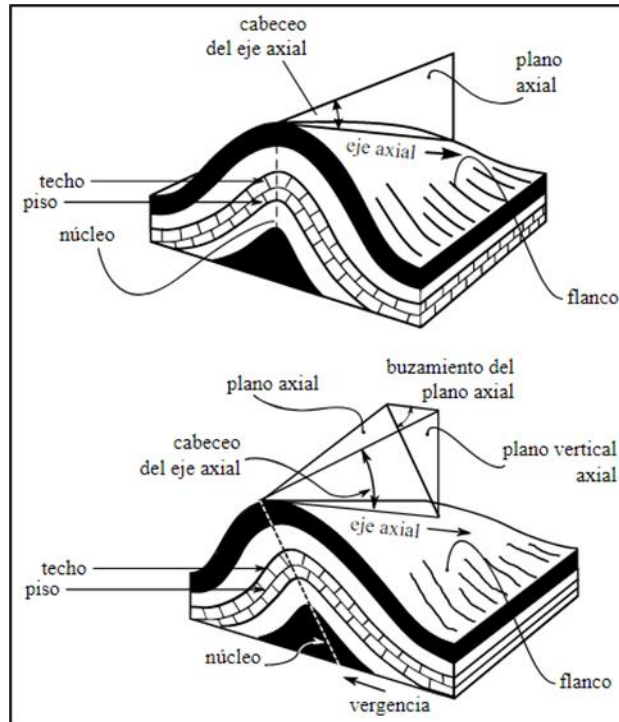
- Los planos de falla ondulados, según sea el movimiento, presentan facetas estriadas y lustradas o no estriadas y con presencia de óxidos. El sentido de movimiento será determinado por la orientación de las facetas estriadas.
- La cristalización al abrigo, se produce dentro de las estrías a partir de ciertos desniveles que generan el crecimiento de minerales como cuarzo, calcita, zeolitas o sulfatos, en la dirección del movimiento.
- Las fallas de Riedel R1, se producen por esfuerzos de cizalla en la proximidad del plano de falla y forman un ángulo de 15° a 20° con el plano de falla principal. Son sintéticas o presentan movimiento en el mismo sentido que la falla mayor.
- Las fallas de Riedel R2, se producen por esfuerzos de cizalla en la proximidad del plano de falla y forman un ángulo de 70° a 80° con el plano de falla principal. Son antitéticas.
- Las lúnulas de tracción, son fracturas abiertas, algunas veces a manera de semicírculos. La superficie de fractura, es irregular y no presenta estrías. Forman un ángulo entre 30° y 40° con el plano de falla principal. La dirección de buzamiento de las fracturas o la parte cóncava de los semi-círculos, indican el sentido de movimiento.
- Las lenticulaciones, son las únicas que se generan en medios dúctiles entre los descritos. Son microestructuras penetrativas con planos curvilineales que determinan la deformación de las rocas en lentes. La orientación de las lenticulaciones, determina el sentido de movimiento de la falla principal.

2.2.2.4 Descripción y clasificación de pliegues. Un pliegue es una geoforma o estructura geológica que se genera por la deformación del macizo rocoso, de no sufrir ruptura, se podría observar la estructura original en afloramiento. Los pliegues son más comunes y notorios en macizos rocosos sedimentarios.

McClay (1991), consideró que los pliegues se pueden clasificar según su forma, en pliegues de antiforma (anticlinales) y los pliegues de sinforma (sinclinales). Los pliegues antiforma o anticlinales, tienen a las rocas más antiguas en el núcleo del mismo y las rocas más jóvenes hacia su parte externa. Los pliegues sinforma o sinclinales, por el contrario, tienen a las rocas más jóvenes en la superficie y a las rocas más antiguas en el núcleo. Los pliegues clasificados por la forma, se pueden sub clasificar según la inclinación del plano axial en los siguientes cuatro grupos: simétrico, inclinado, invertido y tumbado (anticlinal inclinado, sinclinal tumbado).

Figura 18

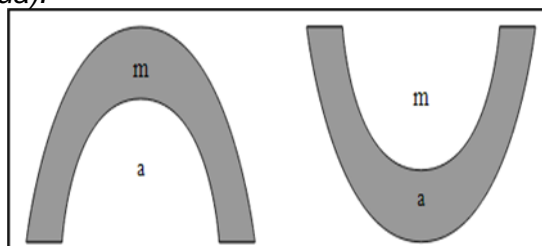
Esquema de los pliegues y sus partes principales, en un pliegue vertical y un pliegue inclinado.



Nota: MacClay (1991)

Figura 19

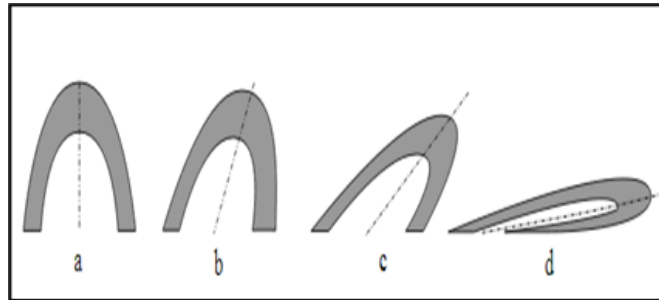
Clasificación según la forma, de izquierda a derecha: antiforma y sinforma (m: capa moderna, a: capa antigua).



Nota: MacClay (1991).

Figura 20

Subclasificación según inclinación, de izquierda a derecha: simétrico, inclinado, agachado e invertido.



Nota: MacClay (1991).

Tomando en cuenta los buzamientos de los dos flancos, se tiene la siguiente clasificación:

Simétrico: Si el buzamiento de los dos flancos es de la misma magnitud, pero de sentido contrario.

Inclinado: Si el buzamiento de los dos flancos es de diferente magnitud, pero el buzamiento es de sentido contrario.

Agachado: Si el buzamiento de los dos flancos es de diferente magnitud, pero apuntan a un mismo sentido.

Invertido: Si el buzamiento de los dos flancos es de la misma magnitud y apunta a un mismo sentido.

En el yacimiento Cobriza, se tiene las siguientes estructuras sedimentarias:

Figura 21

Pliegue inclinado en paquete de calizas cuyo plano axial buza 60°.



Nota: Rubén Tinco O. (2018)

Figura 22

Pliegue tumbado en paquete de calizas cuyo plano axial buza 10°



Nota: Rubén Tinco O. (2018)

Figura 23

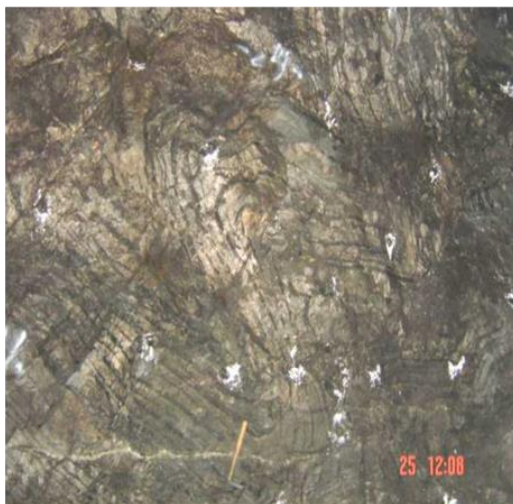
Falla normal en paquete de calizas.



Nota: Rubén Tinco O. (2018)

Figura 24

Pliegues simétricos como control de la mineralización, albergando mayor concentración de Cu.



Nota: Rubén Tinco O (2018)

2.2.2.5 Clasificación del mineral.

Clases de recursos según su certeza.

Recurso mineral:

Es una concentración u ocurrencia de mineral de interés exploratorio y/o económico de un yacimiento, por debajo de la superficie o en su zona externa en forma y cantidad tal, como para demostrar que hay perspectivas razonables para una eventual explotación económica. La ubicación, cantidad, contenido metálico, características geológicas y continuidad de los recursos minerales, se conocen, estiman o interpretan desde evidencias y conocimientos geológicos específicos. Los recursos minerales se subdividen según confianza geológica ascendente, en categorías de Inferidos, Indicados y Medidos.

Recurso mineral inferido:

Es el mineral de un yacimiento, cuyo tonelaje y contenido metálico, tienen con un bajo nivel de confianza. Su continuidad geológica y/o el contenido metálico, se infiere y asume por evidencias geológicas y eventualmente por verificaciones parciales. Se basa en información reunida por medio de técnicas apropiadas de exploración de sus afloramientos, mediante métodos físicos como son zanjas, cateos, calicatas, taladros de perforación, que tienen limitados grados de confiabilidad.

Recurso mineral indicado:

Es el mineral de un yacimiento, cuyo tonelaje y contenido metálico, tienen con un nivel medio a alto de confianza. Este mayor nivel de confianza respecto al recurso inferido, se obtiene mediante mayores trabajos de exploración, principalmente mediante perforación diamantina y/o labores subterráneas, entre otras técnicas de evaluación, aunque todavía con distanciamientos de semidetalle.

Recurso mineral medido:

Es el mineral de un yacimiento, cuyo tonelaje y contenido metálico, tienen con un alto nivel de confianza. Esto, en razón a que se estima, mediante trabajos de exploración también sistemáticos, pero con distanciamientos más cercanos, muestreo y otras

investigaciones de mayor detalle, obtenidos principalmente a partir de los testigos de los sondeos diamantinos, que permiten asegurar la continuidad de la mineralización.

Reserva minerales:

Es el mineral que se obtiene principalmente con el bloqueo del mineral mediante labores subterráneas. Se clasifica en Probado y Probable, ambos con alto grado de confiabilidad, el cual es mayor en el primero.

El Recurso Medido es el equivalente al Reserva Probada y el Mineral Indicado a la Reserva Probable.

En ambos casos, incluye los factores de dilución y tolerancias por pérdidas mineral, obtenidos mediante el proceso de laboratorio y experimentos durante la geoevaluación y luego en los estudios de prefactibilidad/factibilidad, así como factores por riesgos sociales y gubernamentales, entre muchos otros.

- Reserva Probada, mineral demostrado mediante labores mineras, muestreos sistemáticos, y caracterización geológica detallada. Tiene un alto factor de continuidad.
- Reserva Probable, mineral demostrado también mediante su bloqueo con labores subterráneas, aunque algo menos frecuentes que en la reserva probada, pero igualmente estudiado con detalle. Su factor de continuidad sigue siendo alto, pero disminuye un poco respecto al mineral probado.

Clase de mineral según su accesibilidad.

- Mineral Accesible, es el mineral que se encuentra disponible físicamente insitu, listo para su preparación y/o explotación.
- Mineral Eventualmente Accesible, es el mineral que requiere de trabajos adicionales de accesibilidad, para su preparación y/o explotación.

2.2.2.6 Historia Legal Cobriza. Requejo (2020), resume la problemática económica de Doe Run Perú, señalando que Doe Run Perú operaba mina Cobriza (UMC) en Huancavelica, y el Complejo Metalúrgico La Oroya (CMLO) en Junín. El Ministerio de Energía y Minas (MEM), decidió paralizar el 21 de diciembre del 2019 indefinidamente las

operaciones en Minera Cobriza debido a que incumplió con constituir “las garantías correspondientes al año 2020 del Plan de Cierre” de esta unidad productiva, además que tuvo un derrame de relaves, que cobró la vida de un trabajador. Doe Run Perú se apoyaba en ambas operaciones (CMLO y UMC), para pagar los gastos de su proceso de liquidación. Adquirió el 24 de octubre de 1997 el Complejo Metalúrgico La Oroya por un valor de US\$ 247,9 millones, tras realizarse un proceso de subasta pública. Luego en 1998, adquirió la UMC. Con la adquisición del CMLO, Doe Run Perú asumió el compromiso de ejecutar los proyectos contenidos en el Programa de Adecuación y Manejo Ambiental (PAMA) del mismo, en un periodo de 10 años que vencía en enero del 2007, pero el 2004, la empresa solicitó ampliar su PAMA hasta el 2011. Sin embargo, en el 2006 el Ministerio de Economía y Finanzas (MEF) le otorgó hasta el 31 de octubre del 2006 para cumplir con dicho programa. No obstante, la empresa insistió en la ampliación del plazo. En febrero del 2009, el Gobierno Peruano le exigió a la empresa reanudar la instalación de la planta de ácido sulfúrico a fin de cumplir con el PAMA. A mediados de junio del 2009, Doe Run comunicó que el 100% de sus operaciones quedarían temporalmente paralizadas. En agosto del 2009, la empresa optó por someterse a un proceso de reestructuración de sus pasivos ante Indecopi. En setiembre del 2009, el Congreso aprobó la ampliación del PAMA por 30 meses y se dio a conocer que la CMLO podría comenzar a operar en un mes. En medio de la búsqueda de la ampliación del PAMA y la presentación del plan de reestructuración, los acreedores aprueban la liquidación de Doe Run. Se acuerda que en 30 días se nombrará a una firma liquidadora que se encargará de operar la empresa como una unidad y vender el complejo de La Oroya a un nuevo operador. A fines del 2009 los trabajadores de Doe Run aceptan a Right Business, empresa liquidadora, quien cesa a gerentes y reconoce una deuda a los trabajadores por US\$ 35 millones. En el 2014, la junta de acreedores de Doe Run aprobó el plan de venta del CMLO y mina Cobriza, presentado por el banco UBS. De este modo, se acordó vender los dos principales activos de la empresa bajo la modalidad de liquidación en marcha, los acreedores se volverían a reunir para designar al nuevo liquidador. Right Business se retira de Doe Run y deja la administración

a Profit Consultoría. El 2015 Profit Consultoría pone en marcha la propuesta ambiental para despejar las dudas de las empresas interesadas en comprarla. El mismo año, y a dos semanas para que las empresas interesadas en adquirir Doe Run presenten sus sobres con ofertas, el MEN decidió dar marcha atrás y dilatar el proceso en tanto no se concluya el estudio ambiental del CMLO, actualmente en trámite. Posteriormente, la subasta internacional de los activos de Doe Run se reactiva. El MEM aprobó el Instrumento de Gestión Ambiental Correctivo (IGAC) de la refinería La Oroya, documento que certifica la viabilidad ambiental de esta instalación. En agosto de 2018, la subasta de Doe Run no tuvo postores por los rígidos estándares ambientales establecidos. El proceso fue declarado desierto junto con el despido de 2.400 trabajadores y el cierre de Cobriza. El año 2019, el Ministerio Público inició una investigación preliminar contra Doe Run debido al derrame de un relave que afectó al río Mantaro y al centro poblado de Expansión Cobriza. El hecho se produjo el 10 de julio del 2019, en octubre del 2019, la junta de acreedores de Doe Run aprobó la separación de la mina Cobriza en una nueva empresa separada denominada Nueva Cobriza. Los obreros de La Oroya rechazaron la venta de Cobriza y tomaron Doe Run como protesta a la administración concursal. En octubre del 2020 se llevó a cabo la subasta de los activos de la Unidad Minera Cobriza, pero no hubo compradores, declarándose desierto. Actualmente la Compañía OCP (Operadores Mineros) es la nueva acreedora dueña de la mina de inversionistas peruanos, habiendo adquirido la mina en el año 2023.

Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación

3.1 Metodología de la investigación

3.1.1 Diseño de la investigación

La investigación tiene enfoque cuantitativo, analizando datos de manera objetiva, con la finalidad de confirmar resultados y contrastar la hipótesis, vistas desde afuera y orientada al resultado. El alcance de la investigación es descriptivo y correlacional, se va a identificar la relación causa efecto de las características de las vetas basadas en los controles estructurales y la ubicación de zonas de exploración en el depósito, sin ninguna variación intencional de los datos obtenidos. El diseño de la investigación es del tipo no experimental, debido a que se evaluará características y condiciones representativas del depósito skarn y transeccional con data recolectada de los trabajos de campo en un momento dado.

3.1.2 Unidad de análisis

El yacimiento Cobriza se ubica en el flanco oeste de la Cordillera Oriental de los Andes Centrales a 110 km en línea recta al sureste de la ciudad de Huancayo. Se encuentra en el cuadrángulo de Huanta (26-ñ) entre las coordenadas centrales UTM 8609500 N, 566200 E (Zona 18, Banda L) y a una altitud promedio de 2,000 m.s.n.m.; políticamente pertenece al distrito de San Pedro de Coris, provincia de Churcampa y región de Huancavelica.

Es accesible desde Lima por dos vías principales, véase Tabla 1.

3.1.3 Etapas de la investigación

3.1.3.1 Trabajos de campo

3.1.3.1.1 Recolección de datos. Para este trabajo, se utilizará como base topográfica el mapa a escala 1:10 000 del depósito Cobriza, los mapas geológicos existentes y los que se elaboren para esta investigación, así como toda la información geológica referida a las estructuras mineralizadas y su caracterización geológica en superficie y en labores subterráneas.

3.1.3.1.2 Ejecución de mapeos y muestreos, en superficie e interior mina. En el remapeo de las labores antiguas, se realizará la revisión minuciosa de la litología, estructuras y mineralización. En estas labores, las estructuras mineralizadas han sufrido fuerte oxidación y desarrollo de patinas, que recubren la mineralización primaria. Con el apoyo del personal de muestreo, se realizará la limpieza, mediante raspado y lavado de la superficie oxidada de la mineralización a investigar. En superficie, se ejecutará el mapeo geológico del manto mineralizado ubicado hacia el extremo sur de Pumagayoc, reconocido en los niveles 51 Sur y 70 Sur.

3.1.3.1.3 Revisión de muestras de perforación diamantina. Se ejecutará, el relagueo y reinterpretación de los testigos correspondientes a las perforaciones ejecutadas en los años 2011-2013-2014, dirigidos hacia los niveles -130 S y -200 S, comprendiendo tanto los taladros operativos como los taladros de exploración.

3.1.3.2 Trabajos de laboratorio y gabinete. En laboratorio, se tomaron como referencia los estudios de secciones delgadas ejecutadas por la compañía, ya que por la precaria situación económica de la compañía no se podían realizar otros estudios microscópicos de la profundización de la mina. En gabinete, se elaborarán los planos geológicos en planta, de los niveles 28, 10, 0 y -130, así como las secciones transversales geológicas, plasmando las estructuras principales tales como fallas, estructuras mineralizadas y diques.

3.1.3.3 Procesamiento de la información. La información geológica total, producida en campo y laboratorio, anterior y actual, conformada por planos topográficos y geológicos, en planta, secciones transversales, longitudinales, entre éstas, los mapeos de los niveles -130, nivel 0 y nivel 10, así como las secciones transversales desde el extremo sur hasta el extremo norte de Pumagayoc ejecutadas cada 10 metros, así como los análisis geoquímicos e investigaciones de microscopía, serán reprocesadas y procesadas.

3.1.3.3.1 Análisis de la información. El análisis e interpretación de la información de la presente investigación, tendrá como base:

- Los resultados cualitativos y cuantitativos de laboratorio.

- Los controles geológicos del yacimiento, principalmente con énfasis en los controles estructurales, de alteración y mineralización, de las vetas.
- La definición científica de evidencias geológicas, para la exploración y estimación de nuevas reservas, recursos y potencial mineral.
- La interpretación del yacimiento, en base a su caracterización geológica macroscópica y microscópica.

3.1.4 Matriz de consistencia

Seguidamente se presenta la matriz de consistencia:

Tabla 2

Matriz de consistencia

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS
Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	Independiente		
¿De qué manera al definir nuevas zonas de mineralización en Pumagayoc, se garantizará la continuidad de la producción y contribuirá a la mejora económica de la mina?	Explicar el control estructural y profundización de la mineralización cuprífera en el cerro Pumagayoc y del área de Coris del yacimiento Cobriza.	Entender el comportamiento estructural y mineralógico en el área de Pumagayoc y Coris de la Mina Cobriza, permitirá determinar las áreas de mineralización de interés económico.	Control lito estructural, mineralógico y profundización de la mineralización de Cu en Pumagayoc	Leyes	Cartografiado interior mina
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicas	Dependiente		
¿De qué manera al identificar el sistema estructural principal y los controles de mineralización de Pumagayoc establecerá con precisión las áreas de mineralización de interés económico?	Identificar el sistema estructural principal y los controles de mineralización del área de Pumagayoc	Al identificar el sistema estructural de Pumagayoc y los controles de mineralización se logrará establecer con precisión las áreas de mineralización de interés económico.	Establecer con precisión las áreas de mineralización de interés económico	Espesor de veta	Muestreo de labores mineras
¿De qué manera al interpretar las características litológicas, estructurales, alteraciones y mineralización del área de Coris se establecerá con precisión las áreas de mineralización de interés económico?	Interpretar las características litológicas, estructurales, alteraciones y mineralización del área de Coris.	Al interpretar las características litológicas, estructurales, alteraciones y mineralización del área de Coris, se logrará establecer con precisión las áreas de mineralización de interés económico.		Alteraciones	
¿De qué manera al generar un modelo estructural para Pumagayoc se logrará establecer con precisión las áreas de interés económico?	Generar un modelo estructural para el área de Pumagayoc.	Al generar un modelo estructural para el área de Pumagayoc se logrará establecer con precisión las áreas de mineralización de interés económico.		Contenido mineralógico	

Nota: Elaboración propia.

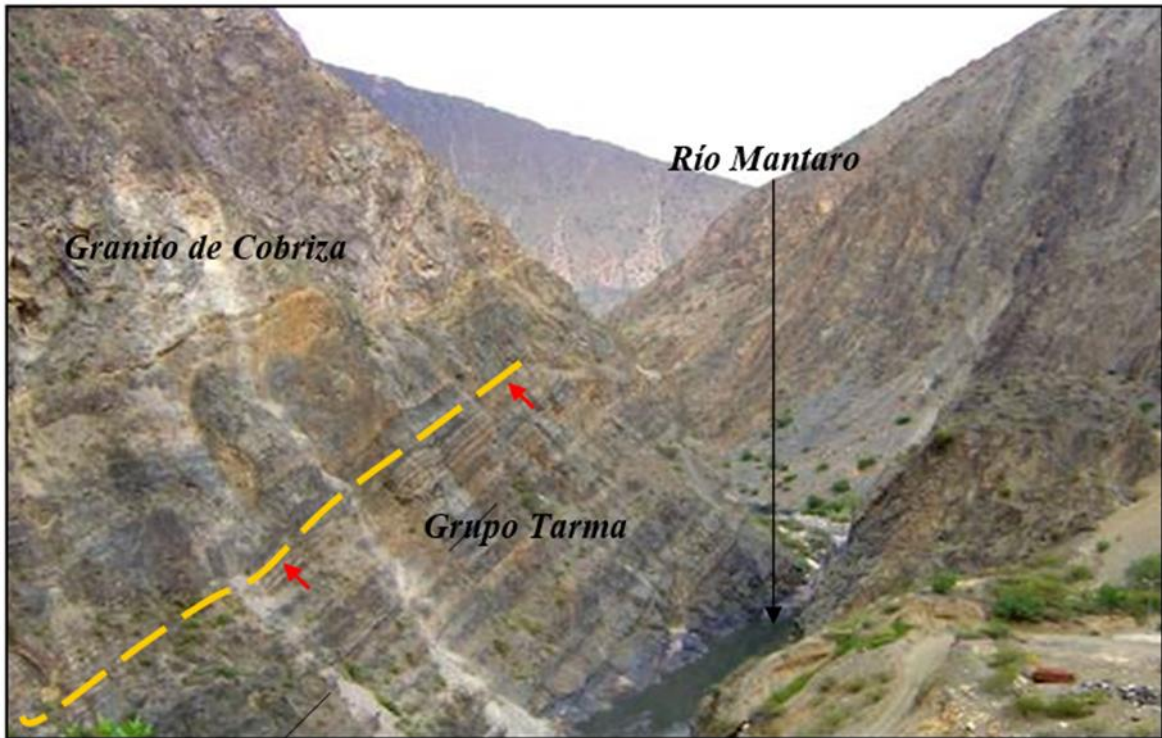
3.2 Geología regional

3.2.1 Litología

3.2.1.1 Estratigrafía. La mina Cobriza está ubicada en la parte superior izquierda del cuadrángulo de Huanta. A escala regional la secuencia sedimentaria – metamórfica de la zona de trabajo, agrupa unidades que van desde el Paleozoico Inferior hasta el Cenozoico, que se caracterizan por formar parte de las tres etapas de la deformación hercínica, marcadas por discordancias regionales, tal como se grafica en la columna estratigráfica (Figura 25).

Figura 25

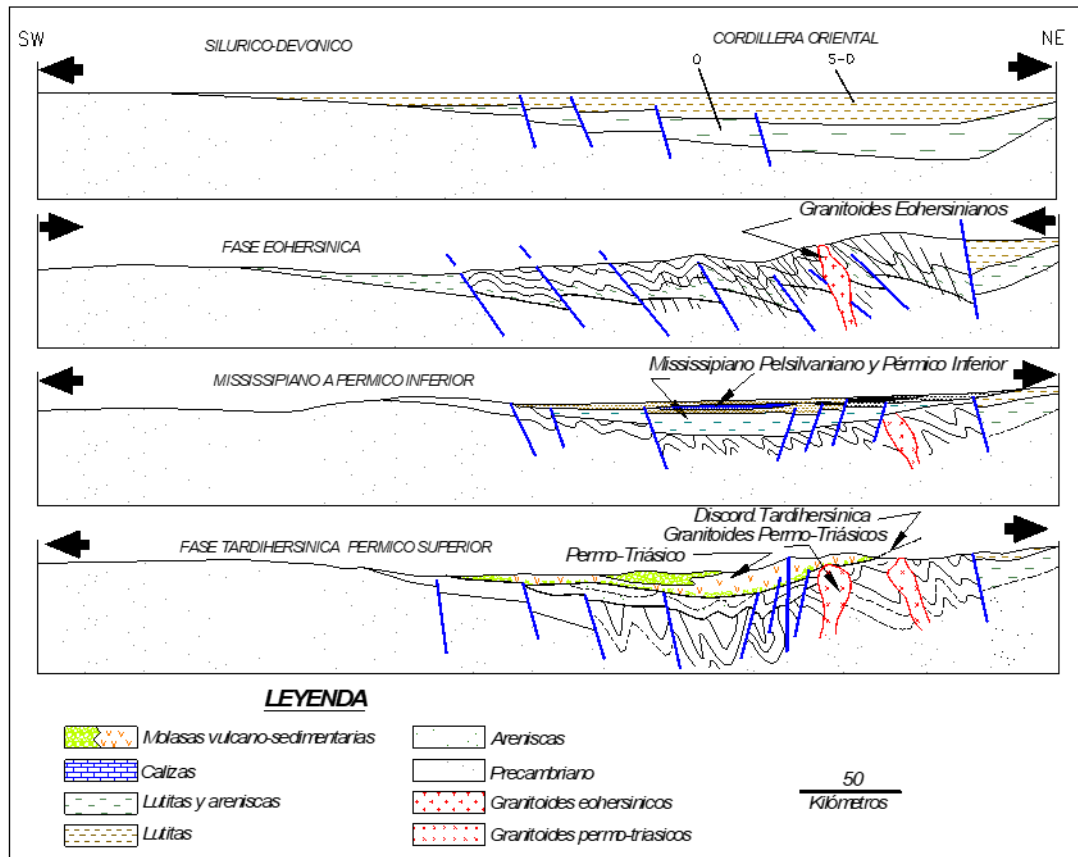
Vista SE, contacto concordante del Batolito de Cobriza con las lutitas pizarrosas del Grupo Tarma.



Nota: Fotografía tomada por Rubén Tinco O (2018).

Figura 26

Evolución del dominio Herciniano en el centro del Perú



Nota: Tomada de Damayra (1988).

3.2.1.1.1 Paleozoico inferior.

Grupo Excélsior (SD-e).

Aflora al W-SW del distrito minero de Cobriza, es una franja con dirección andina NW-SE, conformando el basamento de la Cordillera Oriental. La secuencia se caracteriza por presentar gruesos paquetes de estratos limoarcillíticos gris oscuros intercalados con areniscas cuarzosas blanquecinas, volcánicos de composición andesítica gris verdosa y esporádicos esquistos verdosos. No se tiene identificado la base de la unidad, se estima un espesor de 500 a 800 metros de potencia. El Grupo Excélsior infrayace al Grupo Ambo en discordancia angular.

3.2.1.1.2 Paleozoico superior.

El Paleozoico superior está compuesto por el Grupo Ambo, Grupo Tarma, Grupo Copacabana y Grupo Mitu, que se describe a continuación:

Grupo Ambo (Ci-a).

Aflora al E-NE del Distrito Minero de Cobriza, conformando una franja angosta de ± 1 km de ancho, está compuesta por dos grandes secuencias: una inferior clástica y mayoritariamente sefítica y otra superior volcánica, edad Mississipiano Megard (1979). tal como indica. La secuencia inferior está compuesta por una gruesa sucesión de conglomerados polimícticos principalmente con menores proporciones de areniscas y limoarcillitas carbonosas. De otro lado, la secuencia superior presenta una sucesión de lavas volcánicas dispuestas en capas gruesas de más de 50 cm de composición andesítica a dacítica color violáceo en otros casos varía a un color verdoso según (INGEMMET, 1996), De acuerdo a Megard (1979) es de edad Mississipiana.

Grupo Tarma (Cs-t).

Aflora formando una gruesa franja de 24-27 km de ancho con dirección andina NW-SE, forma parte del anticlinorio de Coris y Pantihuayco, siendo los sectores de afloramientos principales San Pedro de Coris y el distrito minero de Cobriza según Megard (1,979). La secuencia del Grupo Tarma es más pelítica que los afloramientos del Perú central, está compuesta de una gruesa secuencia de lutitas pizarrosas gris oscuras intercaladas con calizas gris claras (Horizonte Cobriza) y esporádicos horizontes de areniscas. Se le atribuye al Grupo Tarma una edad Namuriano terminal a Westfaliano según Newell, et al, (1953); Megard, (1979).

Grupo Copacabana (Pi-c).

Como tercera secuencia, aflora al W y NW de la mina Cobriza, siguiendo una dirección andina NW-SE. De acuerdo a (INGEMMET, 1996) la unidad está compuesta por una secuencia de calizas gris azuladas, fosilíferas, con intercalaciones de limoarcillitas gris oscuras a gris verdosas. Haciendo un análisis de sus relaciones bioestratigráficas, el Grupo Copacabana es del Pérmico inferior (INGEMMET, 1996).

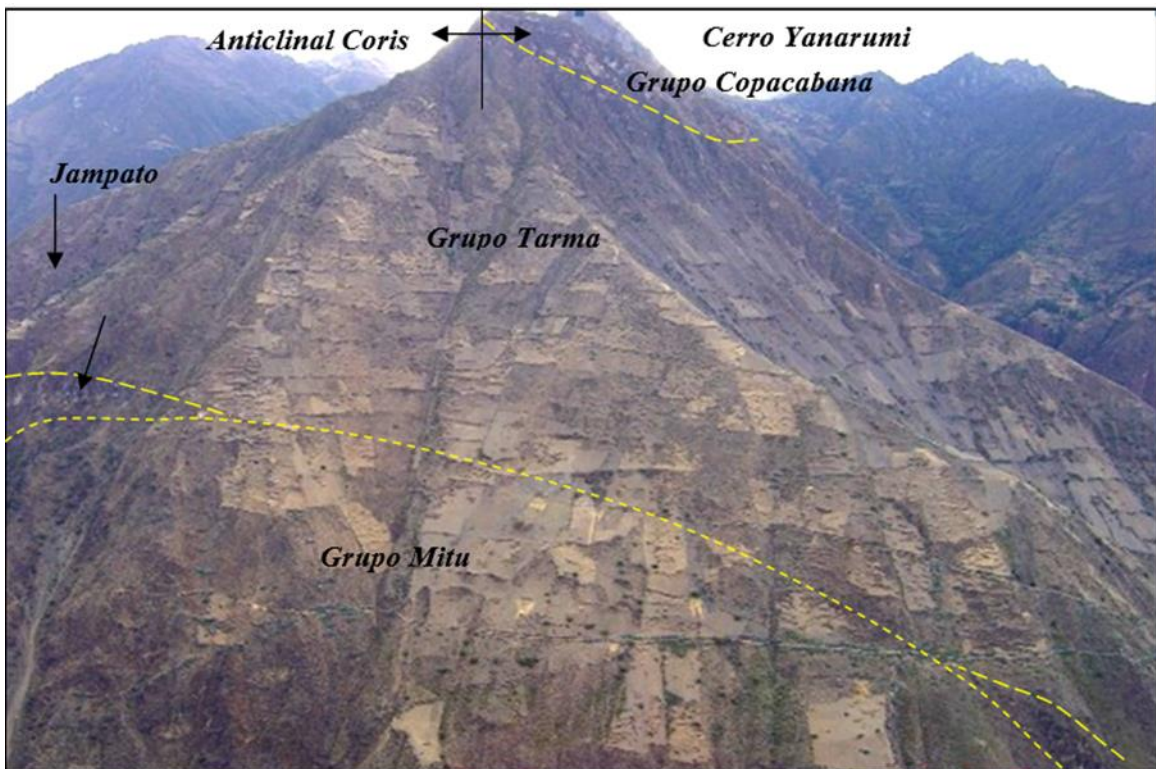
Grupo Mitu (Ps-m).

Como cuarta secuencia, aflora principalmente al W del yacimiento Cobriza conformando afloramientos aislados, en el lado S-SW destacan los afloramientos de

Pachaspucro (valle del río Mantaro), Paucarbambilla y Chonta. El Grupo Mitu, consiste de areniscas rojas y conglomerados que contienen rodados de material volcánico. Este grupo tiene la característica de aflorar de forma original en su posición estratigráfica, el yacimiento Cobriza y el Grupo Copacabana se encuentran sobreyaciendo en discordancia angular; en cambio los pequeños afloramientos ubicados en las cercanías de Cobriza no corresponden a la misma posición estratigráfica y son aparentemente concordantes con las pizarras del Grupo Tarma. Teniendo en cuenta las relaciones estratigráficas, el Grupo Mitu estaría comprendido entre el Permiano superior y el Triásico inferior según (INGEMMET, 1996).

Figura 27

Vista mirando al NW mostrando los afloramientos del Horizonte Cobriza



Nota: Vista mirando al NW mostrando los afloramientos del Horizonte Cobriza, pertenecientes al Grupo Tarma(Cs-t) y en la parte más superior las Calizas del Grupo Copacabana, pertenecientes al Grupo Copacabana (Pi-c) formando parte del Anticlinal de Coris; infrayacendo las intercalaciones de lutitas y areniscas del Grupo Mitu (Ps-m). Fuente, fotografía tomada por Rubén Tinco O (2019)

3.2.1.1.3 Mesozoico.

Grupo Pucará (TRJi-pu).

Según INGEMMET (1996), el Pucará aflora en la parte occidental un poco alejada del área de Cobriza formando una angosta franja de dirección NNW-SSE, conformado

principalmente por calizas que está intercalada con menor proporción de margas, y aún menores de dolomías, anhidritas, areniscas, limoarcillitas y cineritas verdosas.

3.2.1.1.4 Cenozoico.

Formación Huanta (Nm).

Según Megard y Paredes (1972), ésta Fm. es una secuencia volcano-sedimentaria que se expone al oeste de la mina Cobriza, que se extiende en dirección NNO-SSE, y representa el mayor relleno de esta parte de la cuenca. La unidad se divide en tres miembros denominados Mayocc, Tingrayoc y Tancas. En este trabajo, serán estudiados las dos primeras.

Miembro Mayocc (Nm-ma).

Aflora a lo largo del poblado del mismo nombre, ubicado en la margen izquierda del valle del río Mantaro. La secuencia está conformada por limoarcillitas, intercaladas con menores cantidades de areniscas, limolitas, calizas y conglomerados en parte compuestos de piroclásticos (tobas) según Megard (1984). El Miembro Mayocc tiene edad Mioceno Medio alto a Superior bajo (INGEMMET, 1996).

Miembro Tingrayoc (Nm-ti).

Esta secuencia aflora ampliamente en el sector de Tingrayoc ubicada al oeste y suroeste de la mina Cobriza, sus afloramientos llegan por el lado norte hasta cerca de Chonta, por el lado sur al cuadrángulo de Ayacucho (Paytan, 1980). Megard, Noble, y Bellon, (1,984), le asignan edad Mioceno superior.

3.2.1.1.5 Depósitos cuaternarios (Holoceno). Son los sedimentos inconsolidados, constituidos por depósitos coluviales, aluviales, morrénicos y fluvio-glaciares.

Depósitos coluviales (Qh-co).

Localizados principalmente en las partes bajas de las laderas de alta pendiente, compuestos por brechas no consolidadas cuyos materiales son bloques líticos, angulosos, heterométricos rellenas por una matriz arenosa.

Depósitos aluviales (Qh-al).

Están conformados por gravas, arenas, limo, arcillas, dispuestas en proporciones diversas, cubriendo principalmente los lechos de los ríos y quebradas.

Depósitos glaciofluviales (Qh-gf).

Afloran en terrenos de gran altitud, formados en antiguos cauces de antiguas zonas de glaciación, se componen de arenas, gravas, limos y arcillas.

Depósitos morrénicos (Qh-mo).

Se encuentran confinados en las zonas altas formando morrenas laterales, frontales y de fondo. Su composición y granulometría es heterogénea, conformada principalmente por bloques rocosos, fragmentos y sedimentos gruesos a medios, con predominio de silicatos compuestos y arcillosos.

3.2.1.2 Rocas plutónicas. Regionalmente existen intrusivos del tipo plutónico e hipoabisal, estos últimos se presentan como diques y sills.

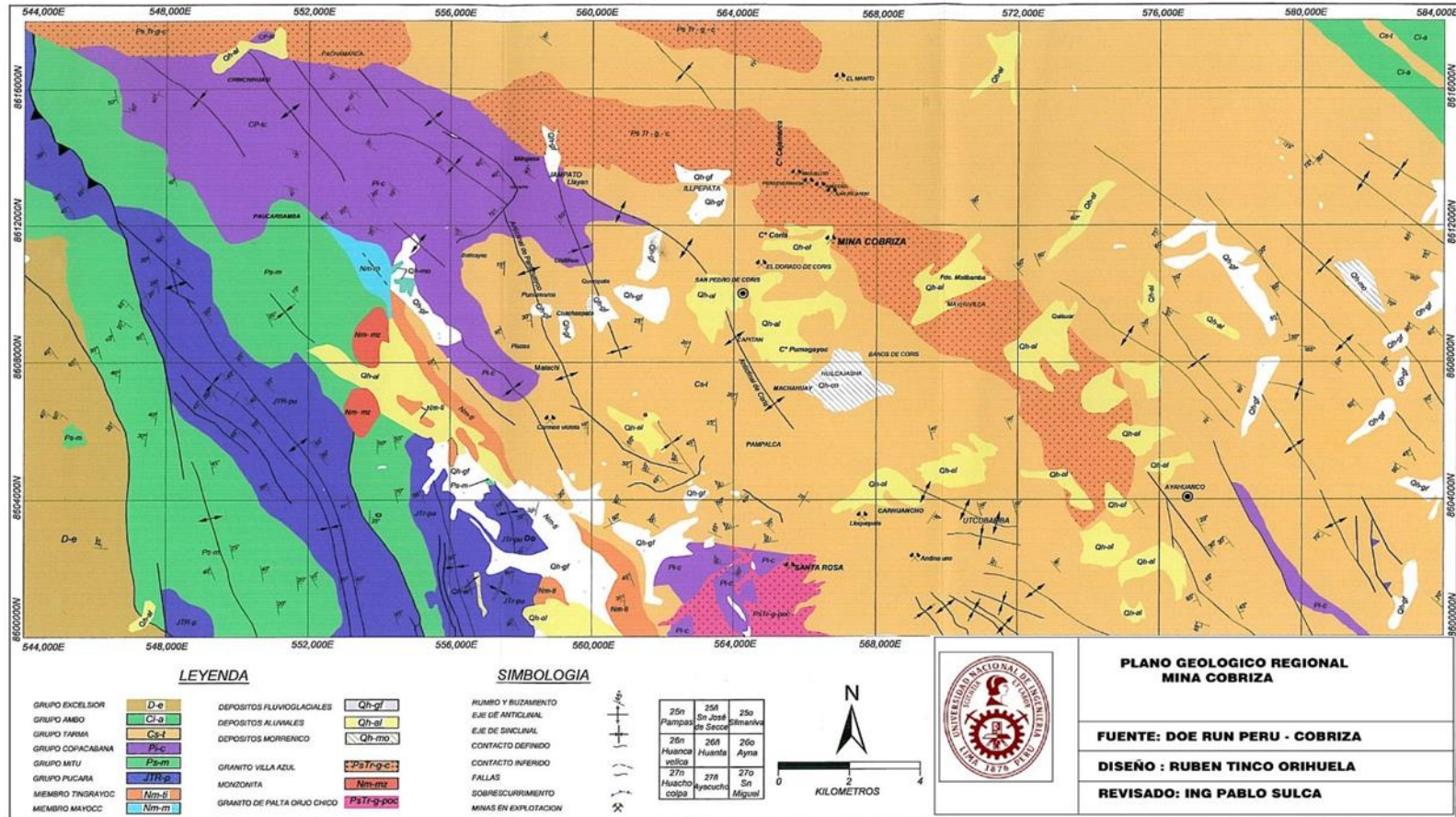
3.2.1.2.1 Granito de cobriza (PsTr-g-c). El Granito de Cobriza aflora al este del distrito minero de Cobriza, siguiendo una marcada dirección NW – SE, cuya forma aparenta la de un sill de 23 km de largo y 2-2.8 km de ancho, constituyendo el plutón más grande del área, que intruye localmente a las lutitas pizarrosas del Grupo Tarma. Megard (1973) describe al Granito de Villa Azul como una estructura estratiforme de 8 km de ancho y 50 km de largo, pertenecientes a un enjambre de stocks graníticos NW – SE (granito de San Ramón 238 ± 10 Ma Rb/Sr, granito de Macchu Picchu – Quillabamba 257 ± 3 y 246 ± 10 Ma U/Pb). Es de composición granítica, de color blanquecino a tonalidad rosáceo, holocristalino, hipidiomórfico. Entre los principales minerales se tiene a los feldespatos potásicos, cuarzo, plagioclasas y biotita. Los feldespatos están parcialmente alterados a sericita y arcillas, presentando algunos cristales con intercrecimientos perfiticos y mirmequíticos. Entre sus características geoquímicas, destaca el alto contenido de SiO₂ (72.4 %) y de K₂O (5.04 %) (INGEMMET, 1996).

3.2.1.2.2 Granito de Palta Orjo Chico (PsTr-g-poc). INGEMMET (1996), ubica y describe esta roca plutónica, en el cerro del mismo nombre, al sur de la mina Cobriza. Es

sienogranito, de color rosáceo, holocristalino, compuesto por más del 50% de feldespato potásico, cuarzo, plagioclasas y en menor proporción biotitas. Los diferentes pisos geológicos de la estratigrafía descrita, se grafican en la columna estratigráfica regional de la (Figura 27).

Figura 28

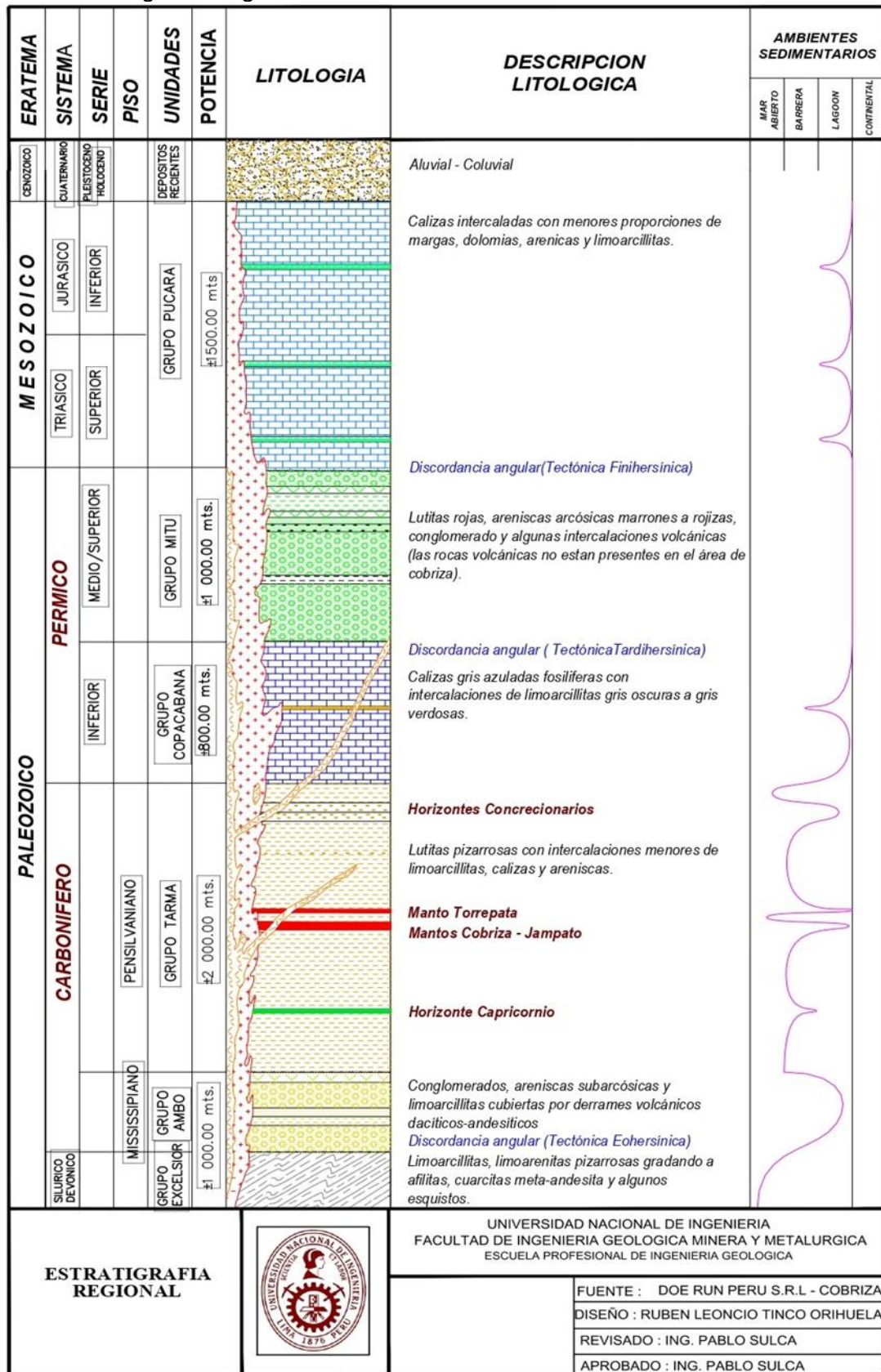
Plano geológico regional Unidad Minera Cobriza.



Nota: INGEMMET (1996)

Figura 29

Columna estratigráfica regional.



Nota: Informe Técnico Doe Run Perú Cobriza (1990).

3.2.1.3 Geocronología y evolución tectónica. La secuencia sedimentaria-metamórfica regional, aflorante, agrupa unidades que van desde el Paleozoico Inferior hasta el Cenozoico, con una potencia aproximada de 7,000 metros, constituida principalmente por lutitas, lutitas calcáreas, lutitas pizarrosas, areniscas, calizas, conglomerados. El marco geológico de la zona se registra y empieza a definirse a partir del Silúrico – Devónico, durante este periodo la región constituía parte de una gran cuenca marina relativamente poco profundo y reductora donde se depositaron grandes volúmenes de material pelítico pertenecientes al Grupo Excelsior, los que pasan en forma gradual al Devónico temprano. Durante el Siluriano, el macizo de Arequipa (Cordillera de la Costa), permaneció emergida, proveyendo aportes detríticos gruesos importantes; mientras que el Escudo Brasileño debió constituir una región baja sin relieves, aportando solamente sedimentos finos. Hacia fines de Devoniano y comienzos del Carbonífero los mares empiezan a retirarse por el levantamiento paulatino de la cuenca produciéndose una deformación compresiva conocida como fase Eohercínica, finalizando así el ciclo sedimentario del Paleozoico Inferior; esta fase se caracteriza por ser una tectónica de compresión que da lugar a plegamientos, replegamientos y aun metamorfismo regional cuyo nivel estructural origina un frente de esquistosidad así como plutonismo sintectónico; del mismo modo esta fase llevó a una emersión total de las cuencas y a un profundo cambio en la paleogeografía. Se formaron cordilleras que a comienzos del Carbonífero (Missisipiano) fueron sometidas a erosión, recortando a las series del Paleozoico Inferior. En un régimen de distensión, se produjeron durante este periodo, fallamientos normales con subsidencia de cubetas discontinuas, los que fueron rellenadas con clásticos de ambientes fluviales y deltaicos correspondientes al Grupo Ambo. La distensión y subsidencia al final del periodo generan un vulcanismo efusivo y explosivo sobre el área, extendiéndose esta última actividad hasta comienzos del Pensilvaniano. Durante el Carbonífero Superior (Pensilvaniano), una transgresión marina se produce paulatinamente sobre el área, convirtiéndola otra vez bajo condiciones marinas moderadamente profundas, predominando una sedimentación pelítica que corresponde al Grupo Tarma; entre Tarma

– Abancay esta secuencia alcanzaría espesores considerables, al parecer actuaba como una cuenca subsidente. Este periodo estaría ligado a la primera fase de mineralización. Durante el mismo periodo quedan emergidas áreas positivas entre Paracas y Chiclayo y otra en el sur al oeste del Altiplano esta última se extendía hasta el extremo norte de Chile, dejando entre ella el macizo de Arequipa un brazo de mar que liga al Pacífico con la región de Abancay. Las secuencias deltaicas en el norte de Bolivia indicarían que el mar no se extendería más allá de ese sector. Hacia el noreste, la cuenca se extendía a territorio brasileño donde los carbonatos y evaporitas indican un clima cálido, así como un confinamiento de la cuenca Amazónica y probablemente emersión. Durante el Pérmico Inferior la cuenca marina se extendía hasta el Ecuador a través de la región subandina, por el este llegaba a territorio brasileño y por el sur a Bolivia. La sedimentación predominantemente carbonatada correspondiente al Grupo Copacabana, continúa concordante sobre los depósitos Pensilvanianos en un ambiente de tranquilidad tectónica, pues los depósitos corresponden a una plataforma estable.

A fines del Pérmico Inferior, la deformación Tardihercínica se manifiesta con una intensidad y naturaleza que difiere al centro del sur. En los Andes Centrales la discordancia Tardihercínica se evidencia en el cambio litológico radical que se da al pasar del Pérmico Inferior al Pérmico Superior, pues de una facie marina se pasa a una facie continental.

Durante el pérmico Superior, movimientos tectónicos distensivos pertenecientes a la fase Tardihercínica se producen en la región, generando un fallamiento profundo de dirección NNO-SSE, producto de la cual se sucede una emersión del área, que es acompañada por una intensa erosión de las áreas levantadas y el relleno de las áreas negativas con una secuencia molásica rojiza que corresponderían al Grupo Mito; así como también por un importante vulcanismo efusivo y explosivo de composición ácido a intermedio. En la región la estructura Tardihercínica se resume en un conjunto de bloques que determinan una morfología de fosas y pilares tectónicos. Durante este periodo también se produce un intenso magmatismo ácido a intermedio que se manifiesta como vulcanismo, cuyos focos muy posiblemente estén ubicados al este de la cordillera oriental

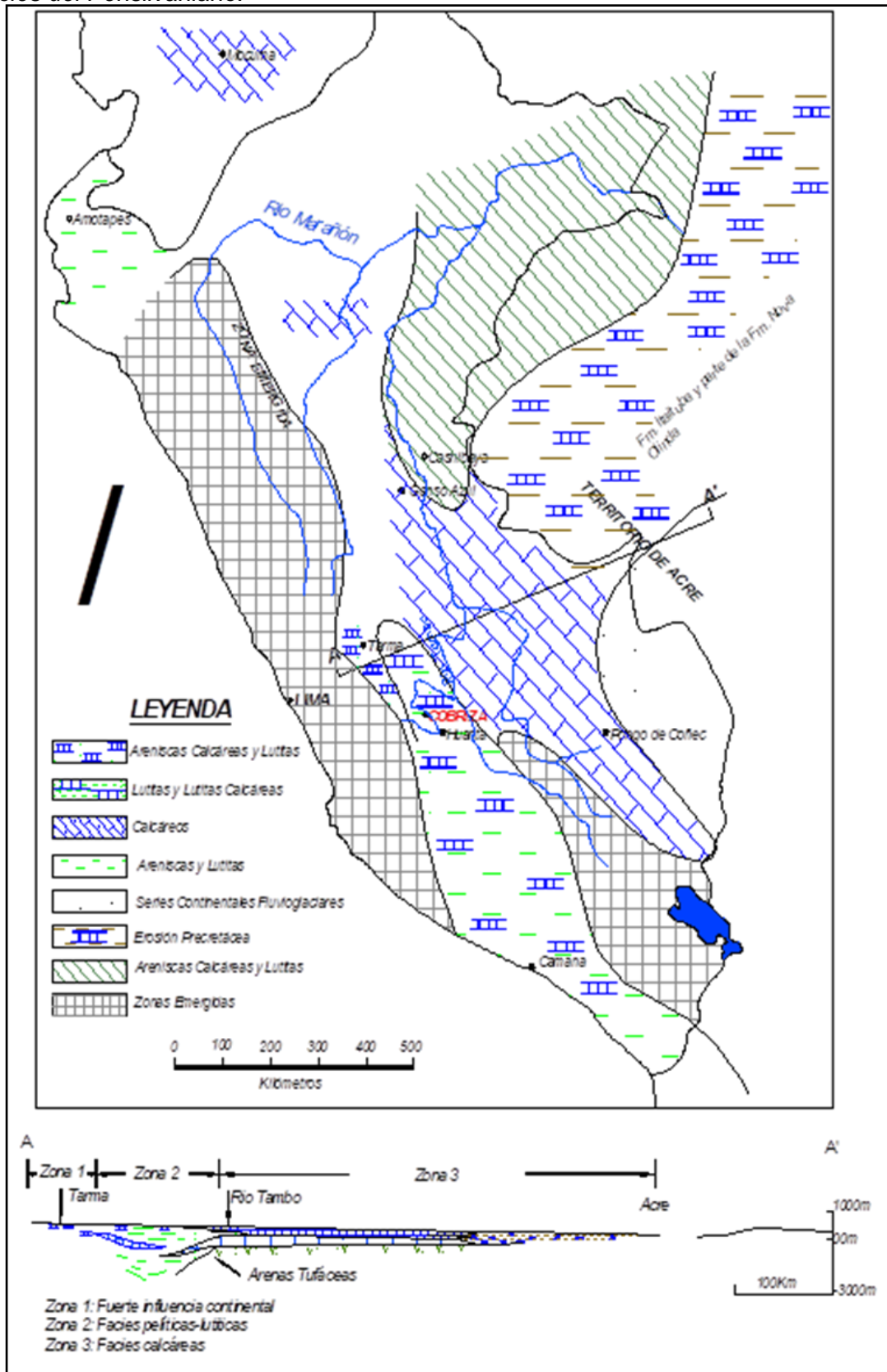
y están ligados a un intenso fracturamiento que caracteriza a la corteza en este periodo. Durante esta etapa se daría lugar a la formación de la segunda fase de la mineralización en el manto Cobriza.

A fines del Pérmico y comienzos del Triásico, relacionados al intenso fracturamiento existente, se tiene un plutonismo ácido, lo que dio lugar al emplazamiento de granitos y adamelitas, este hecho estaría muy relacionado al emplazamiento del batolito de Villa Azul. Durante este periodo suceden nuevos movimientos distensivos que corresponderían a la fase Finihercínica, produciendo rupturas en la cadena paleozoica, tal parece ser que se produjo una reactivación de la fase Tardihercínica con fallamientos en bloques y desplazamientos importantes asociados a una tectónica distensiva, definiéndose estructuras del tipo fosas y pilares tectónicos a lo largo de un fallamiento longitudinal NNO-SSE. Los bloques son cortados por un fallamiento transversal de rumbo NEE-SOO, cuyo origen profundo en ciertos casos hace pensar en un fallamiento de zócalo por donde es posible la migración de los magmas; como consecuencia de ello, hay una paulatina subsidencia del sector occidental, que condiciona la formación de facies continentales clásticas evaporíticas mixtas y facies carbonatadas marinas las cuales pertenecerían al Grupo Pucará, desarrollándose sobre estas condiciones de plataforma somera formas de vida (braquiópodos, pelecípodos, corales, etc.). Toda la secuencia se encuentra fuertemente plegada formando un anticlinorium de rumbo andino NO-SE Coris-Pantihuayco en el que destaca localmente el anticlinal de Coris.

En el Pleistoceno, como consecuencia del levantamiento de los Andes se produce intensos periodos de actividad fluvial, surcando profundamente los terrenos y depositando material clástico sobre grandes extensiones de área.

Figura 30

Facies del Pensilvaniano.



Nota: Adaptado de Francois Mégard "Estudio geológico de los Andes del Perú central" (1979)

3.3 Geología local

3.3.1 Geomorfología

Aunque no se ha hecho un estudio detallado sobre la geomorfología de la zona, se han reconocido dos unidades geomorfológicas:

Superficie Puna.

Esta unidad se presenta como un conjunto de colinas de cimas truncadas por erosión. La superficie queda entre los 4,000 y 4,300 m.s.n.m. y ha sido llamada “Superficie Puna” por Bowman (1916) y Mc. Laughlin (1924). Topográficamente es una superficie casi llana a suavemente ondulada. En la zona los restos de esta meseta son reconocibles en Villamayo – Yanarumi. Esta superficie está labrada en rocas del Pensilvaniano.

Valles del sistema de drenaje del Mantaro.

El valle del río Mantaro está incluido en este sistema al igual que sus numerosos y pequeños tributarios. El río Mantaro nace en el lago Junín a unos 4,900 m.s.n.m., y en sus primeros trescientos kilómetros de recorrido lo hacen en dirección SE hasta el pueblo de Mayoc, lugar donde cambia de dirección hacia el NW recorriendo con esta dirección aproximadamente unos 90 kilómetros, al término de los cuales cambia nuevamente de dirección, desarrollando así una gran curva para continuar con dirección SE hasta su desembocadura en el río Apurímac. El desnivel del río Mantaro excede los 3,600 metros; en la mayor parte de su recorrido el río queda encajonado en un valle profundo del tipo V de fondo muy estrecho, sólo en contados lugares hay desarrollo de pequeñas playas y terrazas. En la zona, los numerosos valles subsidiarios originan una topografía muy quebrada y de fuerte relieve. La porción descrita de las laderas ha sido modificada en ciertos lugares por la disección de los tributarios que han formado hondonadas donde se localizan las áreas de cultivo.

3.3.2 Litología

3.3.2.1 Estratigrafía. El yacimiento Cobriza posee una litología que está constituida por diversas rocas sedimentarias, metamórficas e intrusivas, tales como lutitas pizarrosas con horizontes arenolutáceos calcáreos y paquetes de calizas, pertenecientes

a los Grupos Tarma y Copacabana. La secuencia sedimentaria en su totalidad se encuentra fuertemente plegada formando el anticlinal de Coris con rumbo noroeste-sureste. Se manifiesta la presencia de un gran cuerpo granítico de dimensiones batolíticas de edad Permo-Triásico; adicional a ello, se manifiesta intrusiones menores, éstas se presentan como diques, sills y stocks de composición intermedia a básica que cortan toda la secuencia sedimentaria, que probablemente son de edad Terciaria, tal como se describe en la Figura 30

3.3.2.1.1 Grupo Tarma (Cs-t). Según Kobe (1963), una transgresión marina se produjo en el área, con una sedimentación predominantemente pelítica que ocupa gran parte del área de Cobriza, constituida por lutitas de color marrón a negras, intercaladas con lutitas calcáreas, margas, horizontes de calizas y areniscas en menor presencia, manifestándose en lentes con mineralización de calcopirita y arsenopirita. Con una potencia de 2,000 metros, estos sedimentos alrededor del yacimiento han sido sometidos a un metamorfismo regional producto del intenso plegamiento e intrusiones graníticas, generando lutitas pizarrosas.

En los alrededores de la mina Cobriza los sedimentos del Grupo Tarma tienen un rumbo promedio de N40°-70°W y un buzamiento de 30° a 50° NE. Posteriormente, los sedimentos del Grupo Tarma, debido al intenso plegamiento e intrusiones graníticas, fueron sometidos a metamorfismo regional.

Por su composición litológica y su posición estratigráfica dentro de la secuencia del Paleozoico Superior, esta potente secuencia se le correlaciona con el Grupo Tarma del Pensilvaniano. Seguidamente se describe con detalle al Grupo Tarma, desde la secuencia inferior hasta la secuencia superior, tal como se detalla minuciosamente en la (Figura 30).

Horizonte Capricornio.

Los mejores afloramientos definidos se encuentran en ambos flancos del valle Lucmayo y en las inmediaciones de Parco, de igual forma se han localizado mediante sondajes diamantinos desde el interior mina (Nivel 2,510, sección 2,450). Estratigráficamente el horizonte Capricornio se ubica aproximadamente 500 a 600 metros

debajo del manto mineralizado Cobriza. Litológicamente el Horizonte Capricornio está constituido por cuarcitas levemente recristalizadas, presentándose en color gris claro a blanquecino, de grano medio con dolomitas y sericitas – muscovitas, que se encuentran rellenando espacios intergranulares y fracturas.

Mineralógicamente tiene pirita y calcopirita diseminadas rellenando fracturas y en venillas. Hacia los bordes de las cajas del horizonte se muestran fracturas con relleno de esfalerita y esporádica presencia de galena argentífera.

Calizas Cobriza.

Las Calizas Cobriza afloran localmente en cuatro zonas bien definidas; Cobriza, Huaribamba, Vilma y Santa Rosa – Carhuacho. De acuerdo a Valdez (1982), litológicamente consiste de intercalaciones de capas masivas impuras de 1 a 30 cm de espesor y capas laminadas argiláceas con espesores de 1 a 3 cm, fuertemente afectadas por plegamientos internos, existe variación horizontal tanto de las potencias como de la composición de las capas. Se hizo un estudio de la composición química de las Calizas Cobriza, tal como se detalla en la tabla 3.

Las Calizas Cobriza vienen a ser el metalotecto del yacimiento del mismo nombre, que es definido como un reemplazamiento metasomático, encontrándose en todo el ancho del horizonte calcáreo en forma de manto, donde las características estratigráficas del horizonte original se mantienen en el manto mineralizado. Ambos se emplazan en la estructura principal del anticlinal de Coris de rumbo noroeste - sureste. En el flanco noreste 40° se hospeda el manto Cobriza compuesto de calizas recristalizadas a marmolizadas, silicatos, calcosilicatos, magnetita, pirrotita, calcopirita, arsenopirita, bismutinita y marmatita; y en el flanco suroeste 30° se emplaza el horizonte mineralizado de Jampato de composición similar al manto Cobriza. El afloramiento calcáreo mineralizado a nivel local, tiene una longitud de 4,500 metros medidos en el sentido del rumbo N45°W y 1,000 metros de profundidad, que se encuentra medido en el mismo sentido del buzamiento NE, con una potencia de 25 a 30 metros aproximadamente, en oportunidades debido a la

presencia de fallas dextrales se presentan duplicidad del manto, que en la mayoría de casos aumenta la abundancia de calcopirita.

Figura 31

Horizontes de calizas de 10 a 20 cm de espesor, afloran al techo del horizonte Cobriza al NW de la mina Cobriza (Huaribamba)



Nota: Fotografía tomada por Rubén Tinco Orihuela (2019)

Figura 32

Horizontes de Calizas de 0.5 a 1cm de espesor afloran al piso del Horizonte Cobriza al NW de la mina Cobriza (Huaribamba).



Nota: Fotografía tomada por Rubén Tinco Orihuela (2019)

Tabla 3*Composición química (%) del horizonte calcáreo Cobriza y del skarn de hornblenda*

COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL HORIZONTE COBRIZA Y SKARN DE HORNBLENDA				
Componente	Caliza Impura (Capa Masiva)	Caliza Magnesiana (Capa laminada)	Skarn Hornblenda	Relación
SiO ₂	10.3	26.4	31.8	Fuerte adición
TiO ₂	1.7	7.8	0.16	Disminución
Al ₂ O ₃	3.4	14.3	5.3	Débil adición
Fe ₂ O ₃	N.D	N.D	18.7	Fuerte adición
FeO	0.97	2.2	19.2	Fuerte adición
MgO	1.3	2.8	0.5	Disminución
CaO	45.4	26	8.6	Fuerte disminución
Na ₂ O	0.3	1.1	2.4	Débil adición
K ₂ O	0	1.1	0	N.D.
H ₂ O	1	0.2	N.D.	N.D.
P ₂ O ₅	0.1	0.49	0.08	Ningún cambio
CO ₂	33	17	0.81	Fuerte disminución
SO ₂	Trz.	Trz.	9.15	Fuerte adición
MnO ₂	0	2.3	0.4	N.D.
Cl	0	0.03	0.07	Débil adición
F	0	0	0.18	Débil adición
Cu	0	0	2.19	Fuerte adición
Bi	0	0	0.01	Débil adición
As	0	0	0.05	Débil adición
TOTAL	97.47	100.9	99.6	

Nota: (Trz=Trazas; ND=No Determinado)

Fuente: Valdez (1982).

Horizonte Torrepatá.

El Horizonte Torrepatá se encuentra en el flanco noreste del anticlinal de Coris, se observa pequeños afloramientos en superficie, el 100% de la dimensión ha sido definido con sondajes diamantinos desde los niveles 28, 37, 42 y 51. Estratigráficamente el Horizonte Torrepatá se ubica entre los 100 y 110 metros por encima y paralelo al techo del manto Cobriza; litológicamente está compuesto de una intercalación de capas entre centimétricas y milimétricas de color gris-blanquecino variando a gris-crema constituidas de dolomitas, también conocidas como ankeritas, de textura microgranular, con

mineralización de sericita paralela a los estratos. El Horizonte Torrepatá tiene entre 3 a 13 metros de potencia, es irregular y a la vez discontinuo, presentando interdigitaciones externas e internas en forma lenticular de hornfels de color gris-claros a gris-verdosos, se intercala con mineralización de calcopirita-arsenopirita en los planos de estratificación y venillas cortando a los mismos.

Mineralógicamente el manto Torrepatá está compuesto de calcopirita, arsenopirita, pirita y esporádica presencia de galena y esfalerita con baritina-calcita, éstas dos últimas hacia los bordes del manto asociado a brechas. Localmente tiene una longitud aproximada de 500 metros en la dirección del rumbo NW-SE y 300 metros de profundidad medido en el sentido del buzamiento NE.

Horizontes Concrecionarios.

Según Burt (1969), en la secuencia estratigráfica de la zona de Cobriza se han reconocido hasta dos horizontes concrecionarios de extensión local y regional. Un horizonte que se ubica a 150 metros al techo del manto Cobriza, donde las concreciones están distribuidas irregularmente en lutitas pizarrosas bituminosas de color negro de unos cien metros de potencia. Respecto a las concreciones, estas tienen formas elípticas y a la vez achatadas hacia el sentido de la estratificación; respecto a la mineralización, ha sido reconocida en forma microscópica y se encuentra constituida de óxidos de hierro, por lo general y en mayor proporción en la parte central.

Un segundo horizonte de lutita pizarrosa bituminosa de 150 metros de potencia, de extensión regional, ubicado a 400 metros aproximadamente al techo del manto Cobriza, conteniendo abundantes concreciones con sulfuros hacia el piso y de caliza con fósiles hacia el techo; el tamaño de estas concreciones varía de 0.1 a 1 metro de forma elíptica y redondeada. En la base de este horizonte, las concreciones en su parte central contienen sulfuros de cobre y hierro. Dentro de estas concreciones se pueden apreciar venillas y disseminaciones de sulfuros como pirrotita, calcopirita, arsenopirita, pirita que aparentemente son de origen sedimentario.

Mineralización Matibamba.

Conformado por dos horizontes estratoligados locales, con mineralización de pirita, calcopirita, arsenopirita y pirrotita, hospedados en la base de las calizas del Grupo Copacabana.

3.3.2.1.2 Grupo Copacabana (Pi-c). Según Mégard (1979), los afloramientos mejor definidos de las calizas del Grupo Copacabana ocurren en los extremos noroeste - sureste del yacimiento Cobriza. Estratigráficamente se ubica sobreyaciendo y en concordancia con el Grupo Tarma, este horizonte está constituido por una secuencia de paquetes gruesos de calizas intercaladas con lutitas calcáreas, toda esta secuencia es conocida localmente como calizas Superiores; el conjunto tiene una potencia aproximada de 800 metros reconocidos en la parte sureste de la mina Cobriza. Esta secuencia conforma el tope de la serie calcáreo-pelítica del Pensilvaniano a Pérmico Inferior, las mismas que han sido correlacionadas con el Grupo Copacabana del Pérmico Inferior.

3.3.2.1.3 Grupo Mitu (Ps-m). El Grupo Mitu consiste de areniscas rojas y conglomerados que contienen rodados de material volcánico. Afloramientos en su verdadera posición estratigráfica se muestran al noroeste de Cobriza, sobreyaciendo en discordancia angular con el Grupo Copacabana; en cambio los pequeños afloramientos ubicados en las cercanías de Cobriza no corresponden a la misma posición estratigráfica y son aparentemente concordantes con las pizarras del Grupo Tarma. La presencia anómala de estos afloramientos se podría explicar por factores estructurales (fallamientos), o por variaciones en la cuenca de sedimentación del Grupo Tarma por tanto no corresponderían al verdadero Grupo Mitu según Megard (1979).

3.3.2.1.4 Cuaternario. El Cuaternario está representado por depósitos coluviales, formados por la acumulación de materiales de ladera, que han sido originados por procesos de intemperismo como la erosión y acción de la gravedad, favorecidos por la gran pendiente y abrupta geomorfología de la zona.

3.3.2.1 Rocas Plutónicas. En el yacimiento Cobriza ocurren dos tipos de intrusivos, los ácidos en forma de Batolito granítico y los intrusivos intermedios a básicos en forma de diques, sills y stocks, que se describen a continuación:

3.2.2.1.1 Intrusiones ácidas.

Granito de Cobriza (PsTr-g-c).

El Granito de Cobriza viene a ser el cuerpo intrusivo más extenso del distrito, corresponde a la elongación sureste del Batolito de Villa Azul; es de color blanquecino a rosado, de composición granítica, constituido por cuarzo, plagioclasas, microclima, muscovita y biotita. Al este de la mina cerca del río Mantaro, el contacto intrusivo-lutita pizarrosa del Grupo Tarma parece ser concordante y con posible sobrecorrimento, pero a nivel regional se presenta intruyendo a las secuencias Tarma, Copacabana y Pucará. Localmente, en una potencia de 2 a 3 metros las lutitas pizarrosas en contacto mutuo con el granito aparecen débilmente metamorfizados con presencia de débil silicificación y seritización, acompañadas de brechas y alteración propilítica; el granito ha originado sólo una leve recristalización en las rocas encajonantes, cuyo rumbo y buzamiento promedio son N45°W y 75°NE.

En la Tabla 4 se presenta el análisis geoquímico de una facie biotítica del granito del lado oeste del río Mantaro y al sur de Cobriza que muestra un alto contenido de SiO₂ (73.8%) y de K₂O (8.05%).

Tabla 4*Análisis geoquímico del batolito de Cobriza y mineral rico en hornblenda.*

COMPOSICIÓN	COMPOSICIÓN QUÍMICA BATOLITO COBRIZA	COMPOSICIÓN HORNBLENDA
SiO ₂	73.8	31.8
TiO	0.22	0.16
Al ₂ O ₃	14.7	5.3
Fe ₂ O ₃	0.16	18.7
FeO	1.9	19.2
Mn	0.02	0.31
MgO	0.09	0.5
CaO	0.8	8.6
Na	2.31	0.89
K ₂ O	8.05	N.D.
P	0.04	0.08
CO ₂	N.D.	0.81
F	0.09	0.18
Cl	0.06	0.07
Cu	0.01	2.19
Bi	0.01	0.01
As	0.06	0.05
S	0.13	9.15
TOTAL	100	88.85

Nota: Valdez (1982). (N.D.= No determinado).

La edad radiométrica promedio del Batolito de Cobriza ha sido determinada por K-Ar y es de 251 Ma, asignándole una edad Pérmico Superior-Triásico Inferior.

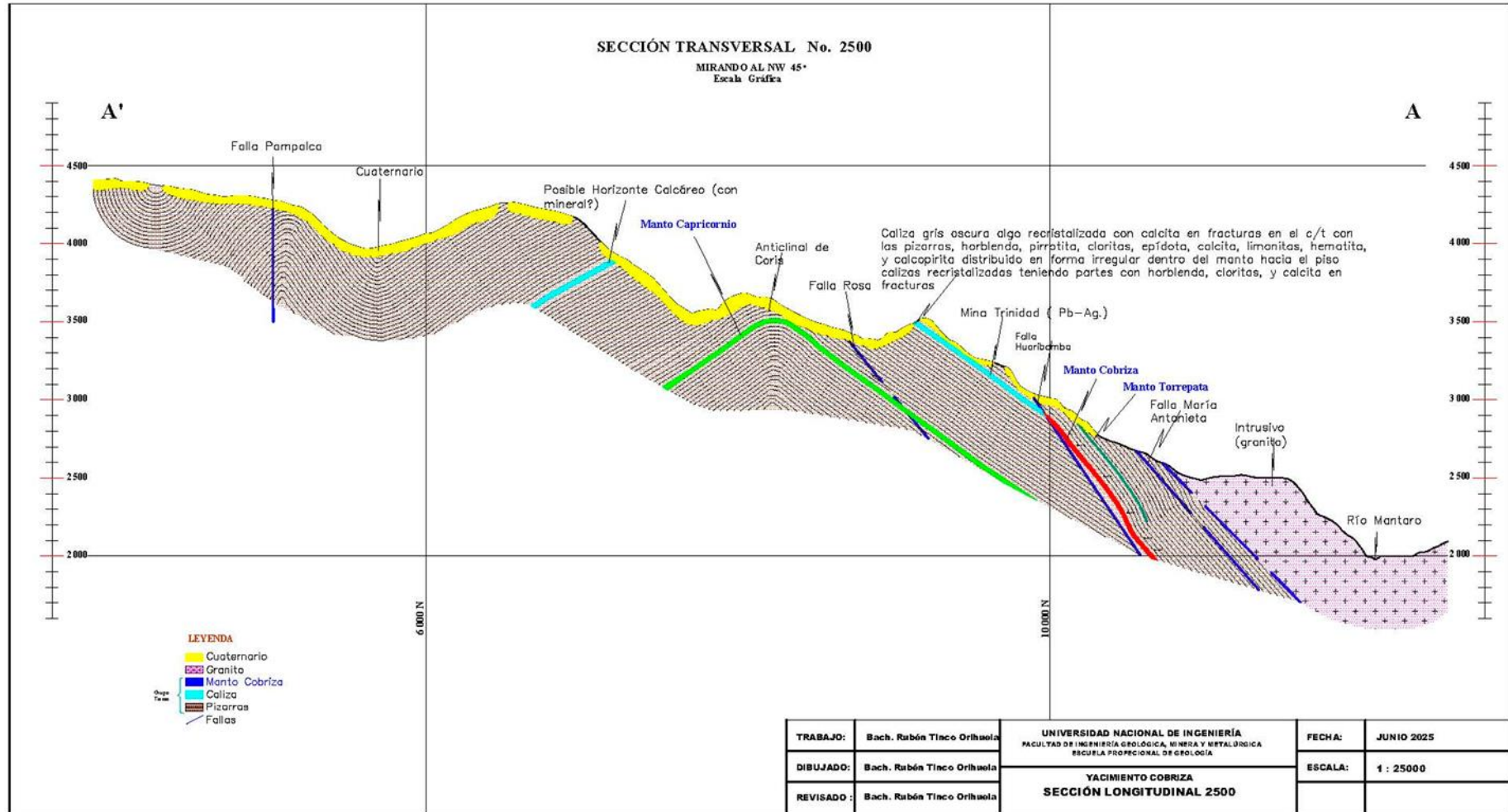
3.3.2.1.2 Intrusiones intermedias a básicas. En Cobriza hay diques de potencias variadas, se encuentran a lo largo de la dirección de fracturamiento NE - SW y E - W. La edad aún no ha sido determinada, algunos se observan cortando al manto Cobriza, atravesando sedimentos del Grupo Tarma, Copacabana y al mismo intrusivo granítico, por lo tanto, son más jóvenes respecto al Batolito Cobriza, se sabe que algunos de los diques han transportado fluidos mineralizantes y otros han sido alterados hidrotermalmente desde su contacto hacia su interior, es así que los diques parecen ser de dos periodos de emplazamiento pre y post - mineralización. Los diques premineralizantes son de composición basáltica, siendo controlados por fracturamiento de cizalla, que es el más

antiguo de la zona. Los diques postmineralizantes son hipoabisales, de composición variable (andesitas, dioritas a cuarzo-monzonitas) y están controlados por fracturamiento de cizalla más recientes del sistema pre-skarn. Estos últimos diques parecen estar relacionados a la formación y mineralización del skarn.

Los diques se caracterizan por ser de composición diorita-cuarcífera, con textura hipidiomórfica granular, parcialmente seriada, constituida por ensamble de cristales de plagioclasa (53 %), cuarzo (15%), biotita (7%), ortosa (3%), esfena y rutilo; a la plagioclasa se la observa alterada, la sericita se encuentra variando de débil a moderada, mientras que la biotita presenta alteración hacia cloritas, donde las intensidades van desde débil a moderada, en algunos casos van a muy intenso; además presentan débil feldespatización que se ha traslapado.

Figura 33

Sección transversal del flanco este del anticlinal de Coris.



Nota: Rubén Tinco O (2018)

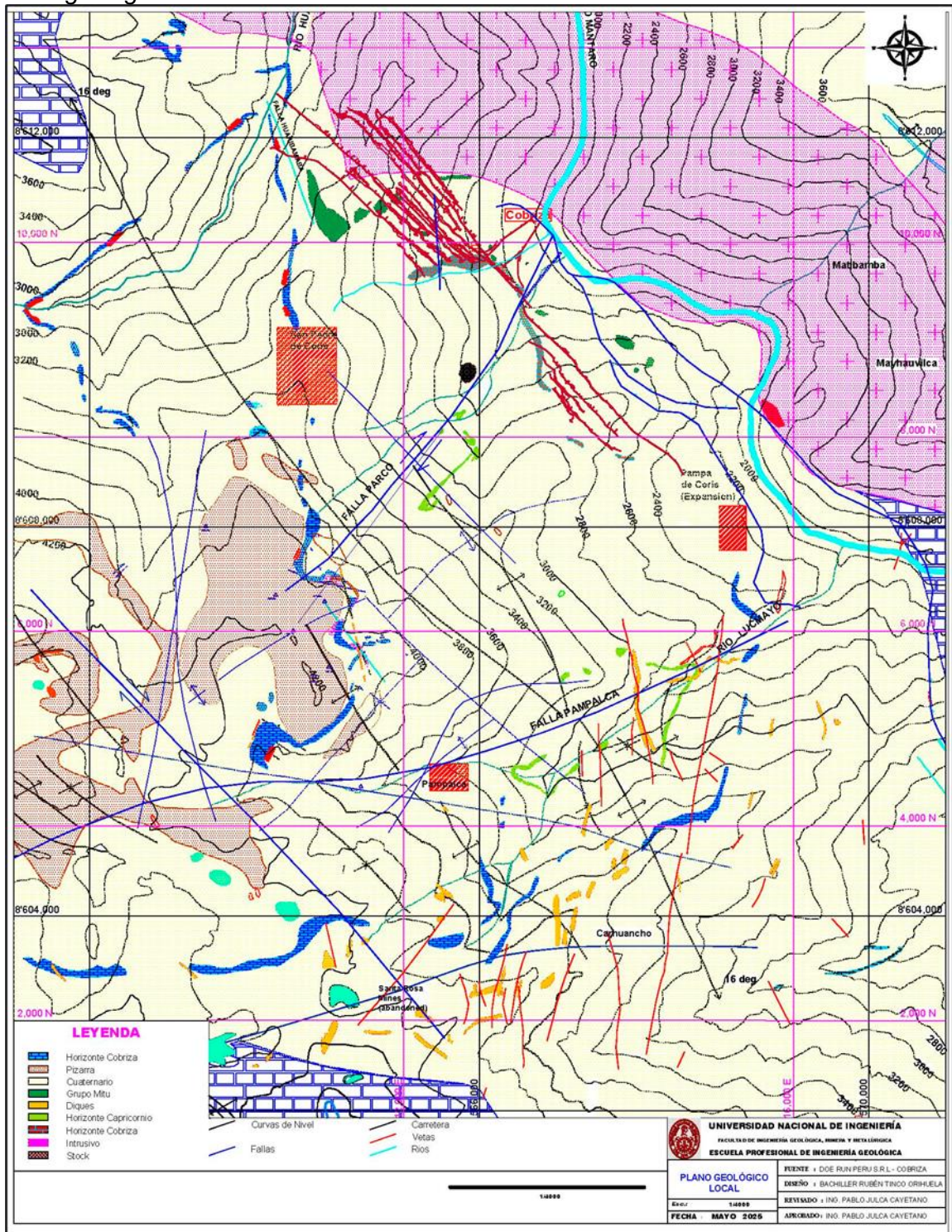
3.3.2.1.3 Otras intrusiones. En el área denominado Carhuancho, afloran pequeños stocks y diques de composición básica a intermedia, que tienen rumbo NO-SE. Debido a la composición de los stocks y el probable rumbo de los afloramientos, puede tratarse de un gran cuerpo intrusivo no aflorante de edad terciaria, que se podría correlacionar con parte de la mineralización del área de la mina Santa Rosa. Al sureste de Cobriza se informó sobre mineralización de plomo - plata asociada con diques de monzonita cuarcífera en la mina Paulita en el distrito de Ayahuanco.

3.3.3 Geología estructural

De acuerdo a Rivera, Huamán, Antúnez de Mayolo y Kobe (1989), la Mina Cobriza tectónicamente se ubica al Oeste de los sistemas de fallas Chonta - fallas Ayacucho - Cerro de Pasco, sector de los Andes Centrales, este sector abarca desde la deflexión de Huancabamba ubicada al Norte, hasta deflexión de Abancay ubicada al Sur y corresponde a la zona de subducción (flat slab) actualmente de Perú. Cobriza alberga estructuras regionales y locales tal como se observa en la (Figura 32). Las regionales son el anticlinorio de Paucarbamba-Santa Rosa-Huanta, cortado por fallas longitudinales inversas y de cizalla. Localmente la estructura principal está definida por el anticlinal de Coris de rumbo andino N45°W y buzamiento de 15° en sus extremos norte y sur, cuyos flancos son 40°NE y 30°SW como promedio, albergando en el extremo norte a los mantos mineralizados de Cobriza y Torrepatá y en el extremo sur al horizonte Jampato, tal como se describe en la columna estratigráfica local (Figura 32).

Figura 34

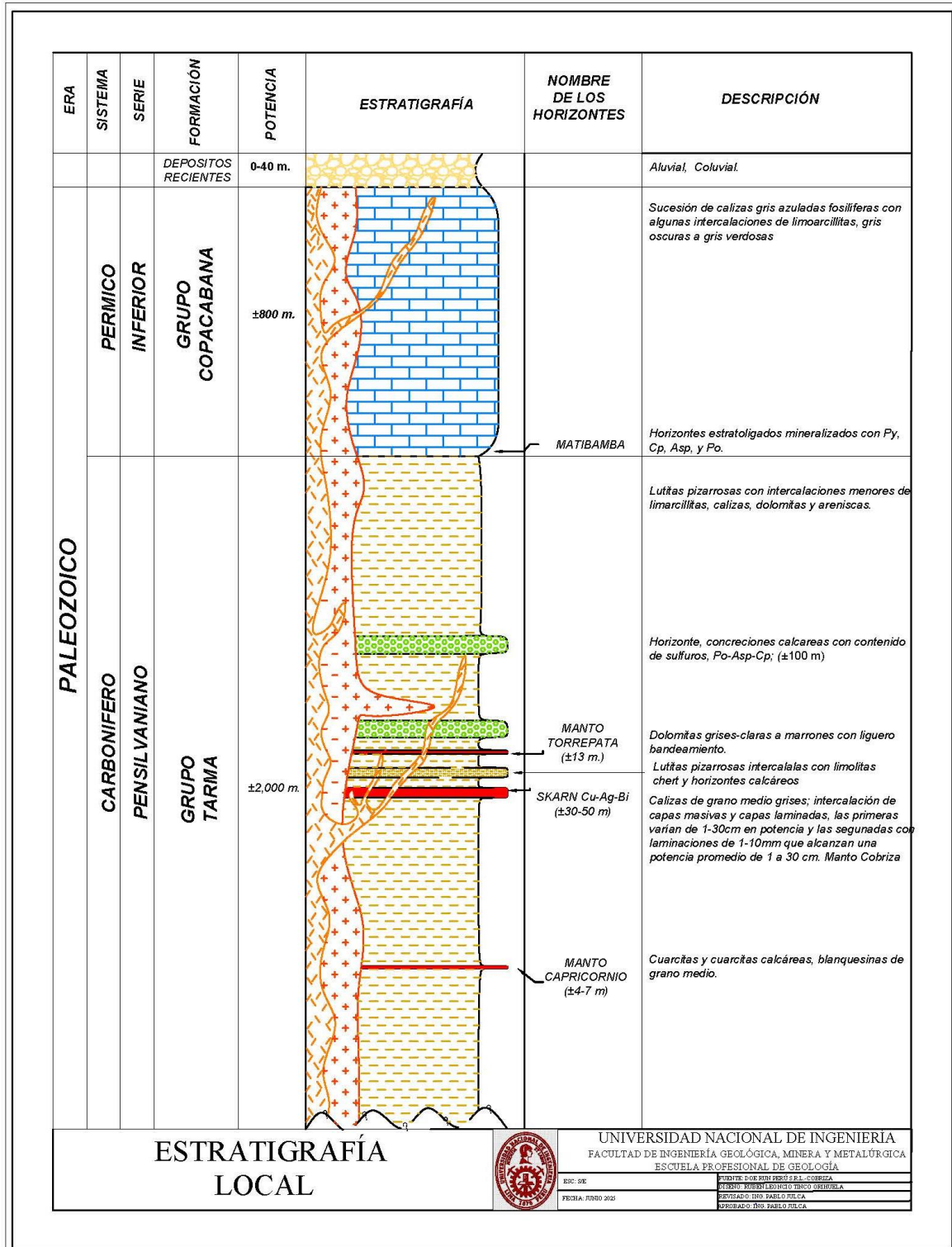
Plano geológico local



Nota: Doe Run (2021).

Figura 35

Columna estratigráfica local.



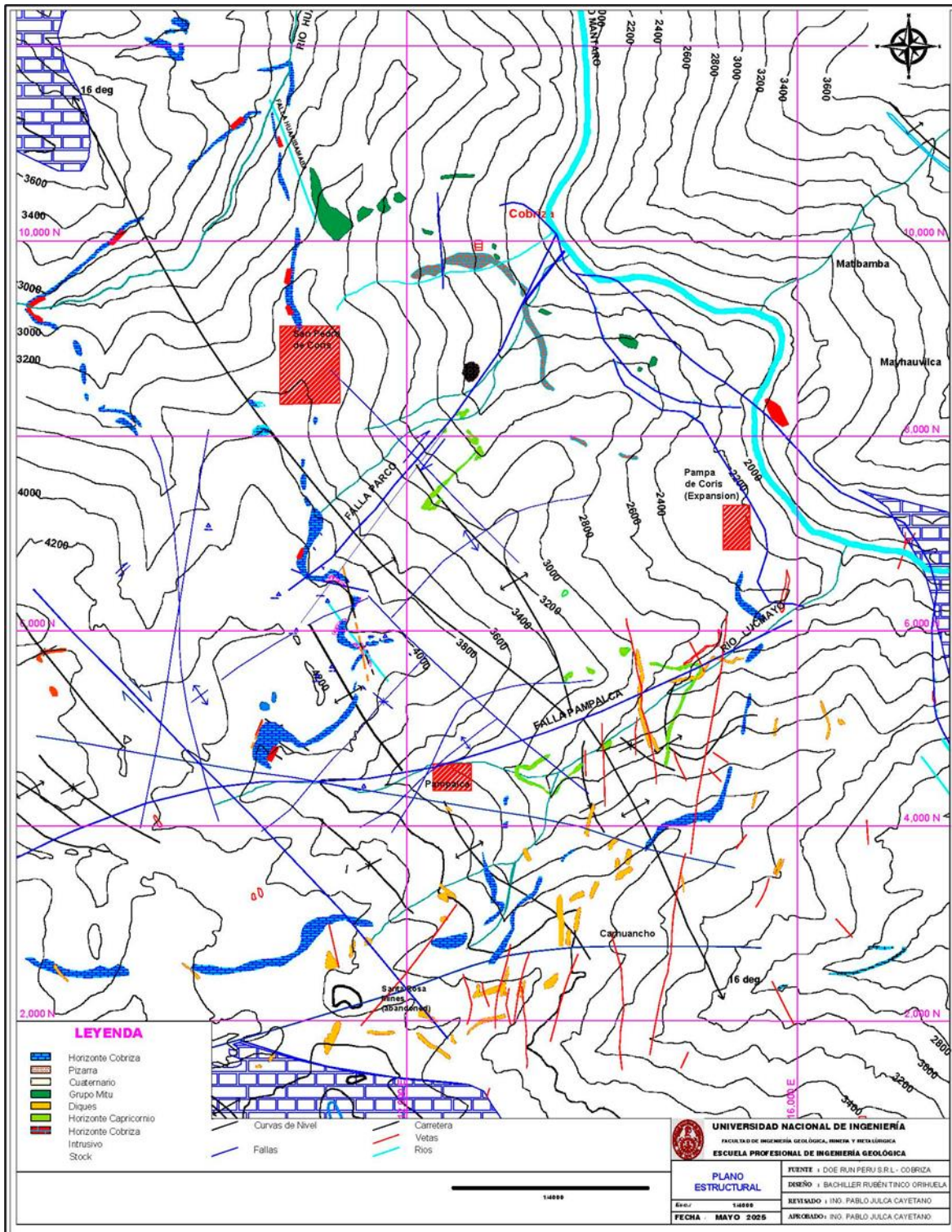
Nota: Doe Run (2012).

El fallamiento local en Cobriza consiste de fallas longitudinales inversas y normales de alto y bajo ángulo con desplazamientos menores de 50 metros, de rumbo

promedio N45°W; fallas de cizalla de rumbo general E-W y fallas de tensión de rumbo general N45°E. Es probable que el sistema de fallas longitudinales en parte fue originado durante la tectónica de ruptura, fase Tardihercínica-Finihercínica y posteriormente por la tectónica Andina en sus diferentes fases (Peruana, Incaica y Quechua), que fueron reactivadas y formando a la vez fallas en las cuales aprovecharon el emplazamiento del batolito granítico y diques de composición intermedia a básica; las fallas de cizalla y tensión igualmente han servido para el emplazamiento de diques de composición intermedia a básica. Los sistemas de fallas mencionados que se encuentran interactuando en el yacimiento Cobriza están rellenos por mineralización de calcita, baritina, siderita, arsenopirita, calcopirita, sílice, rejalgar y oropimente controlado casi siempre en la intersección con el manto. La mineralización que contienen las estructuras en gran parte se debe a la removilización, migración y recristalización de sulfuros pre-existentes en el manto y que, por la reconcentración observada en la actualidad, se interpreta como canales mineralizadores. Igual resultado se observa en los diques que siendo evidentemente posteriores han afectado sus contornos de emplazamiento reconcentrando los sulfuros en unos casos y formando halos de empobrecimiento en otros.

Figura 36

Plano estructural local.



Nota: Doe Run (1995).

3.3.3.1 Estructuras primarias.

Contactos.

El contacto entre el Horizonte Cobriza y las pizarras pertenecientes al Grupo Tarma, es uno de los mayores controles del reemplazamiento y mineralización, hacia la caja techo y hacia la caja piso del yacimiento Cobriza, que al haber actuado como una barrera impermeable a los fluidos mineralizantes al momento de producirse el ascenso de los mismos, llevó a la formación de los mantos mineralizados. El contacto Horizonte Cobriza y pizarras tiene una orientación definida $N40^{\circ} - 45^{\circ}W$ y con buzamientos promedios de 30-50 al NE, datos tomados en galerías principales, tal como se describe en la (Figura 51).

Estratificación.

El Horizonte Cobriza está compuesto de un interbandeamiento de capas masivas impuras de calizas y capas laminadas argiláceas. Los primeros bandeamientos varían de 1 a 30 cm. de potencia, los segundos bandeamientos varían de 1 a 3 cm., los planos de estratificación actúan como controles de mineralización durante la migración. Las características estratigráficas del horizonte calcáreo original permanecen en el manto mineralizado, probablemente por ser un ambiente de mineralización lenta y selectiva, este sistema tiene una orientación bien definida $N 40^{\circ} - 50^{\circ} W$ y con buzamientos promedios de $30^{\circ} - 50^{\circ} NE$.

3.3.3.2 Estructuras secundarias.

Sistema principal de fallas.

Diferentes esfuerzos ocurridos en diferentes épocas dieron como resultado el desarrollo de diversos sistemas de fallamiento. En el área de Cobriza se observan cuatro sistemas de fallamiento, dos longitudinales siguiendo la dirección noroeste-sureste y los otros dos transversales siendo las direcciones este – oeste y noreste – suroeste.

Las principales fallas del sistema longitudinal son:

- Falla Toya $N50^{\circ}W, 32^{\circ}NE$
- Falla Dorotea $N50^{\circ}W, 20^{\circ}NE$

- Falla Noemí N43°W, 30°NE
- Falla Bertha N45°W, 70°NE
- Falla Carmen N55°W, 70°NE
- Falla Huaribamba N70°W, 68°NE

Las primeras tres fallas buzcan 20° - 30° al NE y tienen un desplazamiento normal de 5 a 10 metros. El efecto de este tipo de fallas fue el haber modificado el buzamiento del manto entre los niveles 2,100 m y 2,280 m, se interpreta que la falla Cobriza es la que habría ocasionado el cambio; respecto al rol que ha jugado en la mineralización es notorio por haberseles ubicado fundamentalmente en zonas de granates, pero las que se ubican en zonas de sulfuros de cobre ocasionaron ascensión de soluciones hidrotermales. El segundo grupo de fallas compuesto por las fallas Bertha, Carmen y Huaribamba buzcan alrededor de 60° - 70° NE y tienen un desplazamiento inverso de 30 a 50 metros, duplicando el manto y generando mejor mineralización de Cu en calcopirita y Ag en galena argentífera, siendo estas fallas controles de mineralización del yacimiento Cobriza.

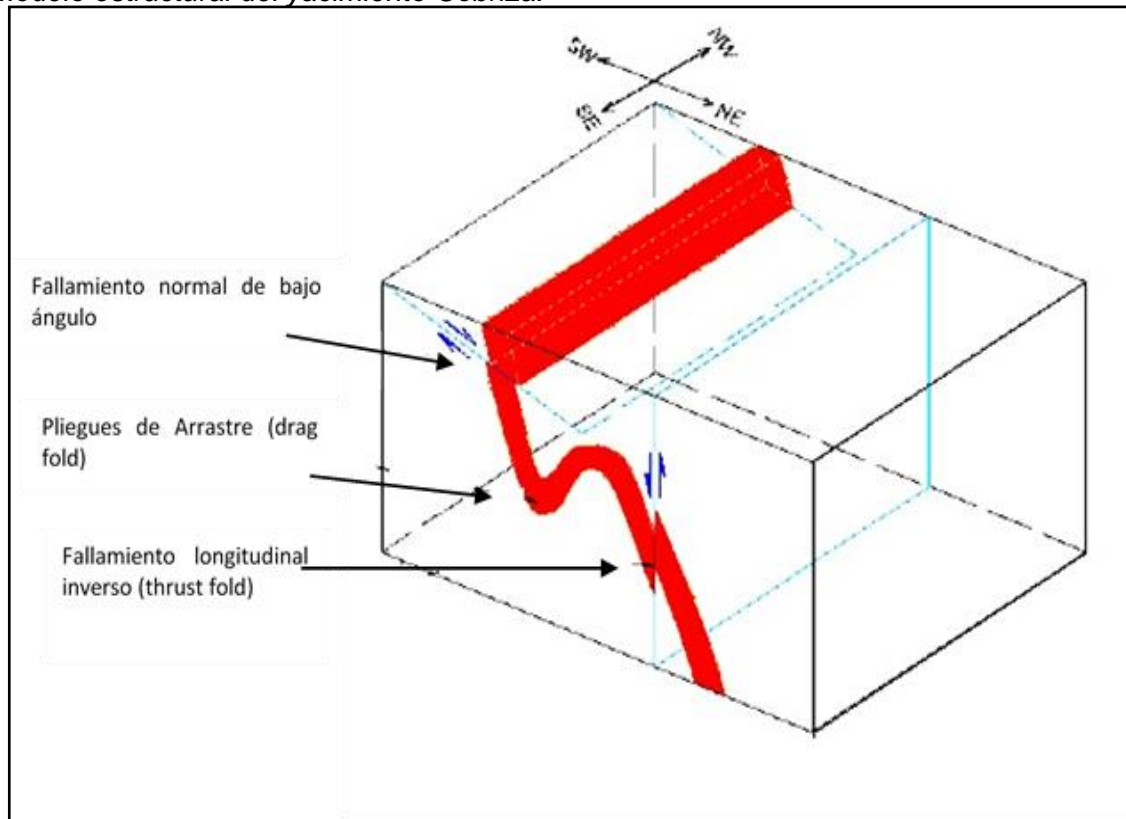
Seguidamente se presenta las principales fallas del sistema transversal, cuyos datos fueron tomados en el campo:

- Falla Rosa N30°-40°E, 45°SE
- Falla Dique N-S, 40°W
- Falla Cobriza N15°E, 75°SE

El desplazamiento de las fallas Rosa y Frida varían de 20 a 30 metros; por otro lado, la falla Cobriza que no ha sido interceptada en interior mina, se observa en el contacto pizarra-intrusivo, con un desplazamiento inferido de 3 a 5 metros, presentando relleno de sulfuros de Pb-Zn-Cu y Fe. El sistema de fallas transversales han removilizado los sulfuros de hierro y se considera que es el posible canal de mineralización; tal como se describe en la (Figura 35).

Figura 37

Modelo estructural del yacimiento Cobriza.



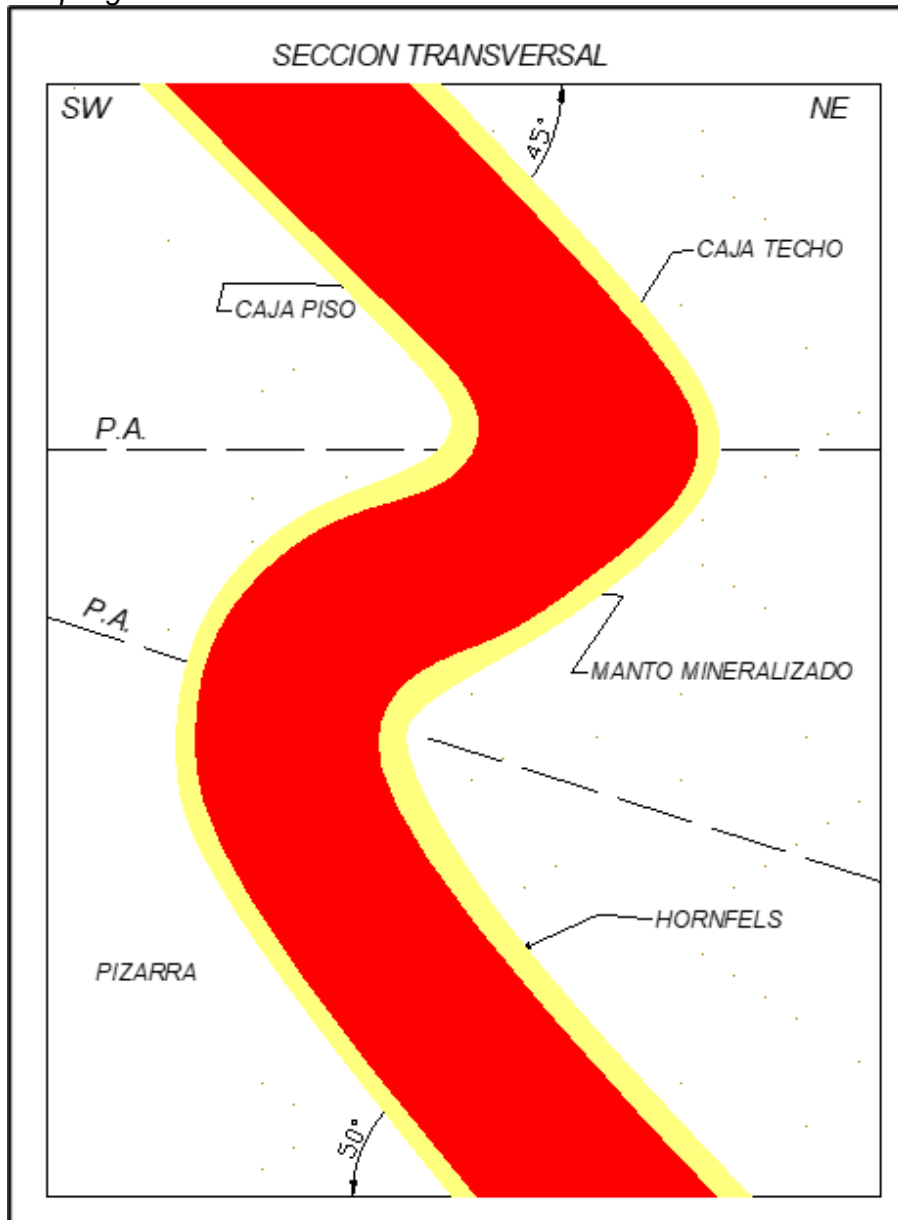
Nota: Doe Run (1995)

Pliegues de Arrastres (Dragfolds).

Son pliegues formados en el buzamiento del manto, los cuales adoptan el aspecto de pliegues monoclinales con apariencia recumbente cuyos limbos se inclinan con el mismo ángulo en la misma dirección, mostrando el plano axial casi horizontal. Se originan como consecuencia de la deformación plástica del horizonte calcáreo original. La particularidad de estas geoformas en interior mina es que las concentraciones de calcopirita aumentan considerablemente, tal como se describe en la (Figura 36).

Figura 38

Gráfica de un pliegue de arrastre.



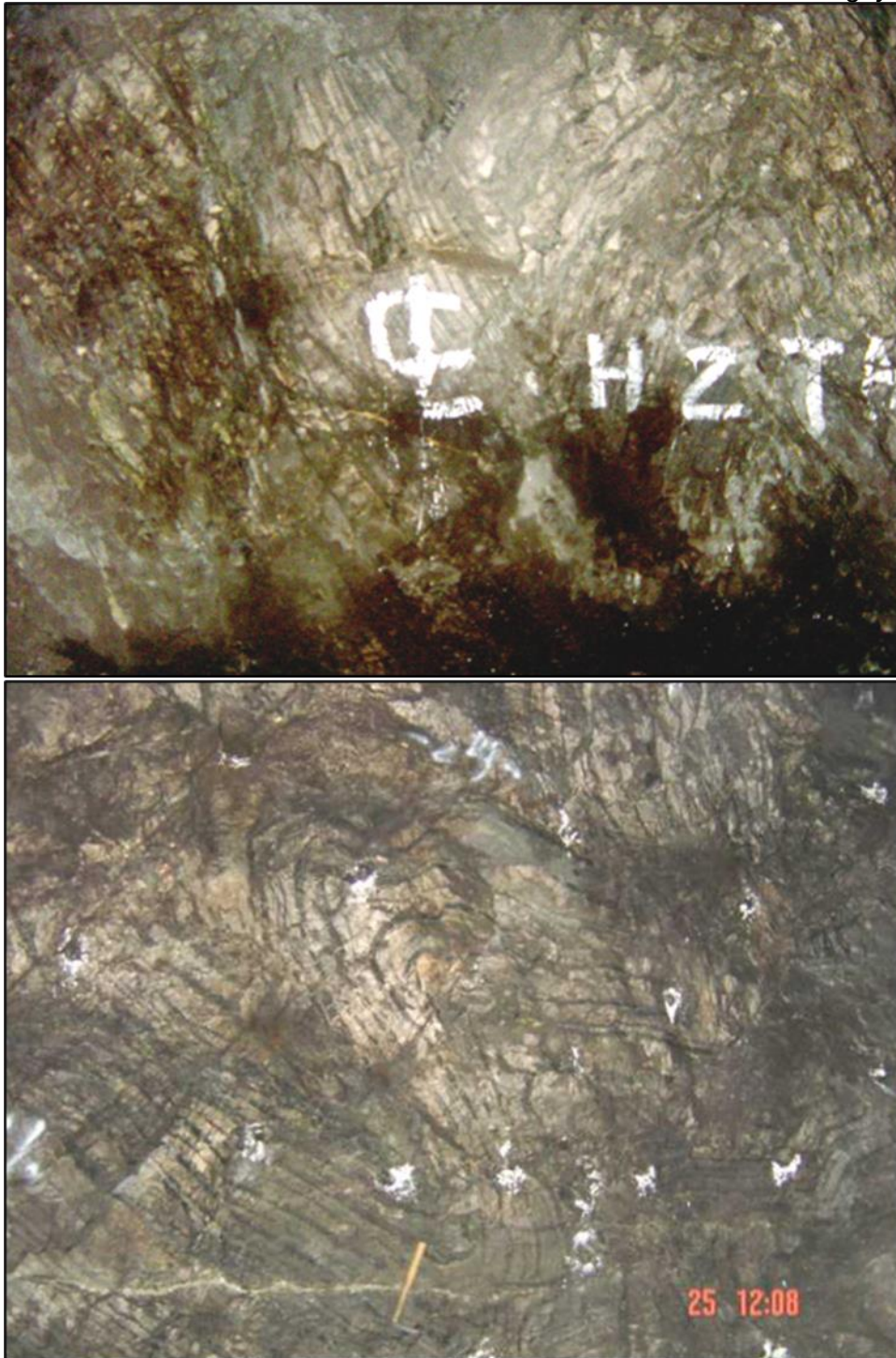
Nota: Doe Run (1995)

Pliegues Kink Chevron

Llamados también pliegues angulares o zig – zag, presentan flancos rectos y charnelas agudas; estos pliegues se observan con mayor frecuencia hacia la caja piso, con la particularidad de que aumenta la concentración de calcopirita, tal como se muestra en la (Figura 37), es en estos plegamientos donde las concentraciones de Cu son mayores, llegando a leyes de 1% Cu.

Figura 39

Pliegues Kink Chevron en frentes de avance del sub-nivel 10 5250 Sur Pumagayoc



Nota: Rubén Tinco Orihuela.

Brechas.

Las brechas se observan en los extremos norte de Cobriza y el extremo sur de Pumagayoc en la cota 1,900 y 1,850 respectivamente, conformados por clastos de caliza y pizarra angulosos, con matriz de baritina-calcita y cuarzo, venillas de galena-esfalerita.

En el extremo sur de Pumagayoc en la sección 4,600 cota 1,850 se observan brechas estructurales, producto de la presencia de una falla N10°E, que origina uno de los límites de la mineralización del yacimiento Cobriza en el área de Pumagayoc, al Sur de la mencionada falla se tiene la presencia de mármol recristalizado y al norte de la falla se tiene manto mineralizado, tal como se muestra en la (Figura 51).

Diques.

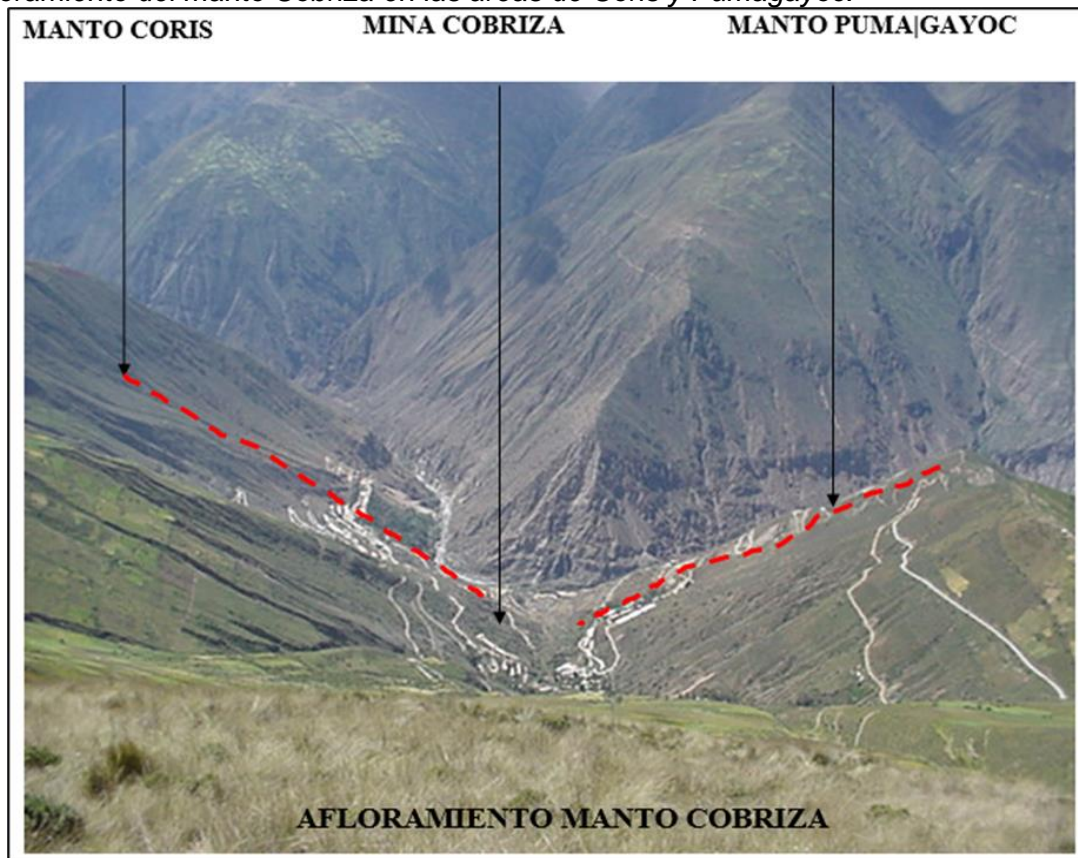
En el yacimiento Cobriza se tiene dos tipos de diques, uno que corta a las rocas del Grupo Tarma y otro dique que corta al granito Cobriza. Siendo el primer tipo de dique de composición basáltica y es controlada por las fracturas de cizalla más antigua de la zona. El segundo tipo de diques es de composición diorítica a cuarzo-monzonítica y está controlado por las fracturas de cizalla más recientes, se considera que estos diques dieron origen a la mineralización del skarn, tal como se grafica en la (Figura 38).

Vetas.

Existen vetas con potencia de 10 a 20 cm emplazadas en el sentido de los pseudoestratos que pertenecieron a las calizas, éstas con mayor presencia hacia la caja piso, con mineralización de sulfuros tales como calcopirita, galena, tetraedrita, siderita, estibina, arsenopirita, marmatita, cuarzo y calcita. Muestran un rumbo general NW-SE y NE-SW.

Figura 40

Afloramiento del manto Cobriza en las áreas de Coris y Pumagayoc.



Nota: Fotografía tomada por Rubén Tinco O (2018)

3.3.4 Geología económica

Cobriza es un yacimiento de reemplazamiento metasomático, por metasomatismo de contacto, que se emplaza en el horizonte Calizas Cobriza. Los fluidos mineralizantes han reemplazado en forma sucesiva en el horizonte de las calizas Cobriza (roca encajonante), por su fácil capacidad de albergar los fluidos hidrotermales. Este horizonte presenta de 25 a 30 metros de potencia, conformada por bandas intercaladas de caliza masiva de 1 a 30 centímetros de espesor, acompañada de bandas de caliza argilácea de 1 a 3 centímetros de espesor. El yacimiento Cobriza presenta sulfuros masivos con valores anómalos de cobre, plata y bismuto, cuya edad de mineralización determinada por K-Ar en anfíboles no deformados, es de 263.4 ± 8 Ma. Tiene una extensión de 4.5 kilómetros en la dirección del rumbo NW-SE, una profundidad reconocida de $\pm 1,000$ metros en la dirección del buzamiento NE y un espesor de 25 a 30 metros, compuesto principalmente por

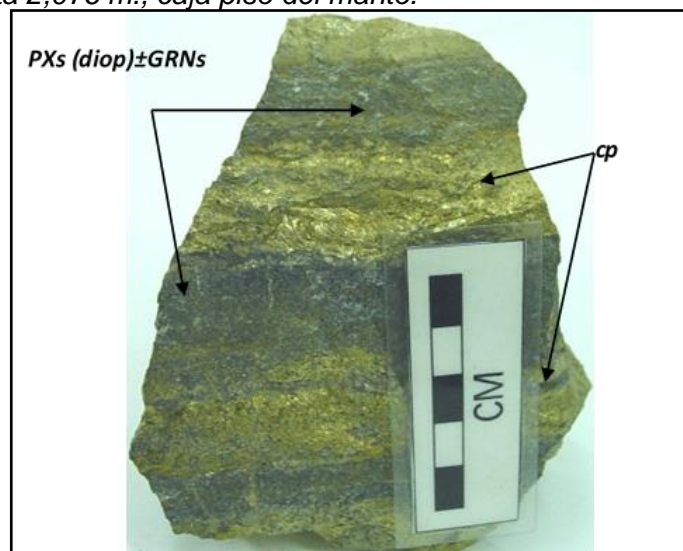
calcosilicatos, piroxenos, anfíboles, pirrotita, magnetita, calcopirita, arsenopirita y bismutinita, tal como se ilustra en la (Figura 41).

El yacimiento Cobriza se ubica en el flanco oriental del anticlinal Coris, constituido por dos depósitos tipo manto, ambos emplazados en los horizontes calcáreos del Grupo Tarma del Pensilvaniano (Cobriza y Torrepatá). El manto Cobriza se emplaza en el horizonte calcáreo del mismo nombre, es un skarn cálcico – magnesiano, estratiforme con sulfuros masivos, óxidos masivos y valores anómalos en cobre, plata y bismuto. El manto Torrepatá es el segundo en importancia económica, se emplaza en el horizonte dolomítico, ubicado 100 metros al techo del manto Cobriza, tiene una potencia irregular de 3 a 13 metros; tal como se grafica en la (Figura 33).

En cuanto al origen de estos yacimientos, se han venido proponiendo orígenes singenéticos y epigenéticos, para el Manto Cobriza, siendo ambas teorías válidas, pero en 2 fases consecutivas.

Figura 41

Textura bandeada de calcopirita (cp) con piroxenos (Pxs), tipo diópsido (diop). Nivel 04 Sección 2320, cota 2,076 m., caja piso del manto.



Nota: Fotografía tomada por Rubén Tinco O (2018)

3.4 Investigaciones de campo

3.4.1 Alteración y mineralización

El manto Cobriza tiene una longitud de 5.1 km, 1 km de profundidad en el sentido del buzamiento N65°E y 25-30 m de potencia, emplazados en las Calizas Cobriza, con

mineralización de magnetita, pirrotita, arsenopirita y calcopirita en una matriz de piroxenos, calcosilicatos, anfíboles y cuarzo. Siendo la calcopirita la principal mena, acompañada de minerales de plata (inclusiones de acantita en galena).

Los fluidos hidrotermales que dieron origen al posible skarn de cobre son fluidos hipersalinos y saturados, mayormente compuestos de Mg^{+2} , Si^{+4} , Fe^{+3} , Al^{+3} , Fe^{+2} , H^{+1} , S^{-2} , Cl^{-1} , Zn^{+2} , Cu^{+2} , As^{+3} , Sb^{+3} , a una temperatura de 350 – 450 °C y una presión menor a un Kilobar aproximadamente. Según los estudios sobre génesis de yacimientos tipo estratoligado, existen dos escuelas, una escuela referida al origen singenético y otra al origen epigenético. La escuela singenética postula que la mineralización de los mantos se habría formado simultáneamente con el fenómeno de sedimentación de las rocas encajonantes, y la escuela epigenética sostiene que la mineralización sería posterior a la formación de sus cajas y se habría producido un reemplazamiento selectivo estratificado por efecto de los fluidos hidrotermales. Según PETERSEN, U. (1965), la temperatura de formación de Cobriza se estima en 400°C-450°C, basado sobre determinación de rayos X por Hornea sobre una muestra de pirrotita y dos muestras de arsenopirita. La pirrotita tiene el valor $d_{102}=2,0641+ 0,0004a$, el cual corresponde a una temperatura mínima de formación de 380°C; la arsenopirita tiene un valor $d_{131}=1,6313+ 0,0004a$, el cual corresponde a una temperatura máxima de formación de 370°C-490°C y 490°C-620°C. La coexistencia de pirita con arsenopirita limitaría la temperatura debajo de 530°C a una presión de 2,000 bars (PETERSEN, U. 1965). Si se superpone un metamorfismo regional, no sólo la caliza se metamorfizaría, sino también las lutitas y las limolitas. Por las evidencias anteriores, sería muy difícil de demostrar que el manto de Cobriza es singenético.

3.4.1.1 Zonamiento litológico y mineralógico. Existe un marcado y definido zonamiento litológico-mineralógico en el manto Cobriza, son tres zonas que se describen a continuación desde el centro hacia la periferia.

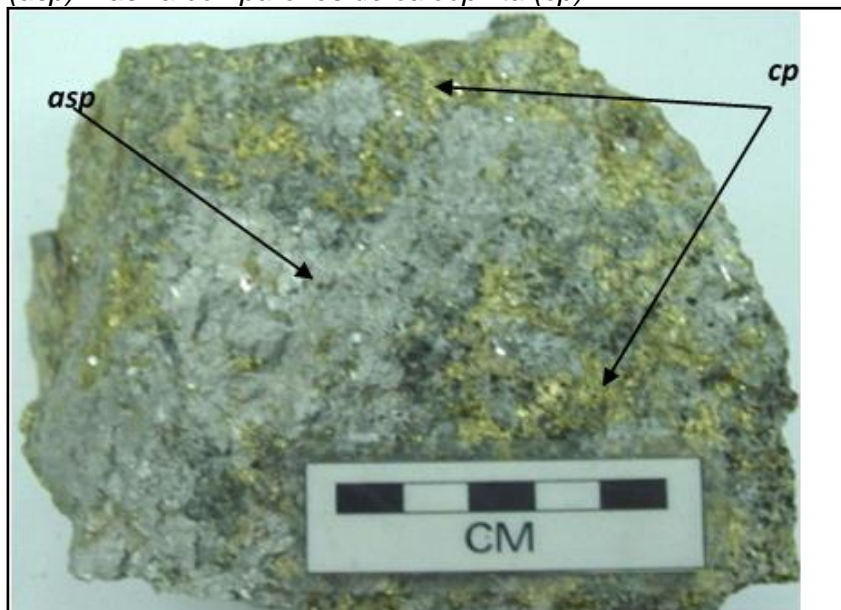
3.4.1.1.1 Zona interna. La zona interna es un Skarn de piroxenos-granates y anfíboles que a su vez es la porción central del manto Cobriza entre los niveles 2,800 m y

1,900 m en el área de Coris y los niveles 2,800 m y 2,400 m en el área de Pumagayoc. Es el área de mayor importancia mineralógica debido a sus grandes concentraciones de calcopirita, con leyes superiores al 1.20 % de Cu, tal como se detalla minuciosamente en la figura 41.

El piso del manto, es una franja regular y discontinua de 2 a 4 metros de potencia aproximadamente, está compuesto de diópsido de color gris a verdoso de grano medio a fino algo masivo, ligeramente bandeado, con escasa cantidad de granates gris marrones de grano medio a fino ligeramente masivo, dispuesto en bandas y lentes milimétricos irregulares y discontinuos. Presencia de calcopirita masiva en bandas milimétricas a centimétricas, pirita masiva en pequeños agregados y diseminada, arsenopirita en agregados desarrollados asociado a calcopirita, esta mineralización se ubica muy próximo al contacto caja piso. En esta zona se presenta muy poca pirrotita. Se observan venillas de cuarzo, calcita con calcopirita, arsenopirita y pirita, observándose incremento en el contenido de calcopirita y cuarzo. Esta zona se considera la de mayor valor económico con leyes que fluctúan entre 1.50 a 2.00 % de Cu. (Figura 42).

Figura 42

Muestra tomada en el Nivel 00 Sección 2530, cota 2,044 m. caja piso, se muestra arsenopirita (asp) masiva con parches de calcopirita (cp)



Nota: Fotografía tomada por Rubén Tinco O (2018)

La parte media del manto, mineralógicamente está compuesta principalmente de diópsido, los colores varían de gris a verdoso de grano medio a fino algo masivo, ligero bandeamiento con bajo contenido de granates gris marrones de grano medio a fino en bandas milimétricas y lentes irregulares y discontinuos incrustados en la matriz de diópsido; como anfíboles se tiene a la hornblenda y actinolita - tremolita de grano medio asociado principalmente a granates. Como sulfuros se presenta principalmente pirrotita. Se muestra venillas rellenas con calcita, cuarzo, calcopirita, arsenopirita, actinolitas y cloritas que cortan a la zona en varias direcciones. En esta zona se observan cuerpos elongados en forma de lentes irregulares compuestos de pirrotita de grano grueso, algo deleznable sin bandeamiento con diseminación y parches de calcopirita. Esta mineralización, podría estar relacionada a los posibles feeders o conductos mineralizantes, (Figura 44). La ley promedio de cobre en esta zona, es de 1.10 - 1.20 % de Cu.

En la caja techo del manto, se observa ligero incremento de granates gris marrones con débiles tonalidades rojizas, las concentraciones de diópsido son muy bajas; se muestra gran concentración de hornblenda de grano medio y en cristales acompañada de actinolitas. Cerca de la influencia de la falla Rosa se observan concentraciones de hornblenda en un proceso de alteración a actinolitas - biotitas - cloritas. Presencia de pirrotita, con calcopirita diseminada, arsenopirita asociado a la calcopirita. Esta zona muestra venillas rellenas de cuarzo, calcita, calcopirita, arsenopirita, actinolita, cloritas y epidota, las cuales atraviesan la zona en varias direcciones. Esta zona muestra una ley promedio de 0.8 – 0.90 % de Cu, tal como se observa en la (Figura 43). Adicionalmente se tiene mineralización de pirrotita y calcopirita alimentada por fallas longitudinales al manto, tal como se muestra en la (Figura 45), llegando a leyes de 0.90% Cu. Se tiene sectores a caja techo en que se tiene mineralización de magnetita y hornblenda-calcita en interbandeamiento, el cual es catalogado como desmonte operativamente, tal como se grafica en la (Figura 46).

Figura 43

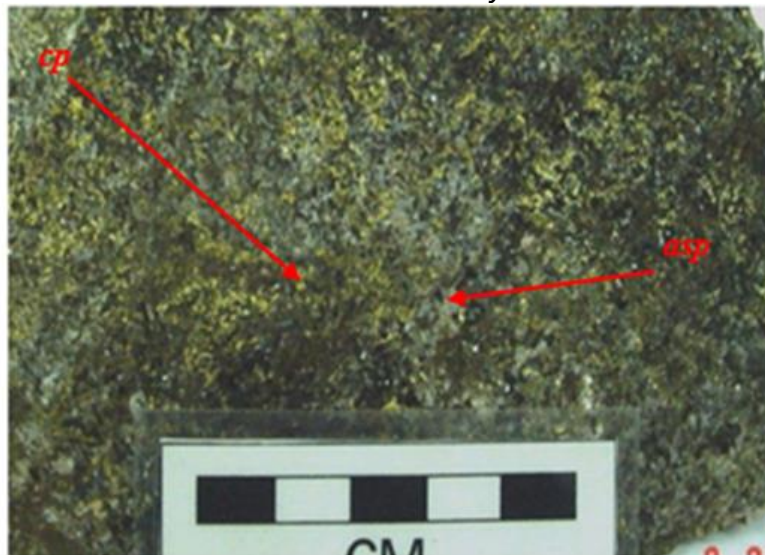
Muestra tomada en el nivel 51, sección 2753, cota 2,565 m, se observa pirrotita (po), calcopirita (cp) y arsenopirita (asp) dentro de una matriz de hornblenda (hb) – actinolita (act).



Nota: Fotografía tomada por Rubén Tinco O (2018)

Figura 44

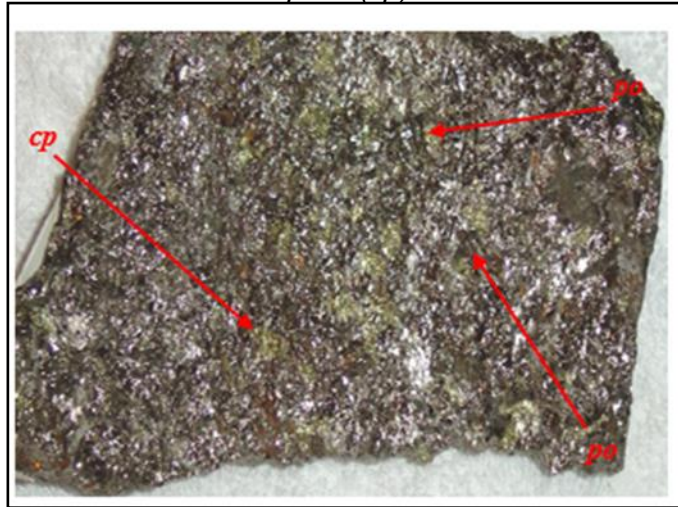
Muestra tomada en el nivel 51, sección 2590, cota 2,593 m. se observa calcopirita y arsenopirita dentro de una matriz de cuarzo - biotita y hornblenda-actinolita.



Nota: Fotografía tomada por Rubén Tinco O (2018).

Figura 45

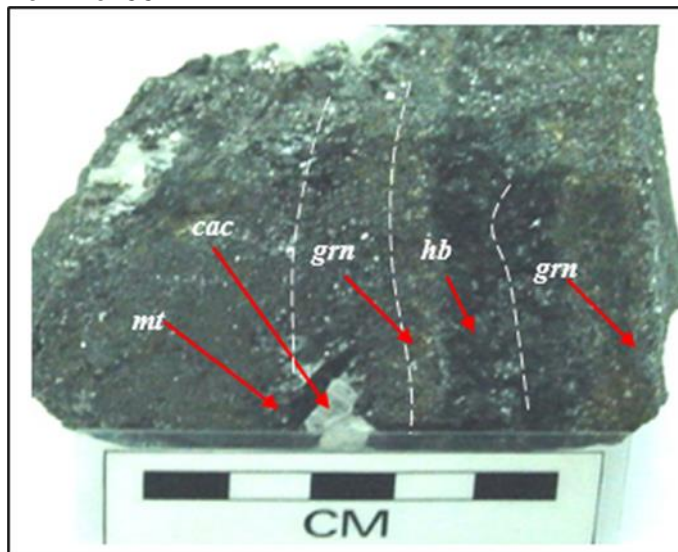
Muestra tomada en el nivel 10, sección 2170, cota 2,150 m, se muestra pirrotita (po) de grano grueso y diseminaciones de calcopirita (cp).



Nota: Fotografía tomada por Rubén Tinco O (2018)

Figura 46

Muestra tomada en el nivel 00.



Nota: Sección 2180, cota 2,075 m caja techo, se muestra magnetita (mt) de grano medio y en cristales, a la derecha bandas de granates (grn) de variedad almandino de cristales subhedrales, con hornblenda (hb) de cristales anhedrales y calcita (cac). Fuente: Fotografía tomada por Rubén Tinco O (2018).

3.4.1.1.2 Zona transicional.

Skarn de granates – anfíboles.

Es una sub-zona distribuida irregularmente, compuesta por granates gris marrones de grano medio a fino, dispuesta en bandas irregulares, cristales subhedrales, con presencia de hornblenda y en cristales subhedrales (7-8 cm.), adicionalmente con presencia de magnetita de grano fino a medio y en ciertas zonas se muestra en cristales.

Como sulfuros se presenta diseminaciones de pirita, marcasita, ligera presencia de pirrotita en concreciones con diseminaciones de calcopirita y pirita.

Hacia la caja piso se muestra venillas y concreciones de arsenopirita, los óxidos masivos en esta sub-zona abarcan el 90 – 95 % del total de la potencia del manto. La ley promedio en esta sub-zona es de 0.02 – 0.20 % de Cu, y se le considerado como ganga.

Skarn de Piroxenos - Granates – Anfíboles.

Zona que rodea y/o alberga a los sulfuros masivos económicos como a la sub zona de óxidos masivos estériles. El manto se divide en esta zona, de piso a techo, en dos sectores bien definidos: hacia la caja piso un ancho que representa el 30 – 40 % de toda la potencia del manto, compuesta por diópsido – tremolita de color gris – verdoso de grano medio a fino, en bandas irregulares y discontinuas con granates gris marrones de grano medio, concreciones esporádicas de hornblenda con actinolita. La concentración de pirrotita es mayor con respecto a los demás sulfuros, en ligero bandeamiento con bandas milimétricas discontinuas y diseminaciones de calcopirita y pirita diseminada. Las leyes en esta zona supera el 0.8 % de Cu. Hacia la caja techo, en un ancho que representa el 60 – 70 % de toda la potencia del manto que es de 25 m., se observan granates grises marrones con esporádicas tonalidades rojizas de grano medio con intercrecimiento de hornblendas de grano medio a fino y en cristales con desarrollos de actinolita y cloritas. Se tiene concentraciones enormes de magnetita masiva y en cristales que muestran bandeamiento irregular; esporádica presencia de pirrotita masiva con diseminación de calcopirita.

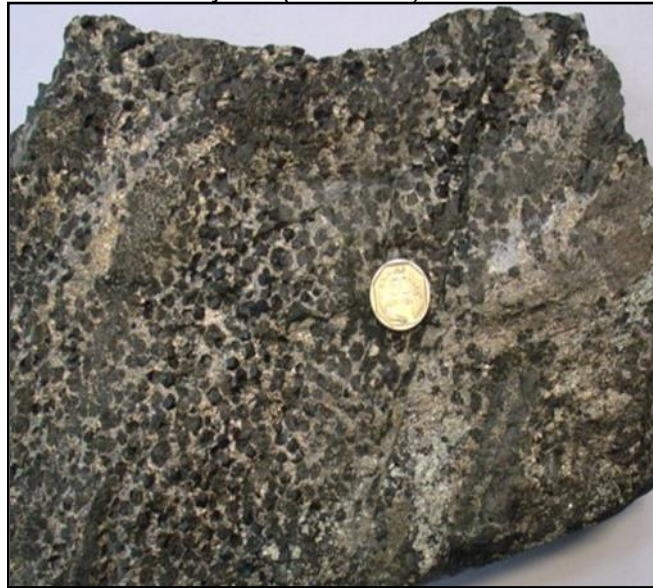
Skarn Granates - anfíboles – piroxenos.

Esta zona se ubica hacia la parte más externa del yacimiento, casi limitando y/o rodeando la mineralización de óxidos como la magnetita y sulfuros tal como se muestra en la (Figura 47). En casi la totalidad de la potencia del manto se constituye principalmente de granates marrones a rojizos de grano medio y en cristales moderadamente desarrollados, dispuestos en bandas y concreciones irregulares y discontinuas. En menor proporción se observa diópsido de color gris verdoso de grano medio a fino; en mínima cantidad hornblenda – actinolita de grano medio y en cristales bien desarrollados ± 15 cm.;

calcita en cristales desarrollada en los intersticios de los granates, hornblenda y magnetita; se observa esporádica presencia de wollastonita en cristales radiales bastante desarrolladas. Esta zona muestra venillas con calcita, cuarzo, calcopirita, arsenopirita y pirita. Las leyes promedio de cobre para esta zona varía entre 0.30 – 0.40 % Cu, siendo considerado como ganga.

Figura 47

Muestra tomada en el nivel 00, sección 3600, cota 2,000 m caja piso, la muestra presenta cristales de granates marrones a rojizos (andradita).



Nota: Fotografía tomada por Rubén Tinco O (2018)

Skarn de Piroxenos - anfíboles – granates.

Esta zona se desarrolla mayormente en el noroeste del yacimiento entre los niveles 0 y 80, compuesta en casi todo el ancho del manto por sulfuros masivos. Se constituye principalmente de diópsido y tremolita, son de grano medio a fino de colores gris verdosos, están dispuestos en bandas y lentes con intercrecimientos de granates gris marrones de grano fino; en mínima proporción se muestra hornblenda - actinolita de grano medio a fino asociada a los granates. Como sulfuro principal se tiene pirrotita masiva dispuesta en bandas y lentes irregulares con diseminación y bandas milimétricas de calcopirita y pirita, en ciertos tramos y pegado al contacto piso se muestran lentes definidos (0.5 x 4 m) de calcopirita masiva; concentraciones aisladas de magnetita más pegada hacia la caja techo. Se observa pirita masiva y cristalizada, la pirita cristalizada tiene un incremento hacia la

periferia del manto y está asociada a una dolomitización moderada con sideritas y calcitas. La mineralización de calcopirita hacia la zona dolomitizada se muestra diseminada, en venillas, lentes y cuerpos masivos e irregulares, mostrándose aislados, mientras que la pirrotita es escasa. Se tiene venillas de cuarzo, calcita, siderita, baritina con galena argentífera y esfalerita que cortan al Horizonte Cobriza en varias direcciones, estas venillas se incrementan y tienen mayor potencia hacia la parte dolomitizada y de brechas.

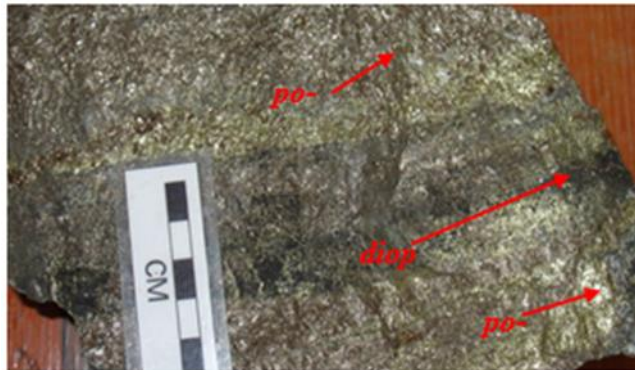
Hacia la periferia del manto se observan cuerpos irregulares y discontinuos de brechas, posiblemente producto de la desgasificación del sistema perteneciente al evento hidrotermal, controlado por fracturamiento local; las brechas son heterolíticas, por el contenido de fragmentos angulosos a subangulosos de dolomita, hornfels, pizarra y caliza recristalizada, todo en una matriz de calcita, siderita, magnetita, pirita, entrecortada con venillas de cuarzo con calcopirita, y venas más desarrolladas (10-20 cm. de ancho) de galena argentífera, esfalerita, tetraedrita, cuarzo, calcita y baritina. Las leyes de cobre en esta zona varían de 0.70 - 1 % de Cu.

El desplazamiento del manto, entre los niveles 2,280 m y 2,100 m (sección 1400, cota 1,570 m) tiene una duplicación del manto principal hacia caja techo por fallamiento longitudinal inverso, efecto de la falla Huaribamba, que tiene un ancho de ± 90 metros. Son diópsidos y tremolita con intercrecimientos de granates gris marrones de grano fino, los granates en menor proporción; hornblenda – actinolita de grano medio a fino asociado a granates. Como sulfuros principales se muestran pirrotita con diseminación y bandas milimétricas irregulares de calcopirita y pirita diseminada. Hacia el extremo NW se observa incremento de dolomitización con siderita y pirita cristalizada diseminada y cuerpos de brecha aislados con clastos de hornfels, pizarra hornfélsica y caliza recristalizada en una matriz de calcita, siderita, diópsido, magnetita y pirita con venillas milimétricas a centimétricas de galena argentífera, esfalerita, siderita, calcita, baritina, tal como se muestra en la (Figura 49). Hacia el SE, se tiene concentración de magnetita pegada hacia la caja techo y un halo final de dolomitización con incremento de pirita diseminada ligeramente cristalizada. Se muestran venillas milimétricas en varias direcciones de galena

argentífera, esfalerita, siderita, carbonatos, baritina con mayor incremento hacia la periferia del manto. Las leyes de cobre para la parte del manto desplazado son de 0.7 - 0.9 % de Cu.

Figura 48

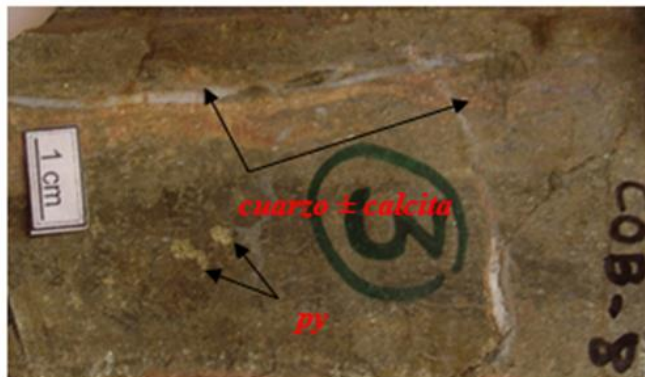
Muestra tomada en el nivel 10, sección 1480, cota 2,211m., caja piso en manto desplazado se muestra diópsido en bandas intercaladas con bandas de pirrotita – calcopirita.



Nota: Fotografía tomada por Rubén Tinco O (2018)

Figura 49

Muestra tomada en el nivel 10 sección 1355, cota 2,182 m., caja piso, la muestra presenta dolomitización como matriz con fina diseminación de py, atravesada por venas y venillas de cuarzo recristalizado y calcita.



Nota: Fotografía tomada por Rubén Tinco O (2018).

3.4.1.1.3 Zona externa.

Zona de Hornfels

El manto Cobriza posee hornfels de metamorfismo de grado medio a bajo; se encuentran cerca de las márgenes del depósito y concordante a los contactos con la pizarra, hacia ambas cajas. Se observa hornfels de metamorfismo de grado medio, representado por una roca clara a verde pálida de gran muy fino, con permeabilidad y porosidad nula, texturas laminadas y onduladas que vienen a ser los relictos de la textura

sedimentaria. Adicionalmente se tienen hornfels de metamorfismo de grado bajo, de grano muy fino, color gris marrón, de posible composición de granates y tremolita, que gradan a pizarra hacia fuera del manto y hacia el manto a hornfels de diópsido, tal como se muestra en la figura 50.

Figura 50

Muestra tomada en el nivel 42 sección 2660, cota 2,420 m, caja techo. Muestra de la zona hornfel, lado derecho es diópsido y del lado izquierdo de posible composición granates con tremolitas. En la parte central microvenillas de calcopirita, pirita y arsenopirita.



Nota: Fotografía tomada por Rubén Tinco O (2018)

Hacia la caja piso se observa venillas de calcopirita y cuarzo paralelas a la estratificación del manto, cuyas potencias varían de 20-30 cm, en menor abundancia se tienen venillas de cuarzo, calcita, siderita, esfalerita, tetraedrita, galena argentífera, pirita y calcopirita, tal como se muestra en la (Figura 51).

Zona de Baritina – Calcita.

Corresponde a la zona externa del yacimiento y aparentemente lo circunda casi en su totalidad, mostrándose así en los diferentes niveles de laboreo del yacimiento. Se presenta un interbandeamiento de baritina - calcita de 1 - 8 cm de potencia intercalado con horizontes de pizarra y bandas de caliza fuertemente recristalizada de grano grueso (cerro Coris); en forma de brechas compuesta de clastos subangulosos de caliza y pizarra cementados con una matriz de baritina-calcita (cerro Pumagayoc);

Figura 51

Nivel (-20), sección 2430, cota 1,992 m. Se muestra el contacto caja piso, seguido de la zona de hornfels, con venillas de cuarzo con calcopirita y arsenopirita.



Nota: Fotografía tomada por Rubén Tinco O (2018)

Esta facie contiene sulfuros de galena y esfalerita en forma diseminada, venillas y como concreciones, asociados principalmente a los horizontes de baritina, tal como se muestra en la (Figura 52).

Figura 52

Muestra tomada en el nivel 10 sección 1340, cota 2,180 m. caja piso, la muestra presenta brechamiento, clastos de dolomita, hornfels, dentro de una matriz de calcita, siderita y baritina.



Nota: Fotografía tomada por Rubén Tinco O (2018)

Figura 53

Brechas, con matriz de baritina-calcita y clastos angulosos a sub-angulosos de pizarra-caliza obtenido del DDH OP16-2014.



Nota: Fotografía tomada por Rubén Tinco O (2018)

En una distribución espacial en el sentido de piso a techo, se observa más asociado a la caja techo de las calizas Cobriza.

Muestras tomadas en afloramiento de baritina y calcita, obtenida del DDH OP 16-2014, dieron los siguientes resultados promedios de plomo, zinc y plata, que se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5

Leyes promedio de plomo, zinc y plata en afloramientos de baritina y calcita.

Ubicación	Ley Promedio Pb (%)	Ley Promedio Zn (%)	Ley Promedio Ag (Oz/tm)
C° CORIS	7.40	0.08	1.45
PUMAGAYOC	1.80	-	0.49
TRINIDAD	3.20	0.24	0.72
C° PUMAGAYOC	1.20	-	0.50
NIVEL 28, GAL 3770	5.10	0.89	-

Nota: Doe Run Perú (2010).

3.4.1.1.4 Mármol y calizas. Los mármoles de color gris claro a blanco de textura sacaroide, se encuentran en las proximidades de los tramos de baritina cerca al eje anticlinal de Coris y en los extremos límites noroeste-sureste del yacimiento; esta zona es caracterizada por la presencia de piroxeno (diópsido) gris verdosos de grano medio dispuestos en bandas centimétricas y milimétricas; adicionalmente se observan gruesas

venillas conteniendo calcita de grano grueso que en sus bordes han desarrollado cristales prismáticos de wollastonita, tal como se observa en la figura 54

Las calizas recristalizadas muestran su típico bandeamiento milimétrico a centimétrico, de color gris claro y de grano fino, tal como se muestra en la figura 68

Figura 54

Muestras de mármol gris - blanquecino a crema con bandas de diópsido – granates obtenido del DDH OP16-2014.



Nota: Fotografía tomada por Rubén Tinco O (2018)

3.4.1.1.5 Zona de óxidos y enriquecimiento supergénico. En el manto Cobriza entre los niveles 2,500 m y 2,800 m existe una capa delgada de oxidación con tenue enriquecimiento supergénico. La zona comprende un horizonte de una potencia de 20 a 40 metros mostrando calcantita, malaquita, azurita \pm calcosita, debido a la presencia de periodos climáticos lluviosos, y el nivel freático poco fluctuante, falta de significativa cantidad de pirita para producir ácido lixivante y la presencia de carbonatos en el depósito que habría neutralizado rápidamente el poco ácido generado por la calcopirita, originando la formación de pequeñas concentraciones de covelita con menor contenido de calcosita reemplazando a la calcopirita; hacia la parte más externa se muestran en menor presencia carbonatos (malaquita, azurita), sulfatos (calcantita, brocantita) y óxidos (goethita-hematita). Existe cobre nativo y cuprita que comúnmente se encuentra en pequeñas cantidades, se hallan en vetas y rellenando fracturas transversales al manto principalmente, tal como se muestra en la (Figura 55).

Figura 55

Muestra tomada del nivel 80 S Pumagayoc, sección 5000, cota 2,820 m. Muestra con presencia de óxidos de cobre, brocantita, azuritas y malaquitas.



Nota: Fotografía tomada por Rubén Tinco O (2018)

3.5 Investigaciones de laboratorio

3.5.1 Alteraciones hidrotermales y mineralización

3.5.1.1 Etapa prógrada e isoquímica. Durante esta etapa ocurre una recristalización metamórfica y cambios mineralógicos, reflejando el protolito y circulación de fluidos de alta temperatura desarrollando las zonas de mármol con wollastonita y hornfels, los cuales se manifiestan como relictos en las periferias del manto.

Calizas recristalizadas - Marmolización y Hornfels.

Las calizas recristalizadas ocurren con mayor frecuencia en la parte externa superior de los flancos, cerca al eje del anticlinal de Coris y en menor proporción en los extremos NW-SE del manto Cobriza, limitado por calizas ligeramente recristalizadas y zonas de baritina y calcita.

Consiste de una recristalización de la caliza por efecto de la temperatura, de color gris blanquecino, con textura de grano medio a fino granular, acompañadas de venillas de calcita que atraviesan a las calizas recristalizadas, tal como se muestra en la figura 56.

Figura 56

Muestra de caliza recristalizada, en donde se observa bandeamiento de 1-2 mm.



Nota: Fotografía tomada por Rubén Tinco O (2018)

3.5.1.2 Etapa Skarnizante.

Diópsido - Granates

Debido a la presencia de fluidos derivados de alguna fuente magmática a temperaturas de 400°C - 600°C que se canalizaron a través de fallamientos profundos, fracturas, contactos sedimentarios, diques pre-skarn, se forman en el manto Cobriza minerales anhidros como granates marrones a rojizos de la variedad andradita y piroxenos verdes. Esta zona se emplaza en todo lo ancho del manto Cobriza, manifestándose concentraciones o diseminaciones de granates en diópsido o simplemente el diópsido ocurre bordeando a los granates. La depositación de óxidos como magnetita y sulfuros pirrotita – pirita – calcopirita, comienza durante la etapa final de metasomatismo.

3.5.1.3 Etapa hidrotermal. Esta etapa se caracteriza por el reemplazamiento de minerales anhidros a minerales hidrosos, fases tales como hornblenda – actinolita – cloritas – epídotas – biotitas con la consiguiente formación de óxidos y sulfuros en ambiente retrógrado, en los cuales la temperatura es más baja y la composición de los fluidos llega a ser dominada por aguas meteóricas y oxigenadas, causando alteraciones retrógradas de los minerales metamórficos y metasomáticos, esta alteración se lleva en dos eventos, uno pervasivo aprovechando la porosidad principal y la otra controlada por venillas.

Es en esta etapa donde ocurre el evento principal de mineralización en los cuales los óxidos y sulfuros ocurren como disseminaciones, concentraciones masivas y en venillas las cuales atraviesan el skarn prógrado y pueden formar reemplazamientos masivos hacia la parte externa.

Hornblenda - actinolita - clorita - epídotas con mineralización de magnetita.

Este sub-estado constituye la alteración – mineralización más oxidante del skarn Cobriza. El ensamble de alteración hornblenda – actinolita se emplaza principalmente en la parte externa del zonamiento general y en concentraciones irregulares pegados hacia la caja techo del manto, principalmente ocurre hornblendas reemplazando selectivamente a los granates y a su vez son reemplazados por magnetita; la hornblenda – actinolita también reemplaza a los piroxenos en las zonas más externas.

Mineralización de pirrotita – arsenopirita – calcopirita - esfalerita ferrífera.

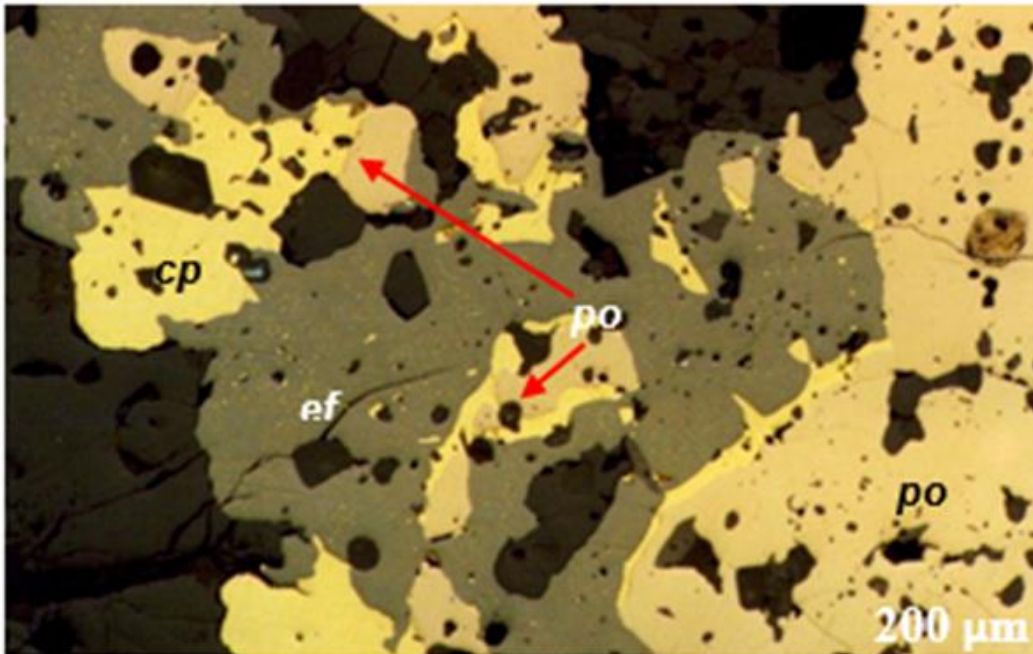
Este sub-estado consiste el comienzo de la formación de sulfuros pobres en azufre y ricos en hierro ferroso, en un ambiente más reductor que oxidante.

Pirrotita.

Acompañada de pequeñas disseminaciones de pirita, reemplazó casi todo el skarn principalmente las zonas de diópsido, que son muy favorables para este caso. De acuerdo a Rivera y Huamán (1,984), en secciones delgadas la pirrotita se distribuye extensamente, más asociado al diópsido que a los granates, menos frecuentemente a las hornblendas – actinolitas. En la parte central del zoneamiento, la pirrotita ocurre en forma masiva dispuesta en concreciones y xenomórfica, asociados a minerales principalmente calcopirita, marmatita, pirita y arsenopirita en distintas formas, tal como se muestra en la figura 57.

Figura 57

Muestra tomada del Nivel 00, sección 2,320, cota 2,076 m. Ancho de foto 2 mm. Se observa esfalerita (ef) con calcopirita (cp) y pirrotita (po), se observan texturas de exsolución de calcopirita (cp).



Nota: Unidad Minera Cobriza Doe Run Perú.

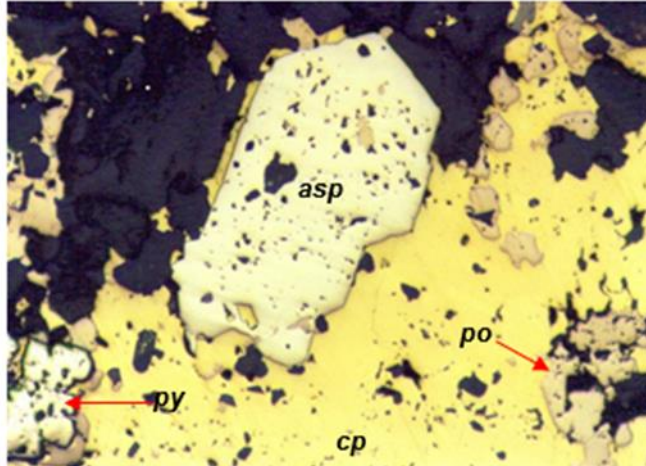
Arsenopirita.

Este sub estado estaría muy relacionado a los canales de mineralización principal (feeders), se encuentra como relleno en vetillas y como mineralización pervasiva con mayor abundancia hacia la caja piso del manto, se encuentran principalmente asociados a la pirita y cuarzo e incluye pequeñas inclusiones de bismutinita, bismuto nativo, calcopirita y pirrotita.

La arsenopirita ocurre en concreciones irregulares como pequeños cristales de exsolución de la pirrotita, además forman texturas de asociación con la pirrotita. También se presentan como cristales euhédricos a subhédricos de grano grueso conteniendo inclusiones de cristales de calcopirita y pirrotita, tal como se muestra en la Figura 58.

Figura 58

Muestra tomada del nivel 19, sección 2,740, cota 2,201.5 m. Caja piso. LP 10x10. Calcopirita como inclusiones y también bordeando en grandes playas a cristales subhédricos de arsenopirita, hacia el lado inferior izquierdo pirrotitas en coronas de piritas.



Nota: Unidad minera Cobriza Doe Run Perú.

Calcopirita.

Representa el sulfuro más importante en el skarn Cobriza, se emplaza mayormente en la zona interna, siendo en la caja piso donde ocurre la mayor concentración en ley y en abundancia. En secciones pulidas se observan calcopiritas masivas remplazando mayormente a la pirrotita y pirita y menos frecuentemente asociado a la arsenopirita y esfalerita ferrífera.

Esfalerita (Marmatita).

De acuerdo a Rivera y Huamán (1984) la esfalerita se emplaza en la parte interna del zoneamiento general, asociada a diópsido, pirrotita y calcopirita; se presenta en cristales anhedrales formando texturas alotriomórficas asociados mayormente a la ganga, y como concreciones albergando acristales de calcopirita y pirrotita. Se presenta de dos tipos: esfalerita I, asociado principalmente a la ganga y esfalerita II, como exsolución en calcopirita y pirrotita.

En vista de la presión parcial de azufre relativamente baja, indicado por la calcopirita, pirrotita y arsenopirita, es de esperarse que la esfalerita, generalmente tenga altos contenidos de hierro por lo que estos depósitos no son tan atractivos económicamente como yacimientos de zinc, tal como se muestra en la Figura 59.

Figura 59

Zinc en mineral de marmatita como mineralización típica de la zona de Pumagayoc, presentándose en venillas a la caja piso.



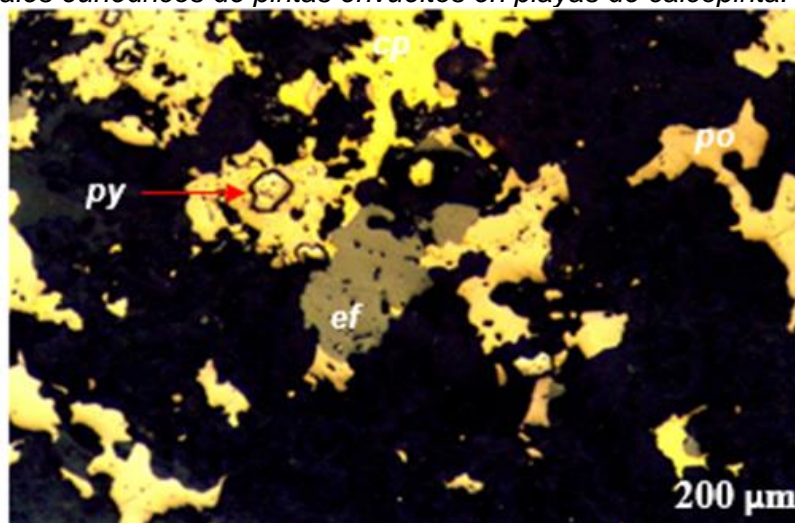
Nota: Fotografía tomada por Rubén Tinco O (2018)

Pirita.

Se presenta de dos tipos, de grano grueso, asociado a la pirrotita y de grano fino remplazando a la pirrotita, tal como se muestra en la figura 60.

Figura 60

Nivel 19, sección 2,740, cota 2,201 m. Caja piso. LP. 10x10. En la parte central cristales alotriomórficos de esfalerita (marmatita), envueltos en ganga de diópsidos, hacia el lado izquierdo cristales euhédricos de piritas envueltos en playas de calcopirita.

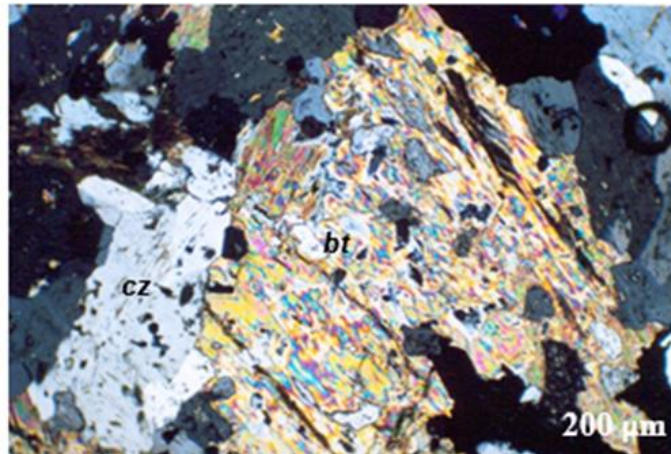


Nota: Unidad Minera Cobriza Doe Run Perú.

Esta alteración se emplaza formando un halo de alteración a la falla Rosa, se caracteriza por la presencia de cuarzo secundario - biotita secundaria - hornblenda - actinolita y como accesorios muscovita, sericita, flogopita, cloritas. El cuarzo presenta una textura subidiomórfica a alotriomórfica, presentando una extinción ondulante característica de los cuarzos secundarios. Los cristales de biotita se encuentran distribuidos indistintamente, en su mayoría deformados o cizallados, en diferentes orientaciones, probablemente originada por la tectónica, tal como se observa en la figura 61 y figura 62.

Figura 61

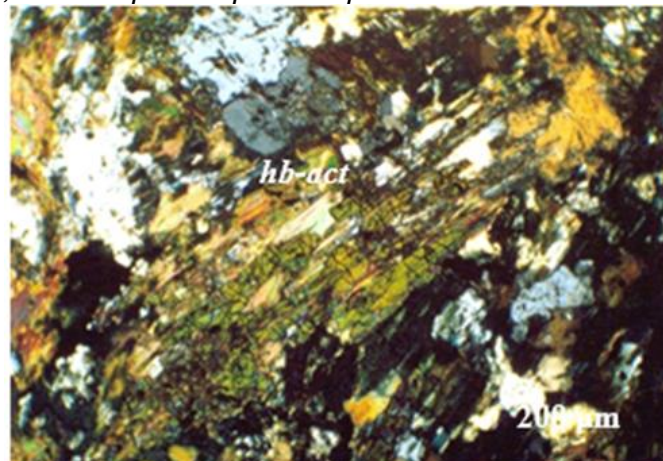
Nivel 51, sección 2,570, cota 2,589 m. Caja techo. LP 10x10. Biotita-margarita a partir del reemplazamiento de hornblenda-actinolitas formando texturas poikilíticas con el cuarzo y apatitos, contiene una ligera alteración a cloritas, hacia el lado central e izquierdo cuarzo secundario.



Nota: Unidad Minera Cobriza Doe Run Perú.

Figura 62

Nivel 51, sección 2,590, cota 2,593. Ancho de foto 2.00 mm. Hacia la parte central cristales prismáticos alargados de Hornblendas-Actinolitas, reemplazados por biotitas parcialmente alterados a cloritas, en la esquina superior izquierda cristales de cuarzo.



Nota: Unidad Minera Cobriza Doe Run Perú.

Cuarzo – Fluorita – Sericita (Talco).

Esta alteración se emplaza como un halo externo a la alteración cuarzo – biotita hornblenda-actinolita, en ambas cajas entre los niveles 2,420 m.-2,510 m. Esta alteración está constituida por sílice secundaria, muscovita - sericita, fluorita y talco, con altas concentraciones de arsenopirita y en mínima proporción calcopirita, tal como se observa en la figura 63. Es la zona de mayor concentración de bismuto llegando a tener valores de hasta 0.8 – 0.9% de Bi

Figura 63

Nivel 51, sección 2,750, cota 2,510 m; Fluorita-Cuarzo-Sericita (Talco)-Arsenopirita.



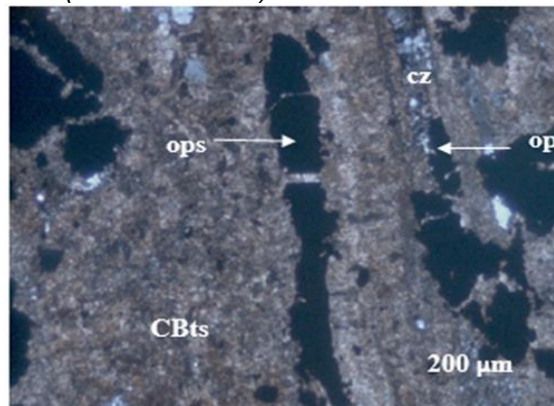
Nota: Fotografía tomada por Rubén Tinco O (2018).

Dolomitización.

Se encuentra cerca de las márgenes del depósito extremo noroeste entre los niveles 2,000 – 2,190 metros, inclusive en los extremos del manto desplazado. Esta sub zona se caracteriza por la presencia de material dolomitizado-ankerita-siderita reconocible su color gris cremoso, son de grano grueso con diseminación de pirita y melnikovita, presencia esporádica de cristales cúbicos de pirita, cuarzo cristalizado y en venillas, esporádicas concentraciones masivas de calcopirita con mayor concentración hacia la caja piso y venillas conteniendo galena, marmatita, calcita y siderita, dispuestas en varias direcciones, tal como se muestra en la figura 49.

Figura 64

Nivel 10, sección 1,355, cota 2,182 m. Caja piso. Vena rellena por minerales opacos y cuarzos corta a carbonatos (dolomitización).

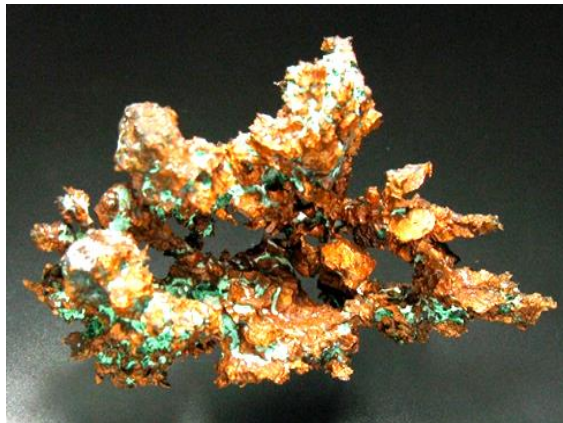


Nota: Unidad Minera Cobriza Doe Run Perú.

3.5.1.4 Etapa Supérgena. En el depósito existe una pequeña capa de oxidación con un ligero enriquecimiento secundario cuya potencia varía entre 20 y 40 metros, debido a las precipitaciones pluviales, ocurren filtraciones de agua a través de fracturas. Esto ha originado la oxidación de los minerales principalmente la cual no genera mucho ácido lixivante y la presencia de carbonatos en el depósito los cuales habrían neutralizado rápidamente el poco ácido generado por la calcopirita, originando la formación de limonitas principalmente goethitas, en menor grado carbonatos y sulfatos de cobre malaquita-azurita, brocantita-calcantita, cuprita, cobre nativo, este último se encuentra relleno de fracturas acompañado de arcillas, óxidos de hierro y manganeso. En el yacimiento Cobriza se tiene presencia de Cu nativo, ubicado a 40 metros de la superficie. Véase figura 65.

Figura 65

Cu nativo en cristales octaédricos, formado en zona de falla, en el Nivel 28 Norte, ubicado a 40 metros de la superficie.



Nota: Fotografía tomada por Rubén Tinco O (2018)

3.5.2 Paragénesis

Para establecer la secuencia de formación del depósito skarn Cobriza, se tomaron en cuenta las descripciones macroscópicas y microscópicas de texturas y estructuras de diferentes muestras tanto de mina como de taladros diamantinos, considerándose para esta secuencia minerales de mena como sulfuros de cobre y fierro y de ganga como minerales de alteraciones y otros, teniendo en cuenta el origen, migración y deposición de los fluidos mineralizantes. Debido a que el fluido cambia en su recorrido se formará diferentes minerales a lo largo de su trayectoria, mientras que un mineral está siendo depositado en un lugar o nivel, otro está siendo depositado en otro lugar bajo diferentes condiciones de presión, temperatura y química, dependiendo de la distancia de la fuente y composición de las soluciones. Un sistema de múltiples pulsaciones no tiene una secuencia cronológica propia, de ahí que el orden de deposición de dos pulsaciones no puede concordar exactamente, por ejemplo si una fractura es mineralizada ésta puede ser abierta repetidamente por procesos tectónicos, permitiendo que entren flujos discontinuos de fluidos mineralizantes, puesto que la química de los fluidos evoluciona en el tiempo y la mineralogía de cada flujo varía, entonces determinar la secuencia de formación es difícil y la verdadera paragénesis no siempre se puede determinar con certeza.

La secuencia paragenética para el manto Cobriza se ha subdividido en etapas de acuerdo a la posible secuencia de formación.

3.5.2.1 Etapa isoquímica. Se considera que esta fase incluye la formación de calcita, dando lugar a la formación del mármol dolomítico con cristales de wollastonita – diópsido -granates (andradita-grosularia), esta secuencia de depositación se forma en respuesta al decrecimiento de la temperatura de los fluidos y un incremento en las concentraciones de CO₂, tal como se muestra en la figura 66.

Figura 66

Esquema de la evolución y mineralización Skarn Cobriza



Nota: Valdez, (1982).

3.5.2.2 Etapa Prógrada. Esta etapa se caracteriza por la formación de minerales anhidros principalmente granates como andradita, almandino y grosularia, piroxenos como diópsido, a consecuencia de fluidos hipersalinos derivados de alguna fuente magmática a temperaturas de 400° – 600 °C. El autor del presente informe considera que el diópsido se muestra con mayor intensidad hacia la parte central del manto, y va degradando hacia las partes externas, seguido por el incremento de granates, este zoneamiento indica una fuerte

actividad de Mg⁺² y Si⁻⁴ a partir del foco de alteración en su fase inicial, el cual va disminuyendo en el tiempo con el incremento de Fe⁺³ es decir los piroxenos son remplazados progresivamente por los granates.

Por consiguiente, la secuencia paragenética para las dos primeras etapas en el manto Cobriza son generalizadas como sigue:

MÁRMOL DOLOMÍTICO→WOLLASTONITA→PIROXENOS→GRANATES

3.5.2.3 Etapa Retrógrada. Esta etapa se caracteriza por el reemplazamiento de minerales anhidros prógrados a fases de minerales hidrosos tales como hornblenda, actinolita, cloritas, epidotas y biotitas con la consiguiente formación de óxidos (magnetita) y sulfuros (pirrotita, esfalerita ferrífera, pirita y calcopirita). En el límite de la parte intermedia y externa, se nota muy claramente que la hornblenda ocurre remplazando a los granates, los mismos que son remplazados por magnetita. En las zonas externas las hornblendas - actinolitas remplazan al diópsido. La secuencia paragenética en esta etapa puede ser generalizada como sigue:

Granates grosularia	→	epídota + cloritas + calcita
Granates andradita	→	cuarzo + óxidos de hierro + calcita
Granates almandino	→	hornblenda + biotita
Diópsido	→	actinolita + talco

En esta etapa se llevó a cabo el principal evento de mineralización, en el que los óxidos y sulfuros del manto Cobriza, ocurren como disseminaciones, cuerpos irregulares masivos o en venillas. La pirrotita está en gran extensión en el skarn, muy asociada al diópsido y menos frecuente a los granates y hornblenda. La pirrotita está asociada con pirita, calcopirita, arsenopirita y a esfalerita ferrífera. La arsenopirita ocurre en concreciones irregulares como pequeños cristales de exsolución de la pirrotita, formando texturas de asociación representativas con la pirrotita y poco frecuente con la calcopirita. La bismutinita se encuentra muy asociada a la arsenopirita. La poca presencia de arsenopirita hace que el concentrado de Cobriza sea muy comerciable por la escasa contaminación que ocasiona el arsénico. La calcopirita ocurre como capas milimétricas, disseminaciones y en venillas

ambas asociadas principalmente a la pirrotita. Se muestra como inclusiones y bordeando en coronas a la pirrotita y pirita, también presentan texturas de asociación con la arsenopirita y poco frecuente con la esfalerita ferrífera. La esfalerita ferrífera (I) ocurre en cristales anhedrales formando texturas de exsolución dentro de concreciones de calcopirita (I), también forma texturas de emulsión con la calcopirita, en otros sectores está acompañando a la ganga. En otros casos se aprecia a la esfalerita (II) que contiene como inclusión a la pirrotita y calcopirita y se hallan muy asociadas en la parte interna del manto principalmente al diópsido. La pirita se presenta de dos tipos: hipógena de grano grueso, se encuentra asociado a la pirrotita y supérgena de grano fino reemplazando a la pirrotita.

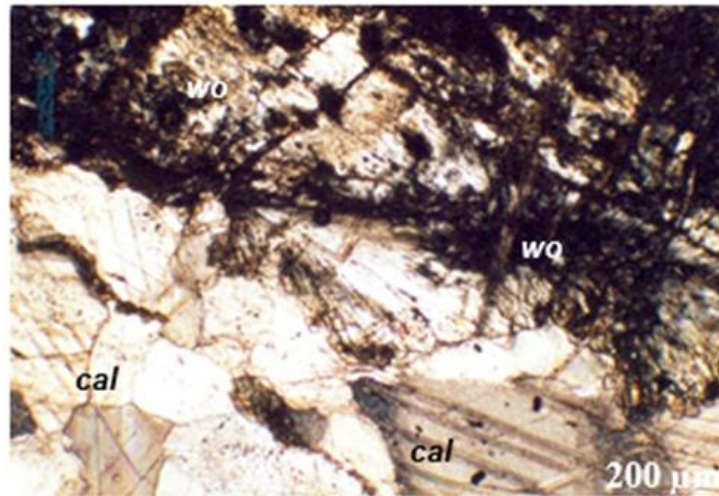
En la fase final de esta etapa se desarrollan vetas y venillas mineralizadas, las cuales interceptan el manto y a las zonas adyacentes al mismo en varias direcciones. Entre la zona de contacto caja piso y la zona hornfésica, se desarrollan venillas milimétricas a centimétricas de cuarzo-calcopirita-pirita-arsenopirita, que tienen un direccionamiento casi paralelo a los planos de estratificación y otros las cortan en varias direcciones.

En la zona de hornfels principalmente por debajo del contacto caja piso y muy esporádico cortando al manto mineralizado se tienen vetas de 10 - 20 cm polimetálicas con contenido de cuarzo, siderita, calcita, baritina, esfalerita, galena argentífera, tetraedrita, calcopirita-pirita-arsenopirita. Estas vetas polimetálicas muestran un direccionamiento casi paralelo a las capas de estratificación y muy esporádicas en direcciones N-S y E-W principalmente en las zonas externas del horizonte mineralizado (dolomitización y brechas). Las fallas-diques de composición andesítica de rumbo N-S y NE-SW se encuentran, rellenas con mineralización de sílice masiva acompañados de cristales subhedrales de rejalgar y oropimente.

En la zona de óxidos ocurre la formación de limonitas principalmente goethitas, en menor grado carbonatos y sulfatos de cobre malaquita – azurita, brocantita-calcantita, cuprita y cobre nativo estos dos últimos se encuentran en fracturas con arcillas, óxidos de fierro y manganeso.

Figura 67

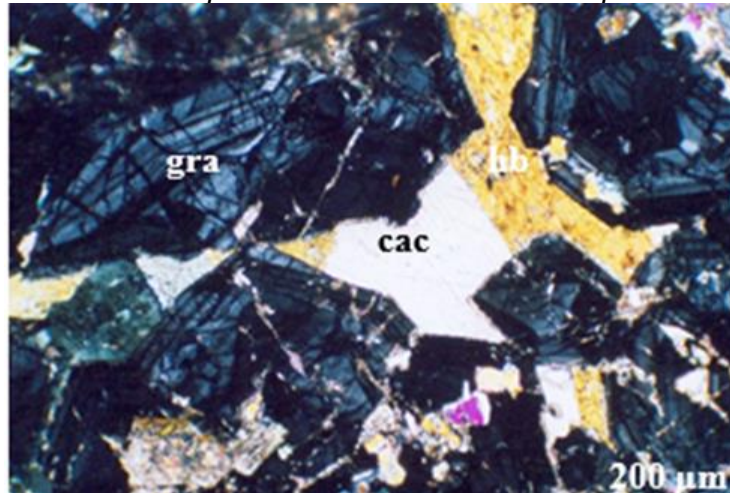
En la parte inferior se observa cristales gruesos de calcita con sus típicos clivajes en rombos, y en contacto hacia la parte superior se tiene formas hemirradiales de wollastonita Wo.



Nota: Unidad Minera Cobriza Doe Run Perú.

Figura 68

Nivel 00, sección 3,450, cota 2,000m. Caja techo. Los espacios intergranulares de los granates que se observan en la parte central están rellenos por horblendas y calcita.



Nota: Unidad Minera Cobriza Doe Run Perú.

3.5.3 Macro y micro plegamiento

Como consecuencia de los esfuerzos tectónicos durante la fase Tardihercínica que dieron lugar al levantamiento de los sedimentos del Paleozoico Superior en la Cordillera Oriental, la estructura local de rumbo general NW-SE está conformada principalmente de varios pliegues, siendo el anticlinal de Coris la estructura principal del área de Cobriza.

El anticlinal de Coris es la estructura predominante del área, su eje pasa cerca de los pueblos de Coris, Pampalca y Carhuancho con un buzamiento de 15° en ambos

extremos. Este anticlinal, el más oriental, forma conjuntamente con otros anticlinales y sinclinales, un anticlinal regional con charnela plegada y flancos simples vistos en sección transversal al eje del mismo, es definido como un pliegue simple, abierto, vertical y asimétrico, esta asimetría es debido a su corta longitud del flanco occidental y gran longitud del flanco oriental, el mismo que tiene un rumbo $N45^{\circ}W$ con buzamientos 40° NE y 35° SW. En el flanco NE se ubica el horizonte calcáreo bandeado con plegamiento subsidiario (microplegamiento) tal como se aprecia en la fig. 37, donde se emplaza el manto mineralizado de Cobriza y el manto Torrepatá en el horizonte dolomítico el cual ocupa la parte media del flanco. En el sector del manto donde ocurren este tipo de microplegamientos tales como los kink chevron se aprecia un notable incremento del contenido de mineral de calcopirita, lo que conlleva. En el flanco NW se emplaza el horizonte Jampato de similar mineralización que el manto Cobriza, albergando mayor cantidad de relictos de mármol recristalizado.

Capítulo IV. Análisis e interpretación de resultados

4.1 Control estructural

El Grupo Copacabana del Paleozoico Superior fue afectado por la tectónica de compresión de la fase Tardihercínica, cuya deformación se caracteriza por plegamientos y levantamiento en bloques a lo largo de fallas de rumbo NNW-SSE, tal como se observa en la figura 70. La mayor concentración metálica podría estar relacionada a la orientación de las zonas de falla-dique siendo los conductos mineralizantes que interceptan con el fracturamiento y planos de estratificación del horizonte calcáreo. Localmente se ha definido dos sistemas de fallamientos de eventos pre mineralización.

Fallamiento Pre-Skarn y Post Skarn.

El fallamiento pre-skarn; es el más antiguo y de acortamiento NE – SW, incluye fallas inversas de bajo ángulo, fallas conjugadas y fallas de tensión transversal. El fallamiento post-skarn es un conjunto de fallas con un acortamiento NE-SW incluye a las fallas inversas longitudinales de gran ángulo las cuales conforman los principales canales de mineralización del distrito, fallas de cizalla del tipo falla-dique Frida las mismas que se muestran rellenadas con material brechado, material ígneo de composición diorita-andesita con manchas y cristales de rejalgam, oropimente y cuarzo, que posiblemente son soluciones residuales de fluidos mineralizantes que han ascendido desde zonas muy profundas; por último se tiene fallas normales longitudinales de bajo ángulo, tienen un desplazamiento normal de 5 a 10 metros. Agrupa a fallas más recientes del distrito tales como la falla Rosa, Cobriza, Huaribamba, Carhuancho entre otras fallas.

Sistema de Fracturamiento - Fallamiento.

Después del intenso plegamiento se desarrollaron fracturamientos de cizalla de rumbo generalmente NE-SW en el área de Coris, sin embargo, en el área de Pumagayoc se tiene dos sistemas NE y NW. Este conjunto de fracturas a través de los dominios litológicos del área, conjuntamente con los sistemas de fallamientos, representan la

fracturación más importante del distrito y ejercieron un fuerte control en la posición de vetas, vetillas y en el emplazamiento de diques.

4.2 Control estratigráfico

El Grupo Tarma está constituido por lutitas de color marrón a negras, finamente estratificadas e intercaladas con lutitas calcáreas, margas, horizontes de calizas y en menor proporción lentes de areniscas. Estos sedimentos alrededor del yacimiento han sido sometidos a un metamorfismo regional producto del intenso plegamiento e intrusiones graníticas, generando lutitas pizarrosas.

Lutitas Pizarrosas.

En el yacimiento Cobriza, tanto la caja piso como la caja techo están conformados por hornfels, esta roca no cuenta con mineralización alguna debido a su composición de limos y arcillas, actuando como un escudo para el paso de fluidos hidrotermales que conllevaría a la ocurrencia de mineralización.

Caliza.

La caliza de composición cálcica magnesiana, es el principal metalotecto para la formación de este yacimiento, han favorecido la formación de mineralización. El primer estadio es fundamental por la formación de la marmolización con un posterior metasomatismo que lo convierte a skarn, siendo esta roca la más favorable para albergar la mineralización, la porosidad del mármol se ha formado durante el metamorfismo por el escape de los gases volátiles de CO₂ y H₂O. La mineralización económica se alberga en las Calizas Cobriza, el cual ocurre como reemplazamiento metasomático en toda la potencia del horizonte calcáreo en forma de manto, cuyas características estratigráficas del horizonte original se mantienen en el manto mineralizado.

4.3 Control litológico

Se describe la litología del horizonte calcáreo del Grupo Tarma, ya que presenta alteraciones, variaciones físicas y químicas que determinan la ocurrencia de mineralización. Caliza, es la roca primaria, que no ha sufrido cambio físico o químico. Mármol, roca metamórfica compacta formada a partir de la roca caliza que sometidas a

elevadas temperaturas y presiones alcanzan un alto grado de cristalización, tal como se observa en la figura 69. Dolomitización, es una roca intermedia de transición entre el mármol y el skarn. De igual forma la mineralización es más intensa en el contacto con la roca skarn y va disminuyendo la intensidad conforme se acerca al contacto con el mármol. Skarn, roca conformada por granates, que se han alterado a hornblenda, actinolita y clorita, ocurriendo en esta roca la deposición de la mineralización del manto Cobriza.

Figura 69

Se observa el paquete sedimentario marmolizado del Grupo Copacabana, visualizado gracias a la erosión del río que pasa en la quebrada Pampa Molino.



Nota: Fotografía tomada por Rubén Tinco O (2018)

Figura 70

Plegamiento de las calizas del Grupo Copacabana, provocada por fallas de rumbo NNW-SSE. Labores aledañas a la quebrada Pampa Molino realizada por mineros artesanales.



Nota: Fotografía tomada por Rubén Tinco O (2018)

4.4 Control físico químico

De acuerdo a Valdez (1982) los cambios físico-químicos, tales como diferenciación y concentración de iones metálicos, descenso de temperatura y presión, entre otros han

controlado la precipitación de las soluciones hidrotermales posterior a la formación del skarn. Los comportamientos claros y definidos de la distribución metálica y cocientes metálicos son evidencias claras de la importancia del factor químico. Evidentemente, este factor no varía independientemente, es función de fugacidad, temperatura y presión, todos ellos conducen a un equilibrio físico-químico que definen los límites de la mineralización. La distribución metálica y cocientes metálicos muestra la evolución y migración de los fluidos hidrotermales a partir de un foco, inicialmente han precipitado en condiciones de alta temperatura los minerales pirita, pirrotita, calcopirita y marmatita, conforme iban ascendiendo las soluciones se ha precipitado más calcopirita en venillas y pirita, marmatita y galena con sulfosales (tetraedrita – tenantita) en condiciones de baja temperatura hacia las partes más externas en donde en algunos tramos la estructura mineral se estrangula debido a que la zona era frígida y que las soluciones mineralizantes llegaron muy tarde cuando las rocas calentadas inicialmente por el metamorfismo se han enfriado muy rápidamente, lo cual es más común en las zonas marmolizadas, dolomitizadas y con baritina.

4.5 Control mineralógico

En el yacimiento Cobriza los sulfuros se depositan en el skarn, lo que sugiere la existencia de controles de deposición química y texturales de los minerales del skarn sobre las soluciones hidrotermales. Los silicatos cálcico-magnesianos, piroxenos, granates y wollastonita son reemplazados por soluciones hidrotermales mineralizantes con la consiguiente formación de pirrotita, calcopirita, marmatita, pirita, galena.

Granates.

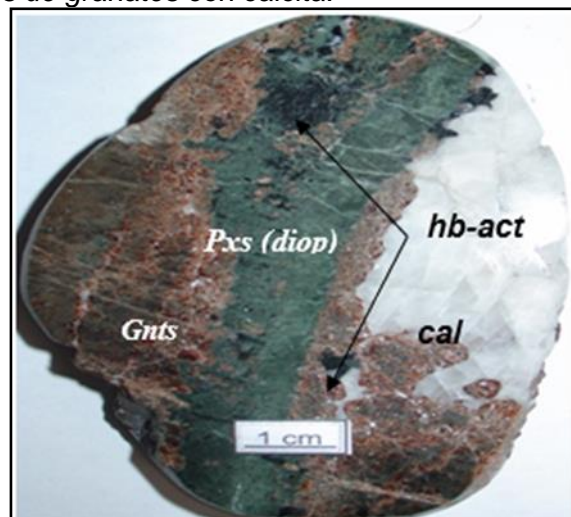
Formados en la primera etapa o etapa de skarnización, por acción de fluidos derivados de alguna fuente magmática a temperaturas de 400°C - 600°C, las cuales se canalizaron a través de fallamientos profundos, fracturas, contactos sedimentarios, diques pre-skarn y otras zonas de permeabilidad, interceptando el horizonte calcáreo a través de los planos de estratificación y fracturas.

Hornblenda - Actinolita.

Son los minerales más abundantes en el yacimiento Cobriza, siendo minerales secundarios producto de la acción de la alteración retrógrada de los granates que se dio en el Manto Cobriza en forma pervasiva. La alteración retrograda, además de la hornblenda y actinolita deja otros minerales en menor cantidad los cuales se pueden agrupar como hidrosilicatos, tal como se muestra en la figura 71.

Figura 71

Muestra tomada del Nivel 00, sección 3,450, cota 2,000 m. caja techo; la muestra presenta intercalaciones de dos tipos de facies, una de color verde de grano medio compuesta por minerales de Pxs con parches de anfíboles, la otra presenta un color marrón rojizo constituida por cristales de granates con calcita.



Nota: Fotografía tomada por Rubén Tinco O (2018)

Pirrotita.

La pirrotita reemplazó casi todo el skarn, principalmente las zonas de diópsido. La pirrotita ocurre en forma masiva dispuesta en playas y xenomórfica, asociados a minerales principalmente calcopirita, marmatita, arsenopirita en distintas formas.

Calcopirita.

Representa el sulfuro de mayor importancia económica en el skarn Cobriza, se emplaza mayormente en la zona intermedia con mayor concentración hacia la caja piso del Manto, asociado principalmente a la pirrotita. En secciones pulidas se observan calcopiritas masivas reemplazando mayormente a la pirrotita y pirrita, menos

frecuentemente asociado a la arsenopirita y marmatita. La plata se encuentra en solución sólida dentro de la calcopirita.

Siderita – Fluorita – Marmatita – Galena.

Aparece como vetillas que cortan el manto transversalmente y pegados a la caja piso, manteniendo la estratificación y rumbo del manto Cobriza. Estas vetillas tienen como mineral predominante a siderita y como agregados la fluorita, marmatita, galena, calcopirita. Este conjunto de minerales en forma de vetillas se hace más predominante en el extremo sur del área de Pumagayoc, y se deposita dentro de la dolomitización, siendo indicador del límite de mineralización de cobre en el yacimiento Cobriza, tal como se muestra en la figura 72.

Figura 72

Mineralización de calcopirita, marmatita, siderita y sericita en pseudoestratos, manteniendo la estratificación de las calizas Cobriza. Ensamble característico del extremo sur de Pumagayoc



Nota: Fotografía tomada por Rubén Tinco O (2018)

Pirita.

Con mayor ocurrencia en la zona de dolomitización, este mineral se presenta en forma cúbica con cristales de tamaño pequeño a medianos,

La pirita que aparece en forma de diseminación muy leve dentro del mármol es de origen sin-genético, es decir que ha sido depositado como sedimento junto con los carbonatos que conforman las calizas, y sometidos a presión y temperatura producto del

metamorfismo hace que se reagrupen y formen pequeños cristales cúbicos, como se observa en el mármol.

La pirita es un indicador de los últimos fluidos hidrotermales que se encuentran en las etapas terminales del magma causante de la mineralización en el Manto Cobriza, por lo tanto, es un indicador del límite de la mineralización de Cu en el extremo sur del yacimiento.

Esfalerita – Galena.

Este ensamble se encuentra dentro de una pseudo-brecha, compuesta por clastos de skarn y matriz de calcita con contenidos de esfalerita y galena, teniendo mayor ocurrencia por debajo de la cota 1,700 en el extremo sur de Pumagayoc, aumentando el contenido metálico de Zn, Pb y Ag, tal como se aprecia en la figura 74 y figura 76.

Figura 73

Mineralización de sericita y siderita en pseudoestratos con incrustaciones de arsenopirita cúbica. Correspondiente al área de Pumagayoc.



Nota: Fotografía tomada por Rubén Tinco O (2018)

Figura 74

Venillas de marmatita, siderita, calcita y diseminaciones de pirita, éstas emplazadas entre el manto y la caja piso (hornfels).



Nota: Fotografía tomada por Rubén Tinco O (2018)

Figura 75

Rejalgar con cristales subhedrales emplazados en fallas transversales al manto Cobriza.



Nota: Fotografía tomada por Rubén Tinco O (2018)

Figura 76

Mena de plata en mineral de galena argentífera, mineralización del extremo sur de Pumagayoc.



Nota: Fotografía tomada por Rubén Tinco O (2018)

Figura 77

Mineralización de magnetita en pseudoestratos con concreciones de calcita y Hornblenda en cristales subhedrales.



Nota: Fotografía tomada por Rubén Tinco O (2018)

4.6 Interpretación metalogenética

Se tiene diferentes interpretaciones sobre el origen del yacimiento, una de las interpretaciones más generalizada es la relación estratoligada-estratiforme de origen sedimentario, caracterizado por las estructuras primarias y texturas típicas de sedimentación como estratificación fina, bandeamiento definido entre los diferentes minerales componentes del manto. Según Dalmayrac et al.(1988), otra interpretación del origen es la de sulfuros masivos de origen vulcanogénico, que se caracteriza por la distribución de facies volcánicas en la cuenca del Pensilvaniano, que abarcaron hasta las proximidades de la que hoy es el yacimiento Cobriza, siendo el vulcanismo el posible responsable de la mineralización, en la que hubo una emisión de iones metálicos que fue continuo durante casi todo el tiempo en que se emplazaron los sedimentos del Grupo Tarma y Copacabana. Finalmente, los últimos estudios están demostrando que podría tratarse de un yacimiento del tipo Skarn, es así Valdez (1982) consideran que es un skarn distal.

Soler (1,991) y Kontak (1985) señalan que el distrito minero de Cobriza, ubicado en la Cordillera Oriental Hercínica, en las calizas Cobriza del Grupo Tarma, es un rift ensiálico tardío a la deformación Hercínica, en coincidencia con el emplazamiento de intrusiones androgénicas.

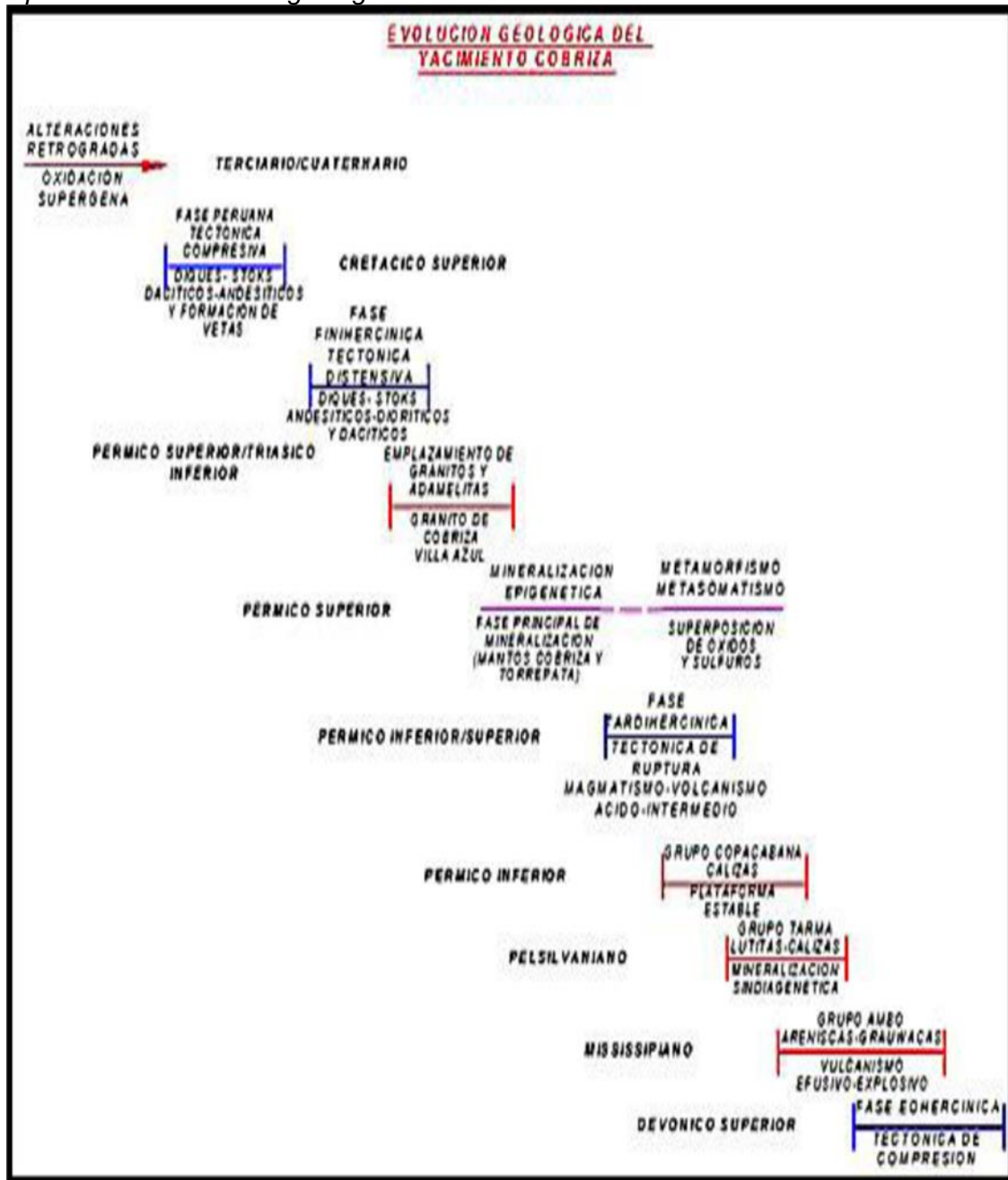
En los alrededores del yacimiento Cobriza se observan deformaciones corticales, tales como plegamientos y fallamientos, dichos eventos han participado de una u otra forma en la formación del depósito. La mineralización del manto Cobriza es de cobre, plata, bismuto y en menor grado zinc y plomo, asociado a granates-piroxenos, cuya génesis estaría muy relacionada a la de un yacimiento tipo metasomatismo de contacto skarn cálcico -magnésiano, estratiforme con sulfuros masivos; esto indica la introducción temprana de Mg, Fe, Al y Si a las calizas Cobriza por los fluidos hidrotermales. Se considera tres fases de alteración – mineralización en Cobriza, que se muestra en la figura 79.

4.6.1 Fase metamórfica e isoquímica

Esta fase es equivalente a la formación de la zona potásica-propilítica, desarrollada por el calentamiento de las rocas encajonantes por efecto de la energía termal de los intrusivos del Paleozoico Superior infrayacentes con poco o nada de introducción de componentes químicos. El agua es derivada de las intrusiones y de la infiltración oceánica y el CO₂ de los componentes calcáreos; las características de este evento en el manto Cobriza incluyen una zona de mármol con wollastonita y calizas marmolizadas actualmente remanentes emplazadas hacia las partes más externas del horizonte calcáreo y hornfels hacia los contactos de la caliza con las lutitas pizarrosas, tal como se muestra en la Figura 78.

Figura 78

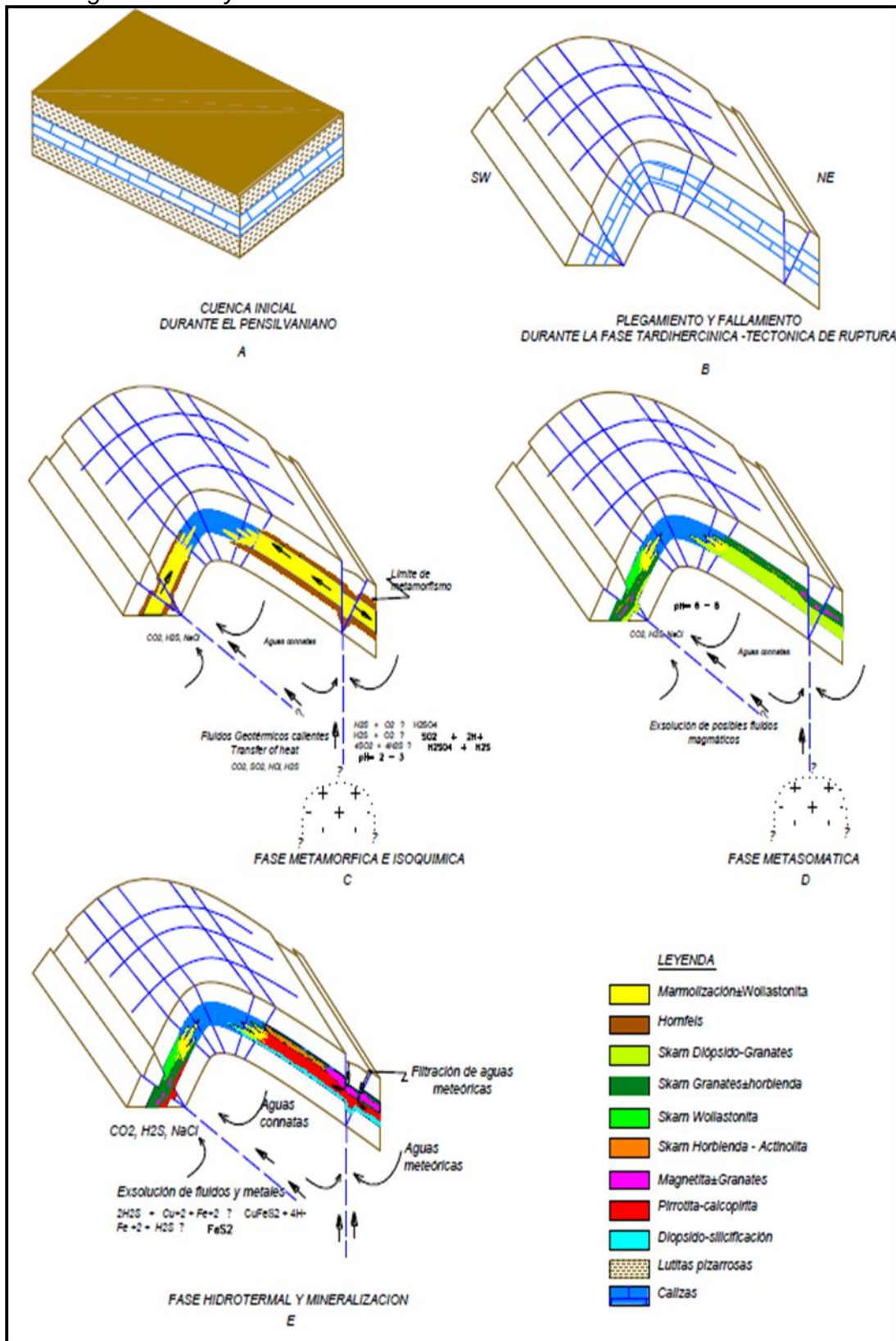
Esquema de la evolución geológica del manto Cobriza.



Nota: Valdez (1982).

Figura 79

Evolución genética del yacimiento Cobriza.



Nota: Centromín Perú (1995).

4.6.2 Fase metasomática

El evento metasomático se caracteriza por la mezcla o intercambio de Si, Al y Fe (Fe₂O₃ y FeO) proveniente de las posibles intrusiones infrayacentes y de las aguas de infiltración oceánica con CO₂, Ca y Mg derivado de los sedimentos calcáreos. Las aguas de infiltración oceánica calentadas por acción de los intrusivos infrayacentes contribuyeron a la formación de las celdas de convección hidrotermal, cuyos fluidos lixiviaron los metales de los minerales sindiagenéticos de las capas más profundas del Grupo Tarma y los depositaron en los horizontes calcáreos superiores más permeables del horizonte Cobriza. Los fluidos mineralizantes ascendieron a lo largo de fallas, fracturas, contactos sedimentarios, diques y sills pre – skarn y otras zonas de permeabilidad. Este evento está caracterizado por la presencia de granates y piroxenos. El zoneamiento de los granates de color marrón – rojizos indicaría que la fuente es proximal; también se observan granates de color marrón a claros llegando a tonalidades verdosas en la zona de mármol que indicaría las partes distales o bordes del yacimiento. En cambio, el color de los piroxenos es menos pronunciado, pero típicamente refleja un progresivo incremento en hierro y/o manganeso hacia el frente de mármol. Los calcosilicatos piroxenos y granates formados en esta etapa indican que los fluidos han sido bastante salinos y son de alta temperatura (más de 400°C).

Se considera que el ambiente de formación es profundo, debido a la deformación de las rocas huésped, que muestra una deformación dúctil más que por fracturamiento, considerando que el skarn se ha formado a lo largo de los planos de estratificación.

4.6.3 Fase hidrotermal y mineralización

Esta fase se caracteriza por el reemplazamiento de minerales anhidros prógradados a fases de minerales hidratados tales como hornblenda, actinolita, cloritas, epidota y biotitas, con la consiguiente formación de óxidos (magnetita) y sulfuros (pirrotita, esfalerita ferrífera, pirita y calcopirita), esto refleja la lixiviación de calcio y la introducción de volátiles. El evento retrógrado se forma en un ambiente en los cuales la temperatura declina y la composición de los fluidos llega a ser dominados por aguas meteóricas y oxigenadas.

Probablemente $\frac{3}{4}$ partes de cobre fueron depositados en esta etapa. La presencia de calcopirita, pirrotita y arsenopirita como sulfuros principales, indican que la presión parcial de azufre es relativamente baja por tanto conforman un ambiente reductor y es de esperarse que la esfalerita generalmente tenga altos contenidos de fierro, por lo que estos depósitos no son tan atractivos económicamente como yacimientos de zinc. En la alteración y mineralización retrógrada también precipita calcopirita en las vetas y vetillas constituyendo tal vez $\frac{1}{4}$ del total del cobre. Además, incluye venillas y vetas de calcopirita, pirita, arsenopirita, galena argentífera, tetraedrita, marmatita-esfalerita, siderita, cuarzo, estibina y cuarzo.

4.7 Zoneamiento metálico del manto Cobriza zona Pumagayoc

El manto Cobriza es notablemente predecible en términos de leyes, escasamente se encuentran partes del manto sin mineralización alguna. Es importante resaltar que el zoneamiento metálico es completamente distintivo en el manto Cobriza Área Pumagayoc, variando de acuerdo a la profundidad, aumentando en concentraciones de marmatita, galena argentífera y calcopirita; que lleva a tratar no sólo concentrados de Cu, sino concentrados de Zn, Pb y Ag, que podría ser favorable para los ingresos económicos de la mina, pudiendo convertirse en una mina polimetálica. Los valores de plata en todo el manto Cobriza son de 15 gr/Tm, aumentando considerablemente en la profundización sur de Pumagayoc llegando a 50 gr/Tm. La ley de Zn en la marmatita se incrementa a más del 2%, dentro del ensamble galena argentífera, marmatita, pirita, cuarzo y siderita.

4.8 Recopilación y análisis de datos

Los datos tales como mapeos geológicos para el presente trabajo fueron extraídos de las estructuras, estratigrafía y mineralogía, que en conjunto forman los controles de mineralización.

4.8.1 Mapeo geológico del extremo sur de Pumagayoc

El mapeo se efectuó tomando en cuenta estructuras, mineralogía, litología, y estratigrafía; desde el nivel 28 Sur hasta el nivel -130; se detalla de norte a sur.

Labor 20-5190 S Nivel 28 Pumagayoc

- Estructuras: Se observa fallas transversales al manto Cobriza post skarnización, y una de mayor importancia, que ocasiona micro plegamiento a los pseudoestratos con rumbo y buzamiento de N45°E, 20°NW respectivamente, que limita el primer estadio de mineralización del skarn. Adicionalmente se observan fallas longitudinales al manto Cobriza que se formaron en la etapa de pre-skarnización.
- Litología: De norte a sur se observa skarn con alteración retrógrada, seguida de una dolomitización, mármol blanquecino, caliza gris oscuro.
- Mineralogía: En el sector norte se tiene inicialmente interbandeamiento de pirrotita con calcopirita con leyes mayores a 3% Cu dentro del skarn siderita-marmatita-fluorita, en este sector se observa una gran presencia de venillas de galena argentífera con leyes mayores a 50gr/t. En la parte central, se tiene matriz de dolomitización con diseminación intensa de pirita y calcopirita. En la parte sur (extremo sur y fin del yacimiento) se tiene una dolomitización en contacto gradacional con el mármol donde sólo se observan venillas milimétricas con halos de alteración de granates y una débil diseminación de pirita singenética dentro del mármol.

Labor 20-5180 S Nivel 28 Pumagayoc

- Estructuras: Fallas transversales al manto Cobriza, post skarnización; en este sector también se observa a la falla transversal al manto de N45°E, 20°NW que genera un fuerte corrugamiento a los pseudoestratos. Adicionalmente se tiene fallas longitudinales a la caja techo que mejora la mineralización de calcopirita a este sector.
- Litología: Inicialmente se tiene skarn con alteración retrógrada, en la parte central se tiene una dolomitización, y finalmente en el extremo sur se tiene mármol blanquecino y caliza gris oscuro.
- Mineralogía: En el sector norte se tiene matriz de skarn siderita-marmatita-fluorita con diseminaciones de pirrotita con calcopirita con leyes mayores a 3% Cu, es en

este sector donde la mineralización de galena argentífera aumenta a leyes mayores a 50gr/t y la presencia de marmatita aumenta con respecto a niveles superiores. En la parte central se tiene dolomitización con disseminación intensa de pirita con moderada presencia de calcopirita disseminada. En la parte sur se tiene el contacto gradacional de la dolomitización con el mármol donde sólo se observan venillas milimétricas con halos de alteración de granates con una muy débil disseminación de pirita singenética dentro del mármol.

Labor -130-5250 S Nivel -130 Pumagayoc

- Estructuras: Se observa fallas transversales al manto Cobriza, post skarnización, y la presencia de la falla de N45°E, 20°NW.
- Litología: En el sector norte se tiene skarn con alteración retrógrada, en la parte central se tiene una dolomitización, y finalmente en el extremo sur se tiene mármol blanquecino y caliza gris oscuro.
- Mineralogía: Se tiene un notable aumento de la mineralización de galena argentífera, calcopirita y marmatita, llegando a leyes de 50 gr Ag/t, 3% y 5% respectivamente; con mayor abundancia hacia la caja piso. En la parte central del manto se tiene mineralización de dolomitización con disseminación intensa de pirita con moderada presencia de calcopirita. Hacia el extremo sur se tiene el contacto gradacional de la dolomitización con el mármol.

Los mapeos geológicos al detalle muestran una geología repetitiva en todos los niveles del extremo sur de Pumagayoc, llegándose a ser repetitivo desde el nivel 28 Sur hasta el nivel -130 Sur. La presencia del mármol y de la falla de N45°E, 20°NW indican el límite y finalización que alcanzó el metasomatismo en el yacimiento Cobriza, la mineralización sólo se da dentro del skarn; el mármol actuando como un escudo que imposibilita que los fluidos alteren o mineralicen la roca, el contacto entre el mármol y la caliza indica el límite del metamorfismo.

4.8.2 Logueos geológicos y leyes de taladros diamantinos

Para efecto de este trabajo se han considerado los siguientes taladros diamantinos: C04-2013, OP16-2014, OP17-2014, C10-2011, C11-2011 que se utilizaron para investigar y explorar la profundización del área de Pumagayoc entre los años 2011 a 2014, años en los que participé como integrante del área de geología.

- **Taladro C04-2013:**

Este taladro enviado de caja techo a caja piso desde el extremo sur de Pumagayoc, describe la geología típica del yacimiento Cobriza, iniciando con pizarra, mineralización de hornblenda, actinolita, disseminaciones de pirrotita, calcopirita, gradando en concentración de Cu de caja techo a caja piso, de menos a más respectivamente; con gran presencia de galena argentífera hacia la caja techo, teniendo la caja piso las mejores concentraciones de Cu.

- **Taladro OP16-2014:**

Es el taladro de exploración más profundo llegando a la cota 1800 m.s.n.m. Lanzado de caja techo a caja piso. Este taladro muestra información muy importante, ya que corta mármol hacia la caja techo, continúa el skarn con interbandeamiento de hornblenda-actinolita y pirrotita con disseminación moderada de calcopirita, se nota una considerable reducción de la concentración de Cu, Zn y Ag, que puede llevar a la conclusión que el taladro atravesó el posible límite de mineralización de cobre en el extremo sur de Pumagayoc.

- **Taladros OP17-2014, C10-2011, C11- 2011:**

Estos taladros cortan y evidencian un considerable cambio mineralógico. Hacia la caja techo se observa un interbandeamiento de vetillas de siderita y marmatita con galena argentífera en disseminaciones y en concreciones, reemplazando los intersticios dejados por la ausencia de calcopirita y pirrotita. Cabe resaltar que es en esta zona del extremo sur de Pumagayoc donde existe considerable aumento de leyes de marmatita y galena argentífera, que probablemente usaron a la falla de N45°E, 20°NW como conducto para poder mineralizar al manto Cobriza de Zn y Ag.

4.9 Propuesta de ingeniería

La necesidad de la profundización en el área Pumagayoc del yacimiento Cobriza, requiere de tener certeza de cómo se encuentra la mineralización de Cu en este sector, ya que se debe elaborar el diseño de la infraestructura para la extracción del mineral. Se realizó el estudio del manto Cobriza en el sector Pumagayoc, desde el nivel 0 hacia los niveles -180 y -200, con el objetivo de definir el sentido de mineralización en el área, utilizando controles geológicos de mineralización como el control estructural, estratigráfico, litológico, físico-químico y mineralógico.

En la vista longitudinal de la figura 86 del sector Pumagayoc, se observa la presencia de una falla (sin nombre) con rumbo y buzamiento $N45^{\circ}E$, $20^{\circ}NW$ respectivamente, transversal al manto, que zonifica el límite de mineralización en la profundización de Pumagayoc, que ha sido identificada desde el nivel 10 Sur, pero no se le ha dado la relevancia del caso.

Se ha incidido en el estudio minucioso de la estructura en el extremo sur de Pumagayoc para definir el sentido de mineralización, ya sea con mapeos geológicos, muestreos, secciones transversales y longitudinales. Se ejecutó una campaña de perforación diamantina en el área de Pumagayoc con el objetivo de corroborar el comportamiento de la falla, véase Anexo.

4.10 Estimación de reservas

La información de la Estimación de Recursos Minerales, ha sido registrada en tarjetas diseñadas en la División Cobriza, de tal manera que muestran la información básica utilizada para los cálculos. La estimación de recursos minerales se ha realizado considerando las normas existentes de cubicación y el conocimiento geológico que se tiene del yacimiento.

4.10.1 Reservas probadas y probables

La estimación de Reservas de Mena de la División Cobriza del área de Pumagayoc para el 2016 se totalizó en 10, 531,930 con un ancho minable de 7.97, una ley de Cu de 1.13% y una ley de Ag de 21.97 gr Ag/t, tal como se muestra en la tabla 6.

Tabla 6*Reservas probadas y probables para el año 2016*

CLASE	T.M.S	ANCHO	%Cu	gr Ag/tm
Probado	9, 859, 140	8.07	1.14	21.94
Probable	672, 790	6.82	1.01	22.43
TOTAL	10, 531, 930	7.97	1.13	21.97

Nota: Rubén Tinco O (2018).

Las reservas corresponden a las áreas de Pumagayoc, probadas, probables, accesibles y eventualmente accesibles con valores superiores a la ley mínima de corte 0.79% Cu. En la tabla 7 se tiene el historial de las reservas desde el año 2005, teniendo en cuenta la ley de corte, costo de producción y precio de los metales.

Tabla 7*Evolución de las reservas minerales Unidad Minera Cobriza*

RESERVAS MINERALES DIVISIÓN COBRIZA			
AÑO	T.M.S.	% Cu.	gr Ag/tm
2005	9,173,780	1.34	17.86
2006	10,106,230	1.28	16.29
2007	13,279,180	1.19	15.38
2008	13,911,170	1.23	16.2
2009	16,616,520	1.17	16.81
2010	17,709,620	1.07	16.58
2011	18,409,690	1.01	17.06
2012	20,552,500	1.09	22.32
2013	20,822,130	1.14	21.72
2014	19,529,120	1.08	22.38
2015	19,763,140	1.03	21.32
2016	10,531,930	1.13	21.97

Nota: Rubén Tinco O (2018)

Con la información proporcionada por las campañas de perforación ejecutadas hasta el año 2014, se generaron y cubicaron reservas. Estos datos han sido calculados en base a la interpretación geológica, estructural y perforación diamantina realizados en mina. Según los datos obtenidos el área de Pumagayoc se ha convertido en el principal punto de explotación y exploración de la mina Cobriza, logrando así aumentar los recursos y las reservas del yacimiento, (véase tabla 8).

Tabla 8*Reservas generadas por perforación diamantina*

EXPLORACIÓN, DESARROLLO, PERFORACIÓN DIAMANTINA Y CUBICACIÓN				
AÑO	EXPLORACIÓN DESARROLLO (m)	PERFORACIÓN DIAMANTINA (m)	CUBICACIÓN (T.M.S)	% Cu
2,004	1 840	0	181,877	1.1
2,005	3 850	0	95,397	1.05
2,006	3 246	4,295	1,058,685	1
2,007	2 404	9,435	1,000,000	1.04
2,008	5 501	6,124	2,100,000	1
2,009	2 479	1,124	854,000	1.08
2,010	4,075	9,098	470,000	1.03
2,011	5,563	4,329.90	2,994,589	1.15
2,012	5,370	2,299.70	2,163,383	1.18
2,013	6,037	3,541	2,790,420	1.1
2,014	5,285	3249	1,732,794	0.95
2,015	9,864	0	998,000	0.95

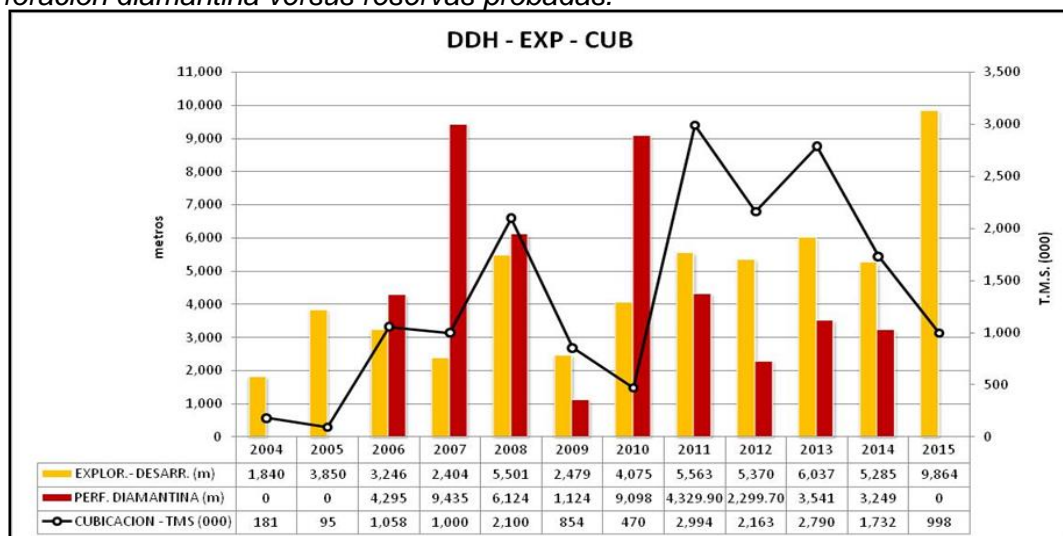
Nota: Centromín Perú.

Con los taladros ejecutados en DDH C04-2013, DDH OP14-2014, DDH OP15-2014, DDH OP16-2014, DDH OP17-2014, DDH C11-2011, que cortaron al manto Cobriza, Área Pumagayoc, se realizó la cubicación de reservas, (véase figura 80 hasta figura 85).

- 2013: Se ejecutaron 3,541 metros de perforación diamantina, que llevo a generar 2, 790,000 TM de reservas probadas.
- 2014: Se ejecutaron 3,249 metros de perforación diamantina, que llevo a generar 1, 732,000 TM de reservas probadas.

Figura 80

Perforación diamantina versus reservas probadas.



Nota: Rubén Tinco O (2018).

Teniendo en cuenta los costos operativos y los ingresos por parte de la mina Cobriza se tiene la siguiente tabla de flujo de caja.

Tabla 9

Flujo de caja de ingresos y costos de producción.

LEY DE CORTE					
	2013	2014	2015	2016	2021
Cu ctvsUS\$/lb	261.06	305.35	341.09	207.52	250
Ag ctvs/Onz Ag	1,068.00	1,316.91	1,575.72	1,337.56	1,425.00
Tonelaje/Día	4,926	5,408	6,135	5,264	5,450
Tonelaje/Año	1,798,001	1,974,030	2,245,428	1,921,481	1,989,250
%Cu (Cabeza)	0.51	0.45	0.54	0.78	0.64
Ag gr/ton (Cabeza)	5.92	5.24	6.29	9.05	7.42
% Recuperación (Cu)	94.04	93.77	93.77	94.12	93.7
% Recuperación (Ag)	58	55.41	55.41	64.7	64
%Cu (Concentrado)	22.93	22.93	22.5	23.02	23.5
grAg/tn (Concentrado)	164.05	147.38	154.23	183.52	186.19
Concentrado Toneladas	37,607	38,921	50,720	61,294	50,762
Fino de Cobre	8,623	8,925	11,412	14,107	11,929
INGRESOS US\$ (000)	45,967	55,942	80,094	56,883	57,629
COSTO PRODUCCIÓN US\$ (000)	43,676	53,939	78,007	53,763	55,450
GANANCIAS US\$ (000)	2,291	2,003	2,087	3,120	2,179

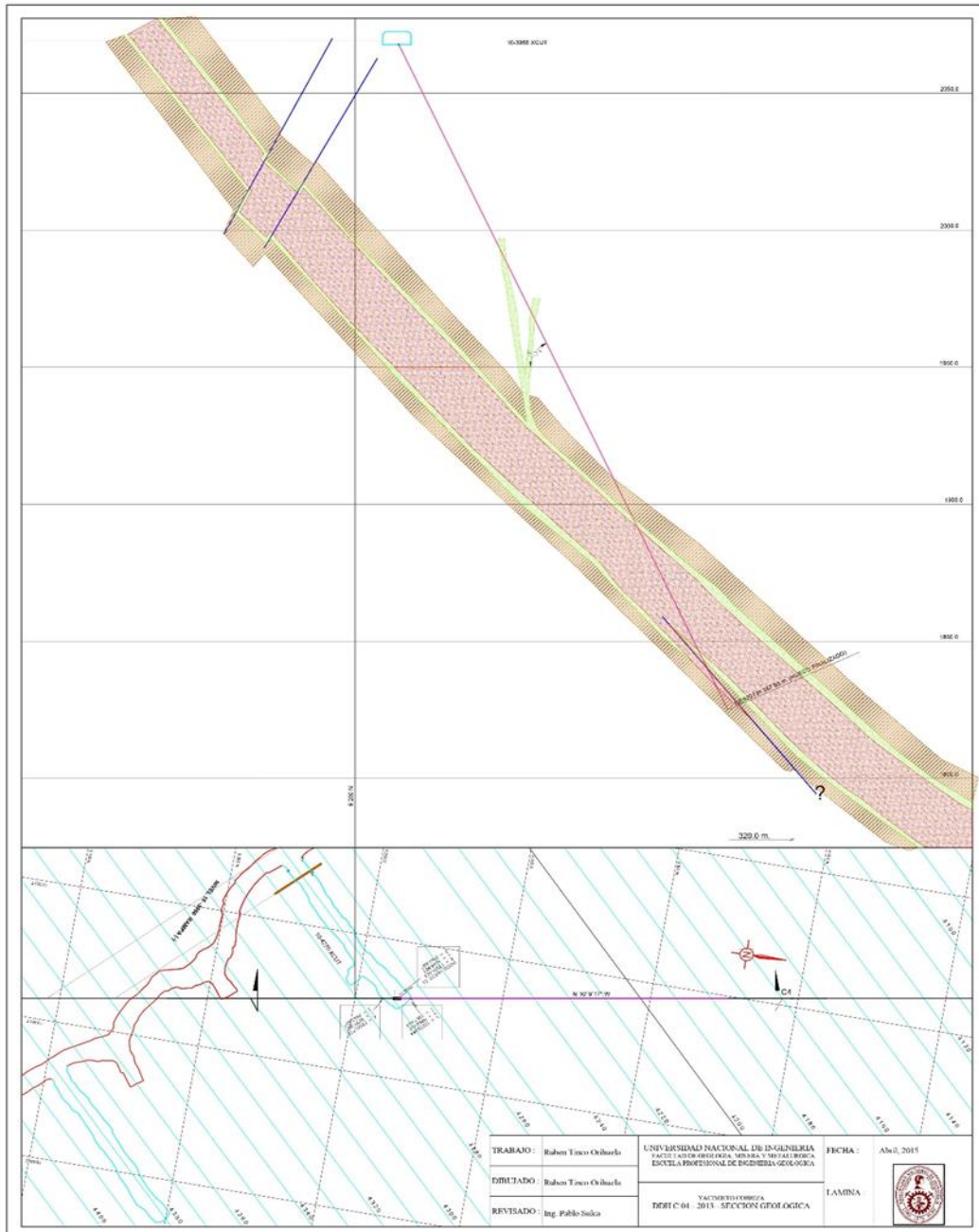
Nota: Doe Run Perú.

Se ejecuta el taladro DDH C04-2013 desde la sección 4,280, con un ángulo de 30°, cuyo objetivo es determinar la continuidad de la mineralización del manto Cobriza en el

extremo sur de Pumagayoc, cuyos resultados reflejan un notable incremento del contenido de plata, 102.97 gr/t y con una ley de cobre de 1.453 % Cu.

Figura 81

Sección transversal geológica DDH C04-2013.

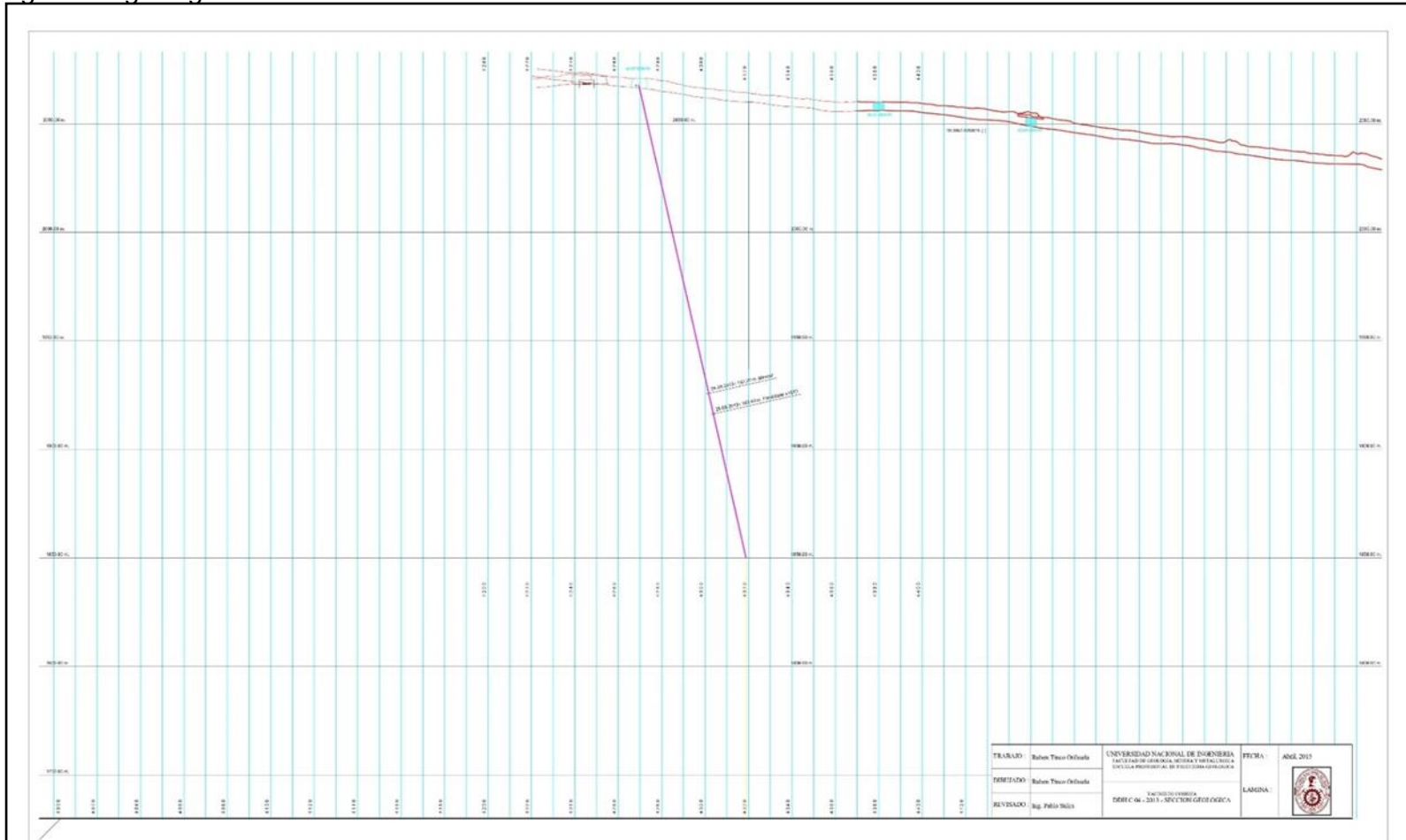


Nota: Rubén Tinco O (2018)

El taladro DDH C04-2013 fue paralizado debido a que se encontró una zona kárstica con abundante agua termal, siendo la cota final los 1,900 m.s.n.m., no llegando a la Caja piso de la estructura, sin embargo, arroja excelentes valores de contenido metálico de Cu y Ag a la caja techo.

Figura 82

Sección longitudinal geológica DDH C04-2013

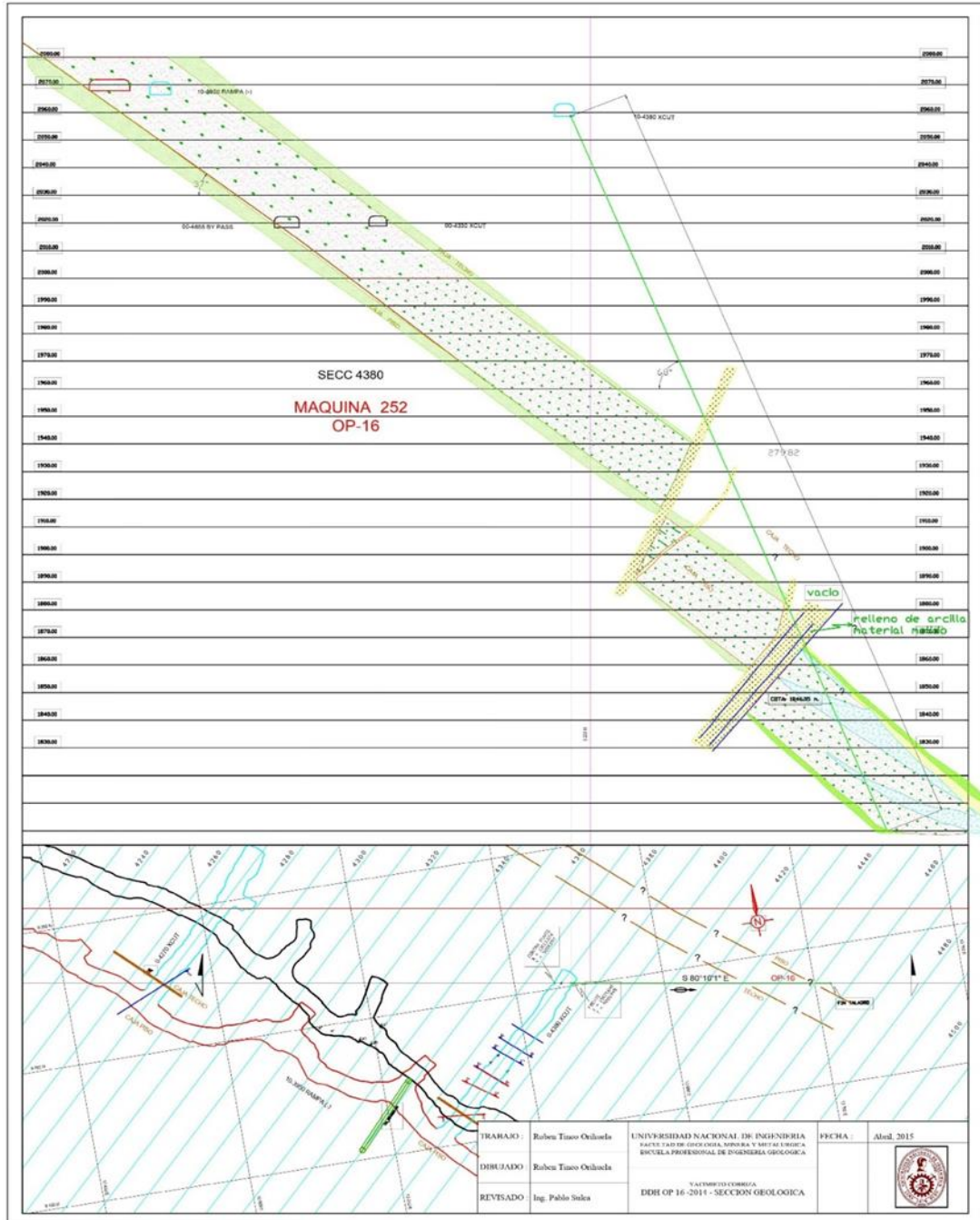


Nota: Rubén Tinco O (2018)

Se envía el taladro OP 16-2014 cuyo resultado arrojó contenidos de Cu mayores hacia la caja techo 1.00% Cu, y menores hacia la caja piso 0.80% Cu. El contenido metálico de Zn es mucho menor.

Figura 83

Sección transversal geológica DDH OP16-2014.

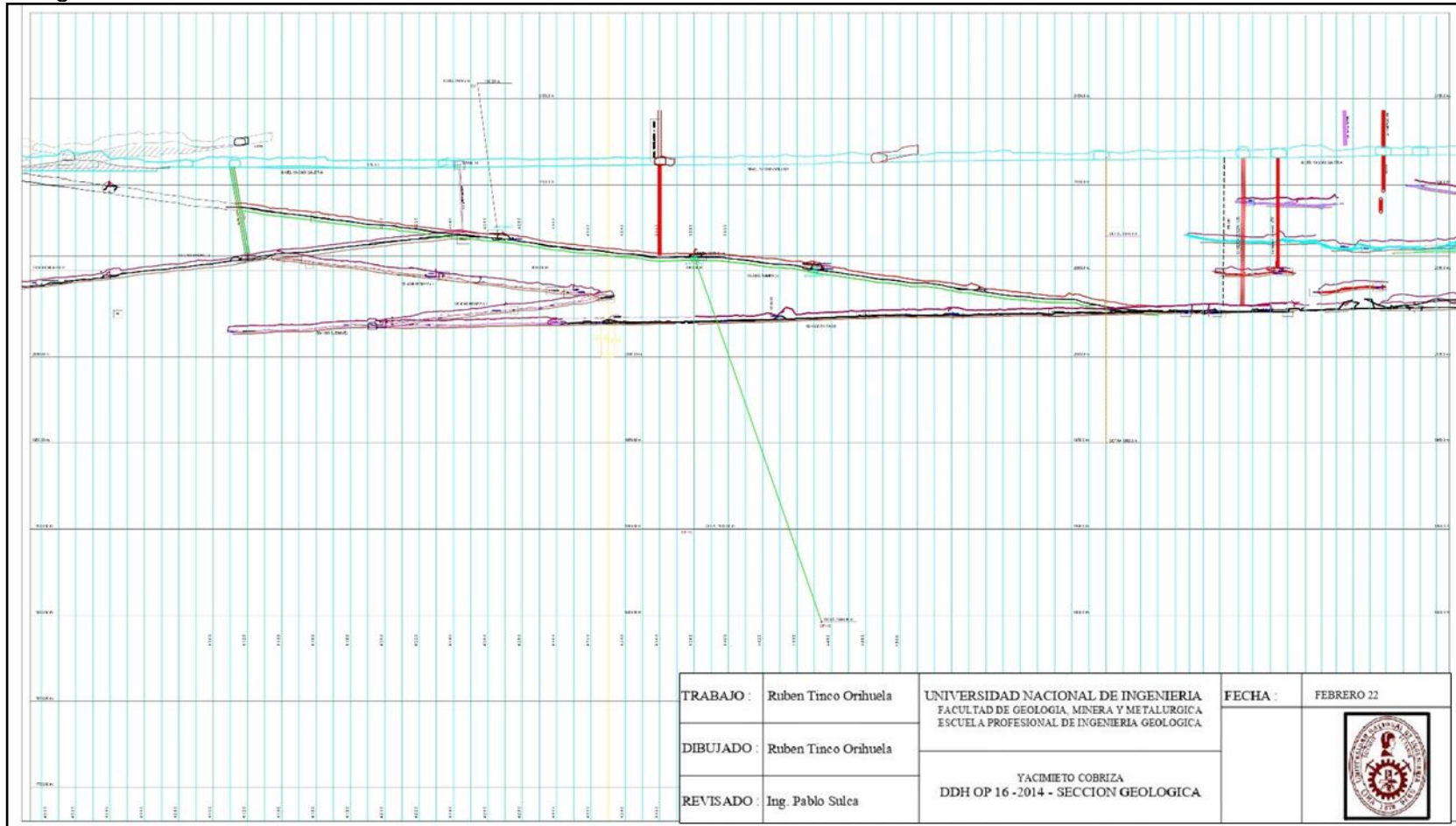


Nota: Rubén Tinco O (2018)

Se tiene la sección longitudinal del taladro DDH OP 16-2014 cuya cota final del taladro es los 1,846.05 m.s.n.m.

Figura 84

Sección longitudinal DDH OP16-2014.

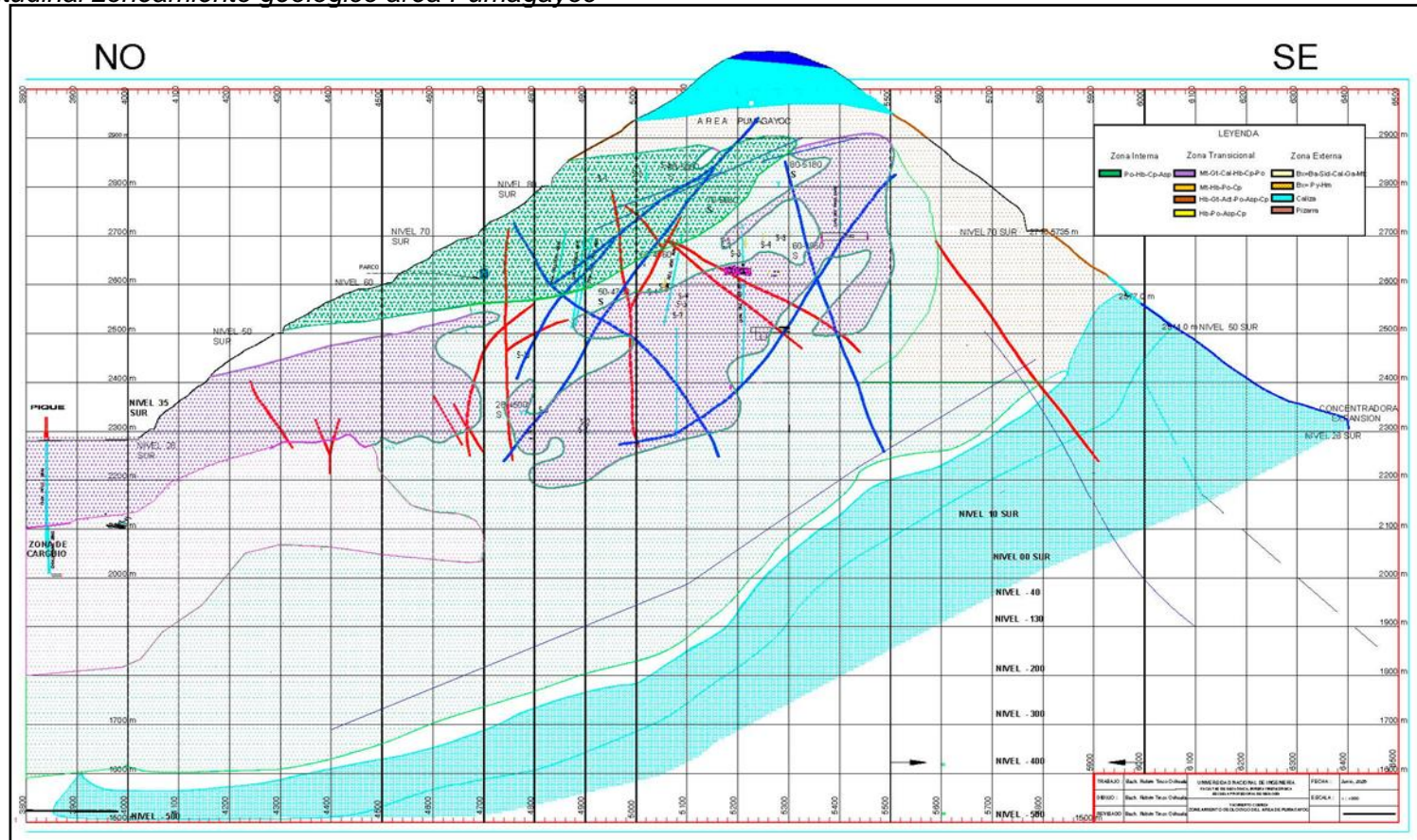


Nota: Rubén Tinco O (2018)

Se observa la falla transversal (sin nombre) al manto Cobriza, visualizándose el zoneamiento de la Brecha de baritina, siderita, calcita, galena y marmatita; hacia el sur se observa la marmolización, seguida de las calizas Cobriza

Figura 85

Sección longitudinal zoneamiento geológico área Pumagayoc



Nota: Rubén Tinco O (2018).

Conclusiones

El yacimiento Cobriza desde el punto de vista epigenético correspondería al modelo skarn distal: cuerpo intrusivo-pizarras-calizas-mármol-manto Cobriza-pizarra-calizas. Se ha discutido también un posible origen epigenetisimo debido a que la mineralización ocurrió durante la formación de las rocas sedimentarias; sin embargo, se deben considerar otros factores, ya que algunos yacimientos presentan un enriquecimiento secundario o epigenético después de su formación inicial.

La reinterpretación geológica de la franja mineralizada para el yacimiento Cobriza en el área de Pumagayoc, indica que tiene una forma anticlinal tumbada hacia el sureste, que ha sido corroborado con la perforación diamantina y ratificó el modelo inferido que se tenía inicialmente.

El yacimiento Cobriza posee diferentes controles geológicos que definen los límites de mineralización de cobre, que son de carácter estructural, estratigráfico, litológico, físico – químico y mineralógico; siendo el control mineralógico el más relevante, ya que hacia la caja piso existe mayor concentración de Cu por la presencia de venillas de cuarzo-calcita-arsenopirita-calcopirita-esfalerita, éstas fueron conductos estructurales que enriquecieron la mineralización de Cu. Por otro lado, hacia la caja techo existe una mineralización del tipo hidrotermal de siderita-marmatita-galena-pirita-calcopirita, que podría corresponder a un último evento.

La falla transversal de N45°E, 20°NW ubicada en el extremo sur de Pumagayoc es uno de los conductos de mineralización de Zn-Ag-Cu de edad terciaria; lo que enriqueció notablemente al mencionado sector, y es en este sector en donde se visualiza la litología típica de los yacimientos tipo skarn donde se aprecia la litología que marcan el límite que alcanza el metasomatismo y la mineralización del yacimiento.

Recomendaciones

Se recomienda continuar con la perforación diamantina por debajo de la cota 1800 m.s.n.m., teniendo en cuenta el nuevo modelo del yacimiento Cobriza, como se aprecia en la propuesta de la Figura 85.

Efectuar una evaluación económica geometalúrgica y geominera, para el tratamiento metalúrgico y explotación del Zn y Ag que se presenta en marmatita y galena argentífera respectivamente, que conllevaría a hacer modificaciones en la planta concentradora, para poder convertirse en minería polimetálica.

La compañía Operadores Concentrados del Perú (OCP) es el nuevo administrador de la mina Cobriza, la cual finiquitó la compra en el año 2024 y generó la inversión para la reactivación de ésta, en actual operación.

Ejecutar nuevas investigaciones petrominerográficas incluyendo termometría, espectrometría y otras necesarias, para definir mejor el análisis del cambio mineralógico y origen del Zn y Ag.

Ejecutar un mapeo geológico al detalle de los alrededores de la zona de influencia del Manto Cobriza y Manto Pumagayoc. Aprovechando la información del laboreo de los mineros artesanales, se puede generar una mejor interpretación y un nuevo programa de perforación diamantina que ayuden a la exploración de nuevas estructuras mineralizadas.

Referencias bibliográficas

- Bateman, A. (1978). *Yacimientos minerales de rendimiento económico*, (3ª ed.). México: Ediciones Omega.
- Botín, J. (2019). *Gestión de riesgo en decisiones de inversión minera: un enfoque global*. Boletín Geológico y Minero, 14. doi:10.21701/bolgeomin.130.1.005
- Burt, D. (1969). *Informe Interno Cerro de Pasco Copper Corporation*. Cerro de Pasco Copper Corporation.
- CENTROMIN PERÚ, (1995). *Gerencia de Operaciones Mineras, Planeamiento a Mediano y Largo Plazo U.P. Cobriza 1995-2000*. Centromín Perú Copper Corporation.
- Chauvet, A. (2019). *Structural Control of Ore Deposits: The Role of Pre-Existing Structures on the Formation of Mineralised Vein Systems*. CNRS-UMR 5243, Géosciences Montpellier, University of Montpellier, cc 60, 34095 Montpellier CEDEX 5, France
- Dalmayrac, B. Laubacher, G & Marocco, R. (1988). *Caracteres Generales de la Evolución Geológica de los Andes Peruanos*, INGEMMET. Boletín, Serie D: Estudios regionales; N° 12
- Davis, G. & Reynolds, S. (1996). *Structural Geology of Rocks and Regions*, 3rd Edition, Wiley
- Doe Run Perú. (2010). Informe Técnico Doe Run Perú. Doe Run Perú S.A.
- Eggert, R. (2010). *Mineral Exploration and Development: Risk and Reward, Division of Economics and Business* Colorado School of Mines Golden, Colorado.
- INGEMMET. (1996). *Boletín N° 72 Serie A: Carta geológica Nacional*, Hoja: 26-ñ. 142 p.
- INGEMMET. (1996). *Boletín N° 72, Geología del Cuadrángulo de Huanta*, Hoja 26-ñ. 84 p.
- Kobe, H., (1963). *Informe Interno Cerro de Pasco Copper Corporation*. Cerro de Pasco Copper Corporation.
- Kontak, D., Clark, A., Farrar, E. y Strong, D. (1985).- *The rift-associated permo-Triassic magmatism of the Eastern Cordillera: a precursor to the Andean orogeny, in:*

- Pitcher, W. S., Atherton, M. P., Cobbing, E. J. & Beckinsale, R. D., Magmatism at a plate edge. The Peruvian Andes. Glasgow, Blackie and Son Ltd. P.36-44.*
- Lawrence, M. (2005). *Skarns and skarn Deposits, Geoscience World, Society of Economic Geologists*. Recuperado de <https://doi.org/10.5382/AV100.11>
- Macharé, J. (2018). *Análisis estructural aplicado a la exploración de recursos minerales*. International Association for promoting geoethics.
- McClay, K. (1991). *The mapping of geological structures*, 1st ed. K. Cox (ed.) Handbook Series, John Wiley & Sons, Chichester.
- Megard, F. (1979). *Estudio Geológico de los Andes del Perú Central*. Ingeomin, 8(Serie D.) 227.
- Megard, F. (1973). *Etude Géologique d' une transversale des Andes au niveau du Pérou central*. (Sc.D. thesis) Université de Montpellier.
- Megard, F. y Paredes, J. (1972). *Mapa Geológico del Cuadrángulo de Huanta*. Servicio de Geología y Minería del Perú. Inédito
- Megard, F. Noble, D. y Bellon, H. (1984). *Multiple pulses of Neogene compressive deformation in the Ayacucho intermontane basin, Andes of central Perú*. Geological Society of America Bulletin, p.1108-1117.
- Newell, N. et al 1953; Megard, F. (1979). *Geología del Cuadrángulo de Huanta*, p.51.
- Paytan, M. (1980). *Proyecto: Desarrollo de capacidades para el ordenamiento territorial en el departamento de Huancavelica*. Gobierno Regional de Huancavelica. Recuperado de:http://geoservidorperu.minam.gob.pe/geoservidor/Archivos/Mapa/Huancavelica/Memoria_Descriptiva_Geologia.pdf
- Quispe, J. (2006). *Características estructurales e isótopos de plomo de las mineralizaciones auríferas de la Franja Huaytará-Tantará, Huancavelica (Perú)*. Tesis Maestría. Universidad Politécnica de Madrid, Red DESIR.
- Requejo, L. (20 febrero 2020). *Doe Run Perú, cronología de la minera que paraliza al 100% sus operaciones, tras 11 años de crisis*. El Comercio.

<https://elcomercio.pe/economia/peru/doe-run-peru-cronologia-de-los-hechos-que-marcaron-el-historial-de-la-empresa-minera-complejo-metalurgico-la-oroya-minem-noticia/?ref=ecr>

- Rivera, A. Huamán, A. Antúnez de Mayolo, E. y Kobe, E. (1989). *Manto Cobriza: Mineralización estratoligada y estratiforme en los sedimentos de Grupo Tarma*, Boletín de la Sociedad Geológica del Perú, Vol. 79, p.23-32
- Rivera, A. y Huamán, M. (1984). *Informe Interno Centromín Perú*. Centromín Perú S.A.
- Smirnov V. (1986), *Geology of Mineral Deposits*, Editorial Mir-Moscú Vol. I p. 55-60, p.75-90
- Soler, P. (1991). *Contribution a l'etude du magmatisme associe aux marges actives-petrographie, geochimie et geochimie isotopique du magmatisme cretace a pliocene le long d'une transversale des Andes du Perou central-implications geodynamiques et metallogeniques*. These de Docteur es-Sciences, Academie de Paris, Universite Pierre et Marie Curie, France. P.845
- Valdez, M. (1982). *Alteración y Mineralización Hidrotermal del Manto Cobriza – Mina Cobriza, 1982*. Boletín, Sociedad Geológica del Perú.

Anexos

	Pág.
Anexo 1: Leyes promedio del Taladro C04-2013.Tomado de Informe Técnico Doe Run Perú (2013)	1
Anexo 2: Leyes promedio del Taladro OP14-2014. Tomada de Informe Técnico Doe Run Perú (2014).	2
Anexo 3: Leyes promedio del Taladro OP15-2014. Tomada de Informe Técnico Doe Run Perú (2014).	3
Anexo 4: Leyes promedio del Taladro OP16-2014. Tomada de Informe Técnico Doe Run Perú (2014)	4
Anexo 5: Leyes promedio del Taladro OP17-2014. Tomada de Informe Técnico Doe Run Perú (2014)	5
Anexo 6: Leyes promedio del Taladro C10-2011. Tomada de Informe Técnico Doe Run Perú (2011)	6
Anexo 7: Leyes promedio del Taladro C11-2011. Tomada de Informe Técnico Doe Run Perú (2011)	7
Anexo 8: Leyes promedio del Taladro C14-2011. Tomada de Informe Técnico Doe Run Perú (2011).	8
Anexo 9: Logueo geológico taladro diamantino DDH LM CO-01-2016. Hoja 1. Perforación diamantina ejecutada por la empresa Redrilsa.	9
Anexo 10: Logueo geológico taladro diamantino DDH LM CO-01-2016. Hoja 2. Perforación diamantina ejecutada por la empresa Redrilsa	10
Anexo 11: Logueo geológico taladro diamantino DDH LM CO-01-2016. Hoja 3. Perforación diamantina ejecutada por la empresa Redrilsa.....	11

Anexo 1: Leyes promedio del Taladro C04-2013.Tomado de Informe Técnico Doe Run
Perú (2013)

TALADRO C 04 - 2013									
From	To	Longitud	Sample ID	%Cu	Ag(gr/Tm)	%Zn	%Bi	%Pb	%As
195.1	195.7	0.6	30246	0.031	3	0	0.01	<0.001	0.07
195.7	197.34	1.64	30247	0.675	93	0.09	0.188	0.001	0.01
197.34	198.25	0.91	30248	0.845	273	1.585	10.1	<0.001	0.11
198.25	199.65	1.4	30249	0.755	72	0.043	0.246	<0.001	0.08
199.65	200.7	1.05	30250	0.324	101	0.382	6.4	0.006	0.57
200.7	201.65	0.95	30251	0.638	164	1.38	11.75	<0.001	0.12
201.65	202.1	0.45	30252	0.529	49	0.213	1.645	0.001	0.38
202.1	203.6	1.5	30253	0.487	15	0.018	0.252	0.021	0.01
203.6	205	1.4	30254	0.376	3	0	0.015	0.001	<0.01
205	206.5	1.5	30255	0.652	2	0	0.009	<0.001	0.02
206.5	208.1	1.6	30256	0.366	1	0	0.007	0.001	0.01
208.1	209.7	1.6	30257	0.374	2	0	0.007	0.016	<0.01
209.7	211.3	1.6	30258	0.29	1	0	0.005	0.047	0.02
211.3	212.25	0.95	30259	0.314	1	0	0.005	0.059	0.01
212.25	212.8	0.55	30260	0.494	2	0	0.006	0.018	0.01
212.8	214.4	1.6	30261	0.492	<1	0	0.004	0.013	0.01
214.4	215.55	1.15	30262	0.595	2	0	0.004	<0.001	0.32
215.55	215.9	0.35	30263	1.921	7	0	0.008	<0.001	0.03
215.9	217.5	1.6	30264	0.852	2	0	0.005	0.001	0.34
217.5	219.1	1.6	30265	0.435	2	0	0.004	0.013	0.02
219.1	220.6	1.5	30266	0.321	1	0	0.007	0.063	0.03
220.6	222.35	1.75	30267	0.317	2	0	0.007	0.02	0.25
222.35	223.8	1.45	30268	0.885	5	0	0.006	0.064	0.34
223.8	225.3	1.5	30269	0.827	5	0	0.006	0.017	0.8
225.3	226.9	1.6	30270	0.849	3	0	0.006	0.044	0.92
226.9	228.5	1.6	30271	0.8	4	0	0.006	0.152	0.22
228.5	229.45	0.95	30272	0.764	3	0	0.007	0.216	0.07
229.45	230.75	1.3	30273	0.746	4	0	0.008	0.097	0.01
230.75	231.95	1.2	30274	0.811	6	0	0.01	0.112	0.31
231.95	233.1	1.15	30275	7.198	100	0	0.373	0.017	1.75
233.1	234.2	1.1	30276	4.654	67	0	0.231	0.016	0.42
234.2	235.8	1.6	30277	0.851	10	0	0.024	0.027	0.46
235.8	236.2	0.4	30278	9.351	143	0.001	0.553	0.092	1.84
236.2	238.1	1.9	30279	8.578	131	0	0.494	0.423	3.19
238.1	239.4	1.3	30280	1.495	24	0	0.075	0.15	3.33
239.4	240.7	1.3	30281	0.973	15	0.001	0.041	0.377	5.24
240.7	242.1	1.4	30282	4.904	64	0.001	0.197	0.043	0.78
242.1	243	0.9	30283	0.718	10	0.002	0.027	0.051	1.45
243	244.4	1.4	30284	0.161	2	0.002	0.014	0.001	0.02
249.6	250.3	0.7	30285	0.292	3	0.002	0.021	0.004	0.17
250.3	251.45	1.15	30286	0.977	11	0.002	0.018	0.061	1.44
251.45	252.05	0.6	30287	1.164	10	0	0.01	0.063	1.56
252.05	252.6	0.55	30288	0.507	5	0.002	0.008	0.062	2.09
252.6	254.2	1.6	30289	0.732	7	0.001	0.017	0.061	3.2
254.2	254.8	0.6	30290	1.339	14	0.002	0.03	0.044	0.11
254.8	255.7	0.9	30291	0.309	3	0.004	0.027	<0.001	0.02
255.7	256.7	1	30292	0.654	8	0.007	0.044	0.004	0.27

PROMEDIO PONDERADO					
Cu	Ag	Zn	Bi	Pb	As
1.453	102.297	0.441	3.651	0.005	0.143

Anexo 2: Leyes promedio del Taladro OP14-2014. Tomada de Informe Técnico Doe Run Perú (2014).

TALADRO OP 14 - 2014									
From	To	Longitud	Sample ID	%Cu	Ag(gr/Tm)	%Zn	%Bi	%Pb	%As
67.65	67.95	0.3	30534	0.14	7	0.021	<0.001	0.007	0.05
67.95	68.25	0.3	30535	1.73	266	6.75	0.01	0.781	0.04
68.25	70.25	2	30536	0.479	22	0.043	0.002	0.008	0.11
70.25	72.15	1.9	30537	0.494	2	0.016	0.005	0	1.06
72.15	73.4	1.25	30538	2.537	24	0.122	0.02	0.001	13.3
73.4	75	1.6	30539	1.949	19	0.111	0.019	0.006	14.9
75	76.5	1.5	30540	1.475	15	0.086	0.025	0.007	6.26
76.5	78.1	1.6	30541	1.281	15	0.156	0.021	0.044	11
78.1	79.75	1.65	30542	3.148	44	0.362	0.067	0.549	10.55
79.75	81.15	1.4	30543	0.392	2	0.012	0.004	<0.001	0.22
81.15	82.45	1.3	30544	0.663	5	0.034	0.001	0.03	0.27
82.45	82.85	0.4	30545	0.112	3	0.029	<0.001	0.23	0.44
82.85	84.25	1.4	30546	0.865	4	0.018	0.01	0.019	0.02
84.25	85.8	1.55	30547	0.835	4	0.012	0.001	<0.001	0.09
85.8	87.4	1.6	30548	0.619	3	0.009	0.002	0.002	0.02
87.4	88.95	1.55	30549	0.618	2	0.013	0.005	<0.001	0.01
88.95	89.85	0.9	30550	0.88	4	0.024	0.007	0.001	0.3
89.85	90.6	0.75	30551	0.743	4	0.012	0.011	0.46	0.49
90.6	91.5	0.9	30552	0.702	4	0.061	0.011	0.228	0.47
91.5	92.5	1	30553	0.625	3	0.023	0.008	0.003	0.14
92.5	94	1.5	30554	0.908	5	0.015	0.012	<0.001	0.12
94	95.5	1.5	30555	1.146	5	0.016	0.021	<0.001	1.01
95.5	97	1.5	30556	0.646	3	0.009	0.003	<0.001	0.12
97	98	1	30557	0.835	7	0.019	0.003	<0.001	0.05
98	98.7	0.7	30558	0.533	6	0.028	0.006	0.001	0.2
98.7	100.6	1.9	30559	1.912	22	0.046	<0.001	<0.001	0.22
100.6	101.9	1.3	30560	0.065	3	0.01	0.053	0.005	2.27
101.9	103	1.1	30561	0.036	<1	0.014	0.004	<0.001	0.08
103	104.45	1.45	30562	0.042	1	0.018	0.006	<0.001	0.11

PROMEDIO PONDERADO					
Cu	Ag	Zn	Bi	Pb	As
1.539	26.025	0.292	0.021	0.106	7.382
0.899					0.220

Anexo 3: Leyes promedio del Taladro OP15-2014. Tomada de Informe Técnico Doe Run Perú (2014).

TALADRO OP 15 - 2014									
From	To	Longitud	Sample ID	%Cu	Ag(gr/Tm)	%Zn	%Bi	%Pb	%As
153.5	154.05	0.55	30563	0.039	4	0.174	0	0.055	0.01
154.05	156.05	2	30564	0.177	48	0.024	0	0.016	0.04
156.05	156.4	0.35	30565	0.058	2	0.009	0	0	0
156.4	157.45	1.05	30566	0.756	68	0.06	0.002	0.024	0.14
157.45	159.15	1.7	30567	0.079	6	0.042	0	0.01	0.01
159.15	160.6	1.45	30568	0.561	58	0.522	0	0.016	0.01
160.6	160.8	0.2	30569	0.05	16	0.226	0.003	0.093	3.99
160.8	162.8	2	30570	1.074	205	0.313	0.029	0.346	13.15
162.8	164.35	1.55	30571	1.547	322	0.241	0.042	0.419	12.4
164.35	164.7	0.35	30572	0.636	76	0.056	0.003	0.03	2.39
164.7	165.35	0.65	30573	3.538	622	0.914	0.054	1.01	17.4
165.35	166	0.65	30574	1.923	233	0.375	0.017	0.339	9.43
166	166.1	0.1	30575	2.277	186	0.837	0	0.189	0.54
166.1	167.7	1.6	30576	2.661	259	0.433	0.003	0.165	1.45
167.7	169.1	1.4	30577	0.933	126	0.043	0.005	0.097	4.09
169.1	170.6	1.5	30578	0.955	107	0.216	0.006	0.061	2.78
170.6	172.1	1.5	30579	2.147	216	0.067	0.003	0.056	4.41
172.1	174.2	2.1	30580	6.385	588	0.625	0	0.094	0.04
174.2	174.5	0.3	30581	0.706	72	0.09	0	0.635	0.16
174.5	176.5	2	30582	1.282	119	0.148	0.001	0.03	0.01
176.5	178.4	1.9	30583	1.6	146	0.198	0.001	0.026	0.02
178.4	179.1	0.7	30584	1.239	121	0.117	0	0.032	0.7
179.1	180.7	1.6	30585	0.926	69	0.072	0.016	0.007	2
180.7	182.3	1.6	30586	1.379	113	0.056	0.012	0.028	0.37
182.3	183.9	1.6	30587	1.529	205	0.638	0.01	0.11	2.31
183.9	184.6	0.7	30588	0.738	66	0.059	0.02	0.009	0.99
184.6	184.95	0.35	30589	0.13	35	3.61	0.011	0.029	1.04
184.95	185.5	0.55	30590	0.776	41	0.467	0.001	0.077	0.97
185.5	187.1	1.6	30591	0.72	5	0.015	0.001	<0.001	1.48
187.1	188.7	1.6	30592	0.681	2	0.015	0.001	<0.001	1.19
188.7	190.3	1.6	30593	0.465	1	0.017	0.001	<0.001	0.45
190.3	192.3	2	30594	0.827	8	0.035	0.011	<0.001	1.18
192.3	194.4	2.1	30595	0.641	5	0.04	0.014	0.056	0.83
194.4	195.9	1.5	30596	0.597	4	0.01	0.104	0.001	1.76
195.9	197.4	1.5	30597	1.066	11	0.033	0.014	<0.001	0.28
197.4	198.9	1.5	30598	1.136	15	0.039	0.066	<0.001	4.92
198.9	200.5	1.6	30599	1.098	15	0.031	0.031	<0.001	1.52
200.5	201.7	1.2	30600	1.344	23	0.06	0.034	<0.001	2.96
201.7	203.5	1.8	31001	9.068	175	0.311	0.018	<0.001	5.17
203.5	204.3	0.8	31002	2.083	50	0.069	0.182	<0.001	28.8
204.3	205.4	1.1	31003	0.83	19	0.053	0.024	<0.001	3.1

PROMEDIO PONDERADO					
Cu	Ag	Zn	Bi	Pb	As
1.636	118.832	0.334	0.018	0.139	2.982

Anexo 4: Leyes promedio del Taladro OP16-2014. Tomada de Informe Técnico Doe Run Perú (2014)

TALADRO OP 16 - 2014									
From	To	Longitud	Sample ID	%Cu	Ag(gvTm)	%Zn	%Bi	%Pb	%As
213.50	215.00	1.50	31067	0.012	0	0.004	<0.001	<0.001	0.01
215.00	216.40	1.40	31068	0.644	1	0.012	0.002	<0.001	0.03
216.40	218.60	2.20	31069	0.343	1	0.009	<0.001	<0.001	0.01
218.60	220.25	1.65	31070	1.149	3	0.013	0.001	<0.001	0.05
220.25	222.70	2.45	31071	1.041	3	0.009	0.002	0.001	<0.01
222.70	224.40	1.70	31072	1.191	3	0.013	0.001	0.001	<0.01
224.40	225.90	1.50	31073	0.72	1	0.01	<0.001	0.001	<0.01
225.90	227.15	1.25	31074	1.162	3	0.012	0.001	<0.001	<0.01
227.15	229.10	1.95	31075	0.78	3	0.011	<0.001	0.002	<0.01
229.10	230.30	1.20	31076	0.396	1	0.012	<0.001	0.001	<0.01
235.85	237.10	1.25	31077	0.011	0	0.006	0.001	0.001	<0.01
237.10	238.15	1.05	31078	0.083	1	0.008	0.002	0.001	<0.01
238.15	238.50	0.35	31079	0.418	1	0.008	0.002	0.001	<0.01
238.50	240.50	2.00	31080	0.968	3	0.007	0.001	<0.001	0.21
240.50	241.40	0.90	31081	0.356	2	0.005	<0.001	<0.001	<0.01
241.40	242.60	1.20	31082	0.893	2	0.007	0.002	<0.001	0.01
242.60	244.10	1.50	31083	0.935	2	0.009	<0.001	0.001	0.03
244.10	245.60	1.50	31084	0.633	1	0.01	<0.001	<0.001	0.04
245.60	247.10	1.50	31085	0.716	1	0.008	<0.001	<0.001	<0.01
247.10	248.60	1.50	31086	0.628	2	0.007	0.001	<0.001	0.03
248.60	250.10	1.50	31087	0.464	1	0.007	<0.001	0.002	0.02
250.10	251.60	1.50	31088	0.39	1	0.008	<0.001	0.001	0.06
251.60	253.20	1.60	31089	1.072	8	0.189	<0.001	0.346	<0.01
253.20	254.70	1.50	31090	0.644	3	0.008	0.02	0.001	0.42
254.70	256.30	1.60	31091	0.566	1	0.006	0.002	0.002	0.14
256.30	257.70	1.40	31092	0.515	2	0.008	0.018	0.001	0.22
257.70	259.40	1.70	31093	0.439	1	0.01	<0.001	<0.001	0.01
259.40	262.30	2.90	31094	0.049	0	0.004	0.001	0.001	0.02
262.30	263.60	1.30	31095	0.987	2	0.02	0.007	<0.001	0.42
263.60	265.10	1.50	31096	0.917	2	0.011	<0.001	<0.001	0.12
265.10	266.60	1.50	31097	0.79	1	0.011	<0.001	<0.001	0.15
266.60	268.45	1.85	31098	0.91	3	0.01	<0.001	<0.001	1.12
268.45	269.40	0.95	31099	0.656	4	0.02	<0.001	<0.001	<0.01
269.40	270.80	1.40	31100	0.62	3	0.013	<0.001	<0.001	0.33
270.80	271.65	0.85	31601	0.042	0	0.011	<0.001	0.001	0.01
271.65	272.60	0.95	31602	0.459	2	0.018	<0.001	<0.001	0.01
272.60	274.10	1.50	31603	0.809	5	0.027	<0.001	<0.001	0.22

PROMEDIO PONDERADO					
Cu	Ag	Zn	Bi	Pb	As
1.002	2.714	0.011	0.001	0.001	0.008
0.800	2.070	0.008	0.001	0.000	0.076
0.866	2.317	0.014	0.001	0.000	0.426

Anexo 5: Leyes promedio del Taladro OP17-2014. Tomada de Informe Técnico Doe Run Perú (2014)

TALADRO OP 17 - 2014									
From	To	Longitud	Sample ID	%Cu	Ag(gr/Tm)	%Zn	%Bi	%Pb	%As
196.7	197.8	1.1	31604	0.04	1	0.039	<0.001	0.004	0.03
197.8	199	1.2	31605	0.484	4	0.008	0.023	<0.001	0.42
199	201	2	31606	0.628	15	0.018	0.028	0.001	1.08
201	202.1	1.1	31607	1.478	89	0.08	0.031	0.006	5.95
202.1	204.1	2	31608	1.848	206	0.076	0.028	0.067	9.87
204.1	206.1	2	31609	1.274	96	0.046	0.002	0.017	1.07
206.1	208.25	2.15	31610	1.002	75	0.044	0.002	0.014	0.86
208.25	210.4	2.15	31611	0.573	69	0.123	0.004	0.077	0.71
210.4	212.4	2	31612	0.526	101	0.082	0.01	0.222	0.02
212.4	214.6	2.2	31613	0.892	148	0.13	0.01	0.216	0.01
214.6	216	1.4	31614	0.03	48	3.37	<0.001	1.38	<0.01
216	218	2	31615	0.032	95	3.61	<0.001	1.225	<0.01
218	220.1	2.1	31616	0.029	15	3.27	<0.001	0.273	0.02
220.1	222.05	1.95	31617	0.04	30	4.97	<0.001	0.473	<0.01
222.05	224	1.95	31618	0.066	67	12.9	<0.001	1.345	<0.01
224	225.7	1.7	31619	0.052	30	8.29	0.001	0.469	<0.01

PROMEDIO PONDERADO					
%Cu	Ag(Gr/Tm)	%Zn	%Bi	%Pb	%As
1.135	75.367	6.103	0.017	0.838	3.152

Anexo 6: Leyes promedio del Taladro C10-2011. Tomada de Informe Técnico Doe Run
Perú (2011)

TALADRO C10 - 2011								
From	To	Longitud	Sample ID	% Cu	Ag (gr/Tm)	% Zn	% Bi	% Pb
222	223	1	22240	0.001	0	0.004	0.001	0.007
223	224.4	1.4	22241	0.386	1	0.005	0	0.006
224.4	225.7	1.3	22242	0.464	1	0.006	0.002	0.005
225.7	227.3	1.6	22243	0.029	0	0.017	0.002	0.004
227.3	228.85	1.55	22244	0.268	0	0.007	0.001	0.005
228.85	230.45	1.6	22245	0.524	2	0.006	0.002	0.004
230.45	232	1.55	22246	0.657	1	0.006	0.002	0.005
232	233.6	1.6	22247	0.666	3	0.007	0	0
233.6	235.2	1.6	22248	0.541	5	0.012	0	0
235.2	236.7	1.5	22249	0.851	17	0.428	0.002	0.001
236.7	238.3	1.6	22250	0.912	16	0.023	0.003	0.002
238.3	239.7	1.4	22251	0.571	30	2.39	0	0.021
239.7	241.1	1.4	22252	0.375	39	5.05	0	0.292
241.1	242.6	1.5	22253	0.626	37	2.68	0.002	0.266
242.6	244.1	1.5	22254	0.473	56	0.421	0.009	0.21
244.1	245.7	1.6	22255	0.133	49	7.62	0	0.378
245.7	247.2	1.5	22256	0.02	29	4.15	0.002	0.759
247.2	248.8	1.6	22257	0.078	28	4.46	0.001	0.229
248.8	250.3	1.5	22258	0.271	103	3.76	0.008	0.831
250.3	251.8	1.5	22259	0.311	133	4.1	0.003	0.36
251.8	253.3	1.5	22260	0.151	39	5.3	0.007	0.476
253.3	254	0.7	22261	0.608	34	0.869	0.001	0.204
254	256.25	2.25	22262	0.696	10	0.015	0.001	0.005
256.25	257.75	1.5	22263	0.972	74	1.33	0.001	0.402
257.75	259.25	1.5	22264	0.05	19	3.3	0.002	0.192
259.25	260.75	1.5	22265	0.266	39	5.54	0.001	0.126
260.75	262.25	1.5	22266	0.767	26	0.038	0.001	0.01
262.25	263.8	1.55	22267	0.746	35	0.232	0	0.113
263.8	265.45	1.65	22268	0.892	36	0.078	0.001	0.111
265.45	267.05	1.6	22269	0.399	38	3.89	0.002	0.195
267.05	268.35	1.3	22270	0.051	22	6.25	0	0.347
268.35	269.75	1.4	22271	0.008	25	2.6	0	1.025
269.75	271.25	1.5	22272	0.028	24	2.29	0.001	0.351
271.25	272.85	1.6	22273	0.003	3	0.016	0.002	0.199
272.85	274.25	1.4	22274	0.005	8	0.587	0	0.241
274.25	275.85	1.6	22275	0.008	29	0.023	0	2.37
275.85	277.45	1.6	22276	0.019	14	0.088	0	0.988
277.45	278.95	1.5	22277	0.001	13	0.118	0.002	1.185
278.95	280.55	1.6	22278	0.004	12	0.019	0	1.005
280.55	282.05	1.5	22279	0.008	8	0.016	0.001	0.564
282.05	283.65	1.6	22280	0.005	91	0.378	0	16.95
283.65	285.05	1.4	22281	0.004	39	0.027	0	6.3
285.05	286.65	1.6	22282	0.005	9	0.192	0	0.62
286.65	288	1.35	22283	0.003	5	0.032	0.002	0.268
288	289	1	22284	0.004	7	0.018	0	0.488
293.85	295.75	1.9	22285	0.003	14	0.085	0	1.025

PROMEDIO PONDERADO				
%Cu	Ag(Gr/Tm)	%Zn	%Bi	%Pb
0.392	41.783	2.981	0.002	0.306

Anexo 7: Leyes promedio del Taladro C11-2011. Tomada de Informe Técnico Doe Run Perú (2011)

TALADRO C11 - 2011								
From	To	Longitud	Sample ID	%Cu	Ag (gr/Tm)	%Zn	%Bi	%Pb
192.3	193.3	1	22286	0.016	1	0.011	0	0.002
193.3	194.55	1.25	22287	0.415	25	0.252	0.01	0.043
194.55	196.25	1.7	22288	0.904	181	1.415	0.057	0.082
196.25	197.5	1.25	22289	0.535	55	0.544	0.003	0.381
197.5	199.35	1.85	22290	0.441	56	0.079	0.005	0.044
199.35	200.75	1.4	22291	0.501	54	0.341	0.007	0.028
200.75	202.25	1.5	22292	0.366	46	0.58	0.006	0.029
202.25	203.8	1.55	22293	0.657	184	0.48	0.072	0.097
203.8	205.35	1.55	22294	0.715	83	0.249	0.198	0.024
205.35	206.8	1.45	22295	0.905	22	0.024	0.178	0
206.8	208.3	1.5	22296	0.771	27	0.027	0.158	0
208.3	209.8	1.5	22297	0.873	110	0.041	0.028	0.048
209.8	211.3	1.5	22298	1.36	204	0.592	0.023	0.148
211.3	212.95	1.65	22299	2	284	4.23	0.21	0.241
212.95	214.4	1.45	22300	1.33	186	0.088	0.009	0.134
214.4	215.9	1.5	22301	1.475	280	0.076	0.023	0.313
215.9	217.45	1.55	22302	0.861	356	0.338	0.045	0.765
217.45	219.05	1.6	22303	0.66	190	2.19	0.015	0.242
219.05	220.45	1.4	22304	0.394	138	0.092	0.011	0.486
220.45	221.95	1.5	22305	0.334	168	3.91	0.012	1.225
221.95	223.5	1.55	22306	0.348	80	0.306	0.004	0.256
223.5	225.05	1.55	22307	0.277	85	0.585	0.005	0.351
225.05	226.45	1.4	22308	0.432	121	1.48	0.007	0.893
226.45	228	1.55	22309	0.47	123	1.015	0.009	0.736
228	229.4	1.4	22310	0.314	144	2.58	0.006	1.495
229.4	230.3	0.9	22311	0.246	117	1.37	0.007	0.952
230.3	231.9	1.6	22312	0.464	94	0.181	0.007	0.29
231.9	233.45	1.55	22313	0.314	183	0.647	0.046	0.427
233.45	235.05	1.6	22314	0.425	114	4.65	0.018	0.361
235.05	236.6	1.55	22315	0.588	186	1.65	0.019	1.19
236.6	238.2	1.6	22316	0.51	112	0.308	0.008	0.466
238.2	239.75	1.55	22317	0.534	50	0.309	0.001	0.108
239.75	241.2	1.45	22318	0.374	80	1.735	0.004	0.37
241.2	242.75	1.55	22319	0.32	107	3.68	0.007	1.045
242.75	244.35	1.6	22320	0.036	20	2.57	0.002	0.306
244.35	245.8	1.45	22321	0.167	105	6.06	0.01	0.605
245.8	247.35	1.55	22322	0.905	41	1.506	0.002	0.188
247.35	248.8	1.45	22323	0.715	11	0.195	0.003	0.042
248.8	250.85	2.05	22324	0.912	3	0.018	0.001	0.002
250.85	251.75	0.9	22325	0.41	50	1.21	0	0.603
251.75	253.35	1.6	22326	0.14	54	5.45	0.001	0.754
253.35	254.15	0.8	22327	0.008	7	0.681	0.001	0.244
254.15	255.75	1.6	22328	0.503	17	0.128	0.017	0.053
255.75	257.1	1.35	22329	0.148	37	2.9	0.002	1.165
257.1	258.7	1.6	22330	0.108	28	2.02	0.001	0.696
258.7	260.8	2.1	22331	0.505	30	0.459	0.003	0.32
260.8	261.7	0.9	22332	0.479	56	0.427	0.007	0.249
261.7	264.2	2.5	22333	0.375	78	8.15	0.002	0.728
264.2	266.65	2.45	22334	0.593	146	0.611	0.189	0.504
266.65	268.85	2.2	22335	0.56	102	2.31	0.032	0.504
268.85	271	2.15	22336	0.278	69	1.06	0.087	0.201
271	272.25	1.25	22337	0.278	31	0.922	0.077	0.1
272.25	276.85	1.6	22338	0.216	22	0.171	0.028	0.104
276.85	278.3	1.45	22339	0.373	17	0.015	0.5	0.007
278.3	279.9	1.6	22340	0.408	56	0.018	0.199	0.06
279.9	281.85	1.95	22341	0.543	152	0.35	0.165	0.256
281.85	283.25	1.4	22342	0.607	16	0.033	0.123	0
283.25	287.4	1.6	22343	0.026	33	3.4	0.002	1.4
287.4	288.9	1.5	22344	0.157	55	9.37	0.001	0.797
288.9	290.55	1.65	22345	0.024	24	2.26	0.002	0.835
290.55	292.15	1.6	22346	0.128	62	1.545	0.001	1.035
292.15	293.7	1.55	22347	0.218	51	1.33	0.007	0.748
293.7	295.25	1.55	22348	0.162	25	0.223	0.001	0.187
295.25	296.45	1.2	22349	0.18	59	1.9	0.004	0.853
296.45	298.05	1.6	22350	0.013	16	4.08	0.001	0.745
298.05	299.35	1.3	22351	0.009	18	2.45	0.001	1.01
299.35	300.9	1.55	22352	0.05	133	1.585	0.027	1.725
300.9	302.4	1.5	22353	0.336	97	0.251	0.231	0.439


PROMEDIO PONDERADO				
Cu	Ag	Zn	Bi	Pb
0.917	143.755	1.874	0.040	0.547
0.358	75.838			

Anexo 8: Leyes promedio del Taladro C14-2011. Tomada de Informe Técnico Doe Run Perú (2011).


TALADRO C14 - 2011								
From	To	Longitud	Sample ID	%Cu	Ag (gr/Tm)	%Zn	%Bi	%Pb
129.45	130.40	0.95	22513	0.01	3	0.017	0.001	0.001
130.40	131.50	1.10	22514	0.22	15	0.164	0	0.059
131.50	132.85	1.35	22515	0.41	81	0.132	0.012	0.108
132.85	134.5	1.65	22516	0.46	235	0.468	0.05	0.25
134.50	135.5	1.00	22517	0.9	170	0.214	0.017	0.274
135.50	137.1	1.60	22518	0.68	174	1.105	0.022	0.687
137.10	138.6	1.50	22519	0.57	161	2.01	0.017	0.827
138.60	140	1.40	22520	1.04	204	4.49	0.013	0.68
140.00	141.5	1.50	22521	0.45	122	3.99	0.008	0.611
141.50	143	1.50	22522	0.35	119	11.5	0.01	0.441
143.00	144.6	1.60	22523	0.2	60	7.38	0.003	0.277
144.60	145.6	1.00	22524	0.05	83	3.58	0.003	2.41
145.60	146.4	0.80	22525	0.02	24	3.24	0	0.782
146.40	148	1.60	22526	0.06	96	6.19	0.002	1.845
148.00	149.4	1.40	22527	0.1	125	10.35	0.001	4.29
149.40	151.7	2.30	22528	0.04	31	4.7	0.003	0.897
152.60	154.1	1.50	22529	0	10	0.741	0.002	0.432
154.10	155.65	1.55	22530	0.01	36	5.31	0	1.44
155.65	157	1.35	22531	0.01	27	2.58	0	0.994
171.35	173.1	1.75	22532	0.15	4	0.02	0	0.001
173.10	174.1	1.00	22533	0.02	1	0.013	0.001	0.001
174.10	175.1	1.00	22534	0.02	1	0.014	0	0.001
175.10	176.7	1.60	22535	0.03	1	0.014	0.001	0
176.70	178.3	1.60	22536	0.03	0	0.017	0.001	0
178.30	180	1.70	22537	0.03	1	0.018	0.002	0
180.00	181.5	1.50	22538	0.03	1	0.016	0.001	0
181.50	183.15	1.65	22539	0	0	0.028	0	0
183.15	184.7	1.55	22540	0.04	2	0.019	0.002	0.001
184.70	186.2	1.50	22541	0.21	6	0.02	0.001	0.001
186.20	187.7	1.50	22542	0.29	9	0.019	0.044	0.001
187.70	189.3	1.60	22543	1.43	26	0.054	0.045	0
189.30	190.95	1.65	22544	1.46	23	0.051	0.059	0.001

PROMEDIO PONDERADO				
Cu	Ag	Zn	Bi	Pb
0.301	104.520	4.357	0.010	1.044


Anexo 9: Logueo geológico taladro diamantino DDH LM CO-01-2016. Hoja 1. Perforación diamantina ejecutada por la empresa Redrilsa.

LOGUEO DE TESTIGOS DE PERFORACION DIAMANTINA																	
										MAQUINA: <u>LM</u>							
Fecha de inicio:			Orig. Por:			Sección:			<u>4940</u>								
Fecha de término:			Log. Por:			Labor:			<u>- 130-5000-5388</u>								
Dirección:			Coord. Lat.			Nivel:			<u>- 130</u>								
Inclinación:			Long.			E N° DDH:			<u>LM-CO-01-2016</u>								
Total Logueo:			Elev.			m. Pagina.			<u>1 De 3</u>								
Total Logueo: <u>41,90</u>			Elev.:			m. Pagina:			1 De 3								
Fecha	Tipo Broca	ESCALA		TESTIGO					ENSAYES						DATOS GEOLOGICOS		
		Pies	Metros	Longitud	Acumulada	Longitud Perforado	Longitud Recuperado	% Recuperado	ROD (%)	N° de Muestra	% Cu.	% Ag.	% Pb.	% Zn.	% Bi.	% Cu Estimado	Logueo Gráfico
		0	0	0,70	0,70	0,66											Pizarra levemente fracturada horizontalmente hacia el contacto. 1,20 a 42°
		0,20	0,20	1,60	1,60												Mtb intercalada con Ptz en bandejas. Pz de Py+ y Cpy- diss
		0,40	0,40	2,40	2,40												2,40 a 42°
		0,60	0,60	3,00	3,00												Venilla de Sida Mar 42° Pz+ 3m--
		0,80	0,80	3,70	3,70												3,70 a 20° Falla con relleno de yeso
		1,00	1,00	4,70	4,70												Vta de Sida Mar 42° Py+ 3m+
		1,20	1,20	5,90	5,90												5,90 a 36°
		1,40	1,40	7,10	7,10												6,55 a 50°
		1,60	1,60	8,70	8,70												Obitinización intercalada con bandes de Mtb?
		1,80	1,80	9,90	9,90												Pz de venillas de Qz
		2,00	2,00	11,10	11,10												Días de Pz (-) 3m+ Py+-
		2,20	2,20	12,30	12,30												12,20 a 30°
		2,40	2,40	13,70	13,70												Zona de Sida Mar 42° con bandejas Mtb Sida Cpy+ 3m+ 42° VACIO
		2,60	2,60	14,30	14,30												

Anexo 10: Logueo geológico taladro diamantino DDH LM CO-01-2016. Hoja 2. Perforación diamantina ejecutada por la empresa Redrilsa

LOGUEO DE TESTIGOS DE PERFORACION DIAMANTINA																		
										MAQUINA : _____ N° DDH : _____ Orig. Por : _____ Pagina. 2 De 3								
SECCION : _____					NIVEL : _____					LABOR : _____								
Fecha	Tipo Broca	ESCALA		TESTIGO						ENSAYES					DATOS GEOLOGICOS			
		Piegs	Metros	Longitud	Acumulada	Longitud Perforada	Longitud Recuperado	% Recuperado	RQD (%)	N° de Muestra	% Cu.	% Ag.	% Pb.	% Zn.	% Bl.	% Cu Estimado.	Logueo Grafico	DESCRIPCION
		15			2,20	0,0												vacio
		15	15	15	4,60	0,95												4,20
		15	30	30	2,00	2,00												
		15	45	45	2,90	2,90												
		15	60	60	3,10	3,10												
		15	75	75	3,00	3,00												
		15	90	90	3,00	3,00												
		15	105	105	3,00	3,00												10,75 < 40°

Anexo 11: Logueo geológico taladro diamantino DDH LM CO-01-2016. Hoja 3. Perforación diamantina ejecutada por la empresa Redrilsa

LOGUEO DE TESTIGOS DE PERFORACION DIAMANTINA																	
										MAQUINA : _____ N° DDH : _____ Orig. Por : _____ Pagina. 3 De 3							
SECCION : _____																	
NIVEL : _____																	
LABOR : _____																	
Fecha	Tipo Brocas	ESCALA		TESTIGO					ENSAYES					DATOS GEOLOGICOS			
		Pies	Metros	Longitud	Acumulada	Longitud Perforado	Longitud Recuperado	% Recuperado	ROD (%)	N° de Muestra	% Cu.	% Ag.	% Pb.	% Zn.	% Bi.	% Cu Estimado.	Logueo Geológico
		29	3			3,00	2,00									0,24	Tronco de Mdb 811 Pa - Cp - - 27,00 a 28,00'
		30	29	90													Mdb de grano fino con componentes de Ab + Cu y venillas irregulares de Cal - Pres. espantosa de Pa - - -
		31				1,00	2,00										27,80 Mdb de grano fino con componentes de Cal + S Pres. de Pa + HSS y CpY - -
		32															28,40 a 29,00' Interrelacion de Mdb y Pa - - - a - - - con pres. de CpY + con mayor intensidad en la Mdb (CpY) Pa (CpY -)
		33															28,02 a 30' Mdb de grano fino 28,60 a 30'
		34															29,20 a 30' - - - de Pa, Cu + Bus de Cal - - 29,80 a 30' - - - Bus de Cu + CpY
		35															29,90 a 30'