

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



TESIS

**ZONIFICACIÓN Y RECONOCIMIENTO MINERALÓGICO EN LA VETA
CHIBOLA, MINA NUEVA ESPERANZA -NIVEL 2, EMPRESA HNS.
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO GEÓLOGO**

Autor:

Bach. Lucano Chuán Deysi Lizbeth

Asesor:

Dr. Ing. Quispe Mamani Crispín Zenón

CAJAMARCA – PERÚ

-2024-

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

- FACULTAD DE INGENIERÍA -

1. Investigador : Deysi Lizbeth Lucano Chuán
2. DNI : 76583004
3. Escuela Profesional : Ingeniería Geológica

4. Asesor : Crispín Zenón Quispe Mamani
Facultad : Ingeniería

5. Grado académico o título profesional
 Bachiller Título profesional Segunda especialidad
 Maestro Doctor

6. Tipo de Investigación:
 Tesis Trabajo de investigación Trabajo de suficiencia profesional
 Trabajo académico

1. Título de Trabajo de Investigación: ZONIFICACIÓN Y RECONOCIMIENTO MINERALÓGICO EN LA VETA CHIBOLA, MINA NUEVA ESPERANZA -NIVEL 2, EMPRESA HNS.
2. Fecha de evaluación : 11 de diciembre 2024
3. Software antiplagio: TURNITIN URKUND (OURIGINAL) (*)
4. Porcentaje de Informe de Similitud : 10%
5. Código Documento : Oid: 3117:415238483
6. Resultado de la Evaluación de Similitud:
 APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión : 13 de diciembre 2024

		Firmado digitalmente por: BAZAN DIAZ Laura Sofia FAU 20148258601 soft Motivo: En señal de conformidad Fecha: 13/12/2024 14:16:24-0500
FIRMA DEL ASESOR Nombres y Apellidos: Crispín Zenón Quispe Mamani	UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI	
DNI : 29243825		

* En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023



ACTA DE SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS.

TITULO : "ZONIFICACIÓN Y RECONOCIMIENTO MINERALÓGICO EN LA VETA CHIBOLA, MINA NUEVA ESPERANZA –NIVEL 2, EMPRESA HNS"

ASESOR : Dr. Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani.

En la ciudad de Cajamarca, dando cumplimiento a lo dispuesto por el Oficio Múltiple N° 002-2025-PUB-SA-FI-UNC, de fecha 02 de enero del 2025, de la Secretaría Académica de la Facultad de Ingeniería, a los **tres días del mes de enero** del año en curso, siendo las once horas (11:00 a.m.) en el Auditorio de la Escuela de Ingeniería Geológica (Edificio 4J – 210) de la Facultad de Ingeniería, se reunieron los Señores Miembros del Jurado Evaluador:

Presidente : Dr. Ing. Segundo Reinaldo Rodríguez Cruzado.
Vocal : M. Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana.
Secretario : M. Cs. Ing. Víctor Ausberto Arapa Vilca.

Para proceder a escuchar y evaluar la sustentación pública de la tesis titulada "**ZONIFICACIÓN Y RECONOCIMIENTO MINERALÓGICO EN LA VETA CHIBOLA, MINA NUEVA ESPERANZA –NIVEL 2, EMPRESA HNS**", presentado por la Bachiller en Ingeniería Geológica **DEYSI LIZBETH LUCANO CHUÁN**, asesorada por el Dr. Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani, para la obtención del Título Profesional.

Los Señores Miembros del Jurado replicaron a la sustentante debatieron entre sí en forma libre y reservada y lo evaluaron de la siguiente manera:

EVALUACIÓN PRIVADA: ⁴ PTS.
EVALUACIÓN PÚBLICA: ¹¹ PTS.
EVALUACIÓN FINAL : ¹⁵ PTS. ^{APROBADO} (En letras)

En consecuencia, se lo declara ^{APROBADO} con el calificativo de ^{APROBADO} acto seguido, el presidente del jurado hizo saber el resultado de la sustentación, levantándose la presente a las ^{12:00 p.m.} horas del mismo día, con lo cual se dio por terminado el acto, para constancia se firmó por quintuplicado.

Dr. Ing. Segundo Reinaldo Rodríguez Cruzado
Presidente

M. Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana
Vocal

M. Cs. Ing. Víctor Ausberto Arapa Vilca
Secretario

Dr. Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani
Asesor



EVALUACIÓN DE LA SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS.

Bachiller en Ingeniería Geológica: **DEYSI LIZBETH LUCANO CHUÁN**

RUBRO	PUNTAJE
	Máximo/Calificación
2. DE LA SUSTENTACIÓN PÚBLICA	
2.1. Capacidad de síntesis	3
2.2. Dominio del tema	3
2.3. Consistencia de las alternativas presentadas	3
2.4. Precisión y seguridad en las respuestas	2
PUNTAJE TOTAL (MÁXIMO 12 PUNTOS)	11

Cajamarca, 03 de enero de 2025

Dr. Ing. Segundo Reinaldo Rodríguez Cruzado
Presidente

M. Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana
Vocal

M. Cs. Ing. Víctor Ausberto Arapa Vilca
Secretario

Dr. Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani
Asesor



EVALUACIÓN FINAL DE LA SUSTENTACIÓN DE TESIS.

Bachiller en Ingeniería Geológica: **DEYSI LIZBETH LUCANO CHUÁN**

RUBRO	PUNTAJE
A.- EVALUACIÓN DE LA SUSTENTACIÓN PRIVADA	4
B.- EVALUACIÓN DE LA SUSTENTACIÓN PÚBLICA	11
EVALUACIÓN FINAL	
EN NÚMEROS (A + B)	15
EN LETRAS (A + B)	Quince
- Excelente 20 - 19	BUENO
- Muy Bueno 18 - 17	
- Bueno 16 - 14	
- Regular 13 a 11	
- Desaprobado 10 a menos	

Cajamarca, 03 de enero de 2025

Dr. Ing. Segundo Reinaldo Rodríguez Cruzado
Presidente

M. Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana
Vocal

M. Cs. Ing. Víctor Ausberto Arapa Vilca
Secretario

Dr. Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani
Asesor

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis docentes que laboran en la Universal Nacional de Cajamarca, mi alma mater, en la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica los cuales nos brindaron los mejores conocimientos para logra un futuro con éxito

A mi asesor el Dr. Ing. Quispe Mamani Crispín Zenón, el cual me guio en la elaboración de la presente tesis.

A dios por haberme guiado en la toma de las mejores decisiones.

Finalmente, a mis compañeros y amigos de los que siempre recibí apoyo.

El Autor

DEDICATORIA

La presente tesis es dedicada a mis padres de los cuales siempre recibí apoyo y hermanas que me alentaron para seguir adelante en los momentos difíciles.

El Autor

ÍNDICE GENERAL

Pág.

ÍNDICE GENERAL.....	iv
ÍNDICE DE IMAGENES	viii
ÍNDICE DE MICROFOTOGRAFÍAS.....	viii
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS	xii
LISTA DE ABREVIATURAS	xiii
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT.....	xvi

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1.	ANTECEDENTES TEÓRICOS.....	3
2.1.1.	Internacionales	3
2.1.2.	Nacionales	3
2.1.3.	Locales	4
2.2.	BASES TEÓRICAS.....	5
2.2.1.	Depósitos Epitermales.....	5
2.2.2.	Formación de los Depósitos Epitermales	6
2.2.3.	Migración de los Fluidos Mineralizantes.....	7
2.2.4.	Tipos de Depósitos Epitermales	8
2.2.5.	Alteraciones Hidrotermales.....	10
2.2.6.	Análisis Mineralógico.....	13
2.2.7.	Estudio Mineragráfico.....	13

	Pág.
2.2.8. Propiedades de los Minerales	14
2.2.9. Mineralogía Química	16
2.2.10. Texturas de Depósitos Hidrotermales	16
2.2.11. Paragénesis de los Minerales.....	17
2.2.12. Zonificación de Minerales.....	19
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	21

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD.....	23
3.1.1. Ubicación Política.....	23
3.1.2. Ubicación Geográfica.....	23
3.1.3. Accesibilidad	23
3.2. PROCEDIMIENTO Y TÉCNICAS DE RECOPIACIÓN DE DATOS.....	25
3.2.1. Etapa Preliminar de Gabinete.....	25
3.2.2. Etapa de Campo	26
3.2.3. Etapa Final de Gabinete.....	26
3.3. METODOLOGÍA	26
3.3.1. Tipo, Nivel, Diseño y Métodos de Investigación.....	26
3.3.2. Población de estudio	27
3.3.3. Muestra.....	27
3.3.4. Unidad de Análisis	28
3.3.5. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos	28
3.3.6. Técnicas para el procesamiento y análisis de la información.....	28
3.3.7. Materiales y Equipos.....	29
3.3.8. Definición de Variables	30
3.4. CONTEXTO GEOLÓGICO	30
3.4.1. Geología Local.....	30
3.4.1.1. Grupo Goyllarisquizga	31
Formación Chimú (Ki-chim).....	31

	Pág.
Formación Santa (Ki-Sa).....	32
3.5. CONTEXTO ESTRUCTURAL.....	33
3.5.1. Fallas.....	35
3.5.1.1. Fallas transversales	35
Falla santo cristo	35
Falla los alisos	36
Falla la cruz.....	36
3.5.1.2. Fallas longitudinales	36
Falla Algamarca	36
3.5.2. Pliegues.....	39
3.5.3. Control estructural de la veta chibola	39
3.6. CONTROL MINERALÓGICO.....	43
3.6.1. Veta chibola	44
3.7. TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS	45

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. RECONOCIMIENTO MINERALÓGICO DE LA VETA CHIBOLA... 46	46
4.1.1. Descripción microscópico de muestras.....	46
4.1.1.1. Muestra MSF_01: Sulfuro	46
4.1.1.2. Muestra MOX_02: Óxidos	55
4.1.2. Descripción macroscópica de muestras.....	58
4.1.2.1. Muestra MSF_03: Acantita (Ag ₂ S)	59
4.1.2.2. Muestra MSF_04: Tetraedrita (Cu ₁₂ Sb ₄ S ₁₃).....	60
4.1.2.3. Muestra MSF_05: Tennantita (Cu ₁₂ As ₄ S ₁₃).....	61
4.1.2.4. Muestra MSF_06 - La calcosina (Cu ₂ S).....	61
4.1.2.5. Muestra MSF_07 - La calcopirita	62
4.1.2.6. Muestra MSF_8: covelina (CuS).....	63
4.1.2.7. Muestra MSF_9: Bornita (Cu ₅ FeS ₄).....	64
4.1.2.8. Muestra MSF_10: hematita (hm): Fe ₂ O ₃	65
4.1.2.9. Muestra MSF_11: Goethita FeO (OH).....	66
4.1.2.10. Muestra MSF_12: Jarosita (KFe ³⁺ (SO ₄) ₂ (OH) ₆).....	67

	Pág.
4.1.2.11. Muestra MSF_12: Pirita (S ₂ Fe)	68
4.1.2.12. Cuarzo (SiO ₂).....	70
4.1.2.13. Arcillas (GGs).....	71
4.1.2.14. Enargita (en) Cu ₃ AsS ₄	72
4.1.2.15. La esfalerita ZnS.....	72
4.1.2.16. Galena	72
4.1.2.17. Arsenopirita (SAsFe).....	73
4.1.2.18. Electrum	73
4.1.2.19. Micas (MCs).....	74
4.1.2.20. Óxidos de titanio (TiO ₂)	74
4.2. ZONIFICACIÓN DE LA VETA CHIBOLA	74
4.3. PARAGÉNESIS DE LA VETA CHIBOLA.....	78
4.4. ALTERACIONES HIDROTERMALES	80
4.4.1. Alteración Argílica.....	80
4.4.2. Alteración Supergenás	81
4.4.2.1. Oxidación	81
4.5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	82
4.6. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS	83

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES.....	84
5.2. RECOMENDACIONES	85
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	86
ANEXOS.....	88

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen N°1: Modelo conceptual simplificado de los depósitos epitermales de baja (BS), intermedia (IS) y alta sulfuración (AS) (Cruz, 2008).....	6
Imagen N°2: Abundancia relativa de los minerales (Chávez, 1985).	18
Imagen N°3: Zonamiento típico de alteración para un depósito de alta sulfuración (modificado de Stoffregen, 1987) (González, 2009).....	20
Imagen N°4: Zonamiento típico de alteración para los depósitos de baja e intermedia sulfuración (modificado de Buchanan, 1981) (González, 2009).....	21
Imagen N°5: Acceso por Carretera de Cajamarca – Algamarca.....	24
Imagen N°6: Acceso a la mina Nueva esperanza desde la plaza de Algamarca.....	25
Imagen N°7: Columna distrital de Algamarca (Sánchez, 2012)	31
Imagen N°8: Imagen satelital mostrando el corredor estructural Otuzco-Condebamba (Sánchez, 2012)	34
Imagen N°9: Principales estructuras generadas por compresión que controlan la mineralización (Sánchez, 2012).....	37
Imagen N°10: Modelo estructural mostrando las estructuras originadas por compresión y por tensionales (Sánchez, 2012).	38
Imagen N°11: Se muestra los dos sistemas de fallas, sistema NE-SW(Transversales) y sistema NW-SE (Longitudinales).	40
Imagen N°12: Zonificación de la veta chibola -vista en perfil	78

ÍNDICE DE MICROFOTOGRAFÍAS

Microfotografía N°1: Venillas de calcosina en cobres grises asociadas a calcopirita, pirita y electrum.	48
--	----

	Pág.
Microfotografía N°2: Calcopirita asociada a pirita y cobre grises.	49
Microfotografía N°3: Asociación entre cobre grises, calcosina, pirita y arsenopirita.....	49
Microfotografía N°4: A) calcopirita alterada a calcosina englobadas por cobres grises. B) enargita alterada a calcosina.	50
Microfotografía N°5: A) cobres grises englobando a calcopirita B) electrum entre arcillas y calcosina C) cristales de pirita.....	51
Microfotografía N°6: A) pirita englobando cobres grises bordeada por calcosina, presenta cuarzo B) enargita reemplazada por cobre grises.	52
Microfotografía N°7: Pirita reemplazada por cobre grises, presencia de óxido de titanio	52
Microfotografía N°8: Micas intercrecida con calco cita y cobres grises	53
Microfotografía N°9: Inclusiones de esfalerita (ef) en forma de cruz, y de cobre grises (CGRs), en playa de pirita (py). Se observa un hueco (H) de forma triangular.	53
Microfotografía N°10: Oxido de titanio (anatasa) flecha amarilla -b) electrum asociado a cuarzo.....	54
Microfotografía N°11: A) venillas de calcosina B) inclusiones de galena con pirita y calcosina	54
Microfotografía N°12: Matriz de hidrohematita con bordes de limolitas, se observa huecos	56
Microfotografía N°13: Granos de pirita incrustados en el cuarzo hidrotermal.	57
Microfotografía N°14: Cuarzo hidrotermal asociada a hidrohematita.	57
Microfotografía N°15: A) arenisca cuarzosa con cuarzo hidrotermal B) cuarzo hidrotermal con presencia de inclusiones gaseosas	58

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Foto N°1:	Flanco derecho del anticlinal de Algamarca, se visualizan estratos de areniscas cuarzosas de la Formación Chimú.	32
Foto N°2:	Arenisca cuarzosa de la Formación Chimú (interior mina).....	32
Foto N°3:	Arcillitas de color gris oscuro de la Formación Santa (interior mina).	33
Foto N°4:	Vista frontal del anticlinal Algamarca.....	39
Foto N°5:	Falla Dominga, controla la veta chibola esta presenta una dirección NW-SE con buzamiento de 55°SW.....	41
Foto N°6:	Vista lateral de falla en la que se aprecia una potencia de 2m de ancho, presenta un relleno de arcillolitas de color gris oscuro y oxidos.	41
Foto N°7:	Falla normal en roca arenisca cuarzosa de 10cm de abertura, con relleno de arcillas, oxidos y pequeñas cantidades de sulfuros.....	42
Foto N°8:	Falla inversa en roca arenisca cuarzosa de 5 cm. De abertura, con relleno de arcillas y cantidades de sulfuros (pirita) el cual le da el color plomizo.....	42
Foto N°9:	a) veta chibola en galería, en la que se visualiza minerales de óxidos con una potencia de 30 cm y longitud de 50.6 m. con dirección NE-SW. b) veta chibola en SN. 15 inferior a 125m. de profundidad de la galería con potencia de 35m en la que se visualiza minerales de sulfuros.....	44
Foto N°10:	(muestra MSF_01) muestra de mano, con predominancia de cobre grises (CGRs) pirita (py). calcopirita (cp); cuarzo-micas.	48
Foto N°11:	(muestra MOX-02) izquierda:muestra de mano de la veta chibola, zona de oxidos correspondiente a una brecha polimictica derecha: corte de la muestra.	55

Foto N°12: En a) muestra de mano del mineral de acantita de forma masiva con inclusiones de pirita cubica, cuarzo y arcillas b) (vista aumentada 60x de la foto a) se observa la arcilla de brillo mate y cobre grises.....	59
Foto N°13: Muestra obtenida del área de geología de la empresa HNS, extraída de la veta chibola el cual se observa cristales de habito tetraédrico.....	60
Foto N°14: a) Muestra obtenida del área de geología de la empresa HNS, extraída de la veta chibola el cual se observa cristales de habito tetraédrico. b) vista aumentada 60x de la foto a) se observa el hábito tetraédrico redondeado	61
Foto N°15: Muestra de calcosina de color gris a negro con tinte azulado iridiscente, sus cristales tienen forma pseudo hexagonal.	62
Foto N°16: Calcopirita masiva asociada a pirita, se puede observar la oxidación a bornita	63
Foto N°17: Muestra de covelina en la que sobresale su color azul índigo	64
Foto N°18: Alteración de calcopirita a bornita con inclusiones de pirita y cuarzo.	65
Foto N°19: Hematita de habito fibroso cubierto por patinas de covelina	66
Foto N°20: Goethita con habito botroidal de color iridiscente.....	67
Foto N°21: Muestra de mano de jarosita masiva.....	68
Foto N°22:a) muestra de mano de cobre grises de forma masiva con incrustaciones de pirita b) cristales de pirita con habito cubico (vista aumentada de la foto a)	69
Foto N°23: a) Cuarzo cristalizado en matriz de arenisca cuarzosa con incrustaciones de pirita b) vista aumentada de la foto a) se observa el sistema hexagonal del cuarzo.	71
Foto N°24: Veta chibola en SN 7 inferior a 58m. de profundidad de la galería, en la que se visualizan una zona de transacción entre sulfuros y óxidos de potencia 50-60 cm.	76

	Pág.
Foto N°25: Presencia de alteración argílica, a) falla normal e inversa con rellenos de arcillas b) arcillas de color amarillo y plomo por la presencia de óxidos y sulfuros.	81
Foto N°26: Foto de la izquierda (a) muestra la veta con minerales de óxidos entre hematita, jarosita y patinas de goethita y la foto de la derecha (b) muestra la zona mixta entre sulfuros de cobre y óxidos.	82
Foto N°27: Cristales tetraédricos cubiertos por arcillas (illita).	89
Foto N°28: Muestra extraída de la zona de sulfuros donde se puede observar minerales de cobre grises, calcosina, pequeños cristales de cuarzo e inclusiones de pirita	89
Foto N°29: Cobres grises en arenisca cuarzosa con fragmentos de calcopirita, covelina y pirita.....	90
Foto N°30: Muestra de mano con matriz de cobre grises e inclusiones de calcopirita, covelina, bornita y cuarzo.....	90
Foto N°31: Cristales de cuarzo en arenisca cuarzosa cubierta por jarosita de color amarillento y hematita de color rojo pardusco.	91
Foto N°32: Brecha hidrotermal conformada por minerales de óxidos como jarosita, hematita y goethita en matriz de arenisca cuarzosa.....	91

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°1: Minerales en varios estados de pH, estados de sulfuración y oxidación, usados para distinguir ambientes epitermales formadores de mineral	10
Tabla N°2: Accesibilidad al Área de Investigación	24
Tabla N°3: Clasificación según su metodología	27
Tabla N°4: Identificación de variables	30
Tabla N°5: Minerales presentes en la veta chibola junto con sus asociaciones correspondientes de acuerdo con las zonas mineralizadas.	77

LISTA DE ABREVIATURAS

Ac:	Acantita
Br:	Bornita
cc:	Calcocita
CGRs:	Cobres grises
Cp :	Calcopirita
cz-II:	Arenisca cuarzosa
cz-III:	Cuarzo hidrotermal
cz:	Cuarzo
chim:	Chimú
el:	Electrum
en:	Enargita
ef:	Esfalerita
GGs:	Arcillas
Gn:	Galena
Gt:	Goethita
H:	Huecos
Hm:	Hematita
Hhm:	Hidrohematita
Jr:	Jarosita
Ki:	Cretáceo inferior
LIMs:	Limolitas
MCs:	Micas
MOX:	Muestra de óxidos

Mus: Moscovitas

MSF: Muestra de sulfuro

Py: Pirita

Sa: Santa

TiO₂: Óxidos de titanio

RESUMEN

En la investigación se determinó la zonificación e identificación de minerales de la veta Chibola en la Mina Nueva Esperanza -Nivel 2, teniendo como objetivo principal el reconocimiento mineralógico. La zonación e identificación mineralógica, se realizó con una variedad de muestras recolectadas de diversos niveles de la veta, además se tuvo en cuenta los cambios estructurales y geológicos, los cuales han ayudado en la formación de minerales, así también varios factores como profundidad, presión, temperatura y humedad; se identificó tres diferentes zonas, una de sulfuros conformada por sulfuros primarios, mixta en la cual se encuentran minerales de sulfuros secundarios con óxidos y la zona de óxidos siendo la más superficial en la que se encuentran minerales de óxidos. El reconocimiento de los minerales se obtuvo a partir de la descripción mineralógica de las propiedades físicas/químicas de las mejores muestras de mano, se determinó los minerales de mena y ganga, se enviaron muestras representativas de la zona de óxidos como de sulfuros al laboratorio Sampling OK S.A.C para lo cual realizo pruebas microscópicas ópticas, se identificaron minerales difíciles de reconocerlos a simple vista, además, con los resultados obtenidos de laboratorio se pudo Identificar la asociación mineralógica, así como, la paragénesis de los minerales, también se diferenció la alteración hidrotermal que caracteriza la veta.

PALABRAS CLAVES

Zonificación, paragénesis, asociación mineralógica, mena, ganga, alteración hidrotermal, veta.

ABSTRACT

In the investigation, the zoning and identification of minerals from the Chibola vein in the Nueva Esperanza Mine - Level 2 were determined, with the main objective being mineralogical recognition. The mineralogical zoning and identification was carried out with a variety of samples collected from different levels of the vein, in addition, the structural and geological changes were taken into account, which have helped in the formation of minerals, as well as various factors such as depth, pressure, temperature and humidity; Three different zones were identified, one of sulfides made up of primary sulfides, a mixed one in which secondary sulfide minerals with oxides are found, and the oxide zone being the most superficial one in which oxide minerals are found. The recognition of the minerals was obtained from the mineralogical description of the physical/chemical properties of the best hand samples, the ore and gangue minerals were determined, representative samples of the oxide and sulfide zones were sent to the Sampling laboratory. OK S.A.C for which I carried out optical microscopic tests, minerals difficult to recognize with the naked eye were identified, in addition, with the results obtained from the laboratory it was possible to identify the mineralogical association, as well as the paragenesis of the minerals, the hydrothermal alteration was also differentiated. that characterizes the vein.

KEYWORDS

Zoning, paragenesis, mineralogical association, ore, gangue, hydrothermal alteration, vein.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La mina Nueva Esperanza-Nivel 2, se ubica en el centro poblado de Algamarca, en el cerro del mismo nombre, en el distrito de Cachachi, provincia de Cajabamba y departamento de Cajamarca, a 25 km. aproximadamente al oeste de la ciudad de Cajabamba. geográficamente está ubicada en la carta 16-g “cuadrángulo de Cajabamba”.

En el Anticlinal Algamarca, se encuentran las Formaciones Chimú y Santa, en las que se han formado fracturas, fallas, venillas, entre otras, las cuales estarían controlando el emplazamiento de vetas que cortan la estratificación con dirección NE-SW.

Las vetas se encuentran mineralizadas por óxidos y sulfuros, estas son económicamente explotables, sin embargo, no se han realizado estudios acerca de los minerales que se encuentran en dichas zonas, por ello se realizará un reconocimiento mineralógico y una zonificación para la determinación de las áreas favorables.

Para el reconocimiento de los minerales se tendrá en cuenta sus propiedades físicas y química, así como determinar el lugar en los que se encuentran cada una de las muestras extraídas para la realización de su zonamiento y determinar su distribución dentro de mina, por lo que la presenta investigación contribuirá a la mejor comprensión y correcta interpretación del modelo del yacimiento, esto será de ayuda para futuros trabajos de la zona.

Así mismo el problema es ¿Como está determinada la zonificación de minerales en la veta Chibola, Mina Nueva Esperanza -Nivel 2?

Como hipótesis se tiene que los minerales presentes en la veta Chibola, corresponden a óxidos como goetita, hematita y jarosita; sulfuros tales como calcopirita, pirita, calcosina, covelina, Tennantita, además de presentar cuarzo y arcillas, los cuales corresponden a un tipo de yacimientos de intermedia sulfuración, su distribución está determinada por el control estructural y mineralógico de la zona, afectando también su litología.

La presente investigación tiene como propósito realizar la zonificación y reconocimiento mineralógico de la veta chibola en mina Nueva Esperanza, esto servirá para determinar los minerales presentes y los que tienen valor económico para la empresa, además contribuirá en la búsqueda de nuevas zonas favorables para su explotación, por lo que esta investigación servirá para trabajos próximos en la zona.

Como objetivo general tenemos: Determinar la zonificación y reconocimiento mineralógico en la veta chibola, Mina Nueva Esperanza -Nivel 2, Algamarca, 2022. Y como objetivos específicos: Identificar la asociación mineralógica de minerales, determinar la paragénesis de los minerales, determinar los minerales mena y ganga además de diferenciar los tipos de alteración hidrotermal

La presente investigación se ha dividido en cinco capítulos; como Capítulo I tenemos la Introducción, donde se presenta el planteamiento del problema de investigación, la formulación de este, la hipótesis, los alcances de esta, las limitaciones y los objetivos del proyecto. En el Capítulo II que corresponde al Marco Teórico, contiene los antecedentes teóricos de la investigación, las bases teóricas usadas, y la definición de los términos básicos que se han empleado para la resolución de la investigación. En el Capítulo III correspondiente a los materiales y métodos se describe el procedimiento utilizado en la investigación, los instrumentos de recolección de datos empleados y los resultados obtenidos. En el Capítulo IV corresponde al análisis y discusión de resultados, presenta la interpretación de los resultados obtenidos de la investigación. Por último, el capítulo capítulo V se presentan las conclusiones y recomendaciones a las que se han llegado al finalizar la investigación.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS

2.1.1. Internacionales

Chinchilla (2018), en su informe de investigación, Caracterización y modelización metalogenética del yacimiento de Zn-Pb-Ag de Patricia (Proyecto Paguanta, NE Chile). concluyen que la estructura que muestran las vetas mineralizadas de Patricia es el resultado de la deformación progresiva de un bloque formado entre dos fallas de desgarre sinestrales de orientación ONO-ESE. A su vez, este bloque pudiera ser parte de una estructura de pull-apart a mayor escala y estar en relación genética con el sistema de fallas de Domeyko.

Aguilar (2020), en su tesis de titulación, Caracterización mineralógica del sistema de vetas del área minera Barbasco Unificado, cantón Portovelo, provincia de El Oro, Demuestra que la mineralización está alojada en rocas volcánicas pertenecientes a la Unidad Portovelo del grupo Saraguro. Los minerales que conforman la mena son: (40%) pirita, (30%) calcopirita y (15%) esfalerita, con contenidos menores de (10%) galena, (3%) calcosina, (2%) covelina y (<1%) oro.

2.1.2. Nacionales

Quispe (2020), en su tesis, Caracterización Minerográfica de la Veta 722, U.E.A. San Cristóbal – Yauli La Oroya 2018, se clasificaron en Fase A: conformada por cuarzo, pirita, arsenopirita, pirrotita, marmatita, calcopirita I. Fase B: tenantita – tetraedrita, freibergita, bournonita, esfalerita, calcopirita II, galena. Fase C:

marcasita, ankerita – siderita y como minerales secundarios la hematita I y II, covelita, magnetita.

Vila (2021), en su investigación, Distribución Mineralógica Y Composicional En Las Vetas Cordilleranas De Zn-Pb-Ag-Cu En El Distrito De San Cristóbal, Domo De Yauli, Perú Central, se han reconocido tres etapas de la paragénesis en estas zonas: (1) etapa cuarzo-pirita-wolframita, es la más temprana y además está compuesta por specularita, calcopirita, scheelita, emplectita, muscovita, illita, calcedonia; (2) etapa de metales base, es la más económica y está constituida por esfalerita (marrón oscuro a claro), calcopirita, galena ± (cobres grises, pirita, arsenopirita, pirrotita, illita, acantita); (3) etapa de carbonatos, es la más tardía y está dividida en dos sub-etapas. Esto revela un ambiente de formación epitermal con altas y bajas salinidades, donde el zonamiento metálico es marcado por gradientes de temperatura (~100 °C a través de la paragénesis).

2.1.3. Locales

Cacho (2021), En su tesis, Estudio Mineralógico Y Alteraciones Hidrotermales En Compañía Minera San Nicolás S.A. Hualgayoc-Cajamarca, se determinó que la alteración principal es silícica con moderada piritización y presentando un zonamiento externo de argilización en las secuencias calcáreas, la mineralogía de mena, ganga y alteraciones hidrotermales definen un sistema de tipo alta e intermedia sulfuración asociada a la mineralización fina de oro principalmente y polimetálica.

Huaripata (2016), en su tesis realizada, Caracterización Mineragráfica De Las Vetas Laca y Recuperada, Del Cerro La Chilca, Cajabamba-Peru. Se identificó las principales asociaciones mineralógicas de las vetas, siendo en la veta Baca: óxidos de cobre, goethita, limonita, digenita, pirita, calcopirita, cobre gris 1, enargita y en la veta Recuperada: óxidos de cobre, goethita, digenita, covelita, pirita, calcopirita, enargita, esfalerita, cobres grises, cobre gris 2, arsenopirita. A

La secuencia paragenética establecida para las vetas, se clasificó en minerales tempranos y tardíos. La enargita y los cobres grises son minerales asociados a yacimientos epitenales de alta sulfuración,

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Depósitos Epitermales

Estos depósitos se forman entre 1 – 2 km de profundidad a partir de fluidos hidrotermales con temperaturas que oscilan de <150°C hasta 300 °C. En su mayoría, están asociados a rocas volcánicas terciarias, en zonas de subducción (márgenes de placa), y pertenecientes a diferentes épocas. También están asociados a marcos tectónicos tipo rifts en zonas tras arco. (Cruz ,2008).

Los depósitos de tipo epitermales se encuentran asociados a estructuras de origen volcánico como calderas, domos, zonas de brecha, sistemas regionales de fallas, fractura miento, su forma y mineralogía es controlada por una serie de condiciones físicas y químicas tanto de los fluidos en ascenso, como de las rocas y estructuras involucradas. estos factores son: la geología regional, condiciones químicas y termodinámicas de los fluidos mineralizantes, características hidrológicas de la zona (topografía, permeabilidad, sistemas de recarga y descarga), acceso de aguas calientes por vapor y el desarrollo de permeabilidad contemporánea al hidrotermalismo y/o cambios en el gradiente hidráulico de la zona (Cruz, 2008).

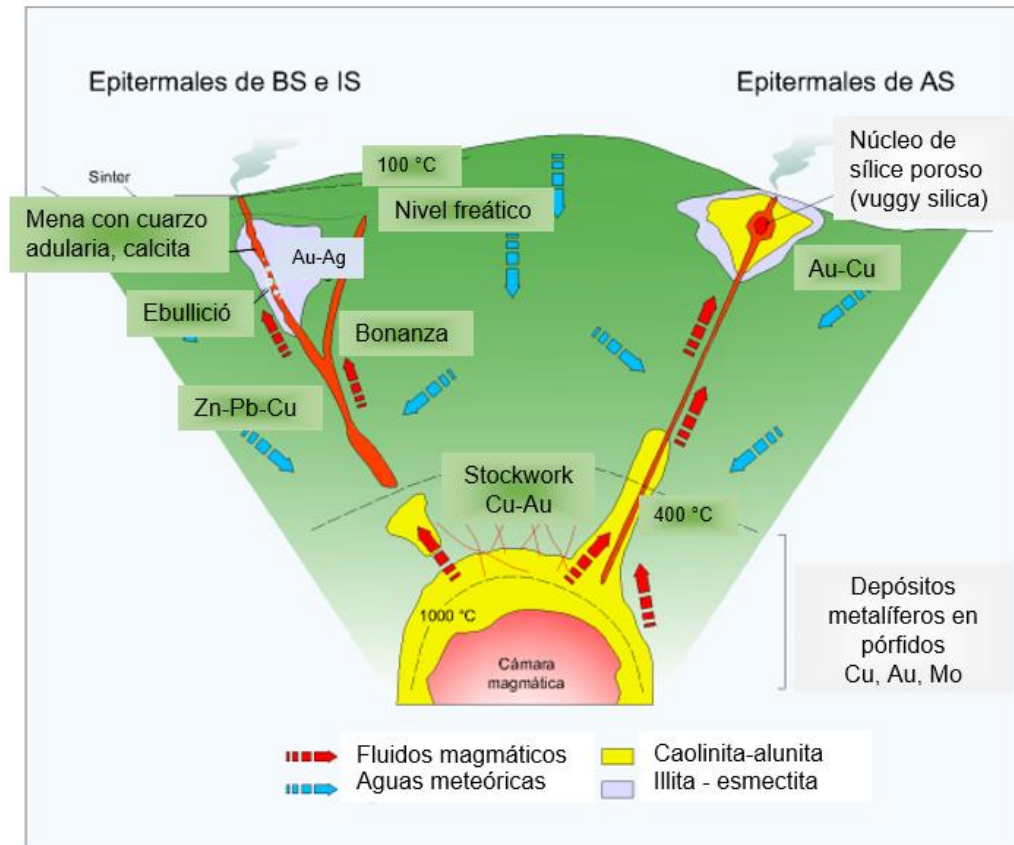


Imagen N°1: Modelo conceptual simplificado de los Depósitos Epitermales de Baja Sulfuración (BS), Intermedia Sulfuración (IS) y Alta Sulfuración (AS) (Cruz, 2008).

2.2.2. Formación de los Depósitos Epitermales

Una gran porción de yacimientos emplazados en las franjas Metalogenéticas fue mineralizada por fluidos hidrotermales y por aguas meteóricas.

En profundidad se tiene mayor presión y temperatura, cerca de la superficie la presión y temperatura disminuyen, en esta última condición decrece la solubilidad de los iones complejos en los fluidos hidrotermales, produciéndose las precipitaciones para formar las estructuras mineralizadas. El flujo hidrotermal a profundidad es ligeramente ácido, al reaccionar dicho flujo con la roca encajonante durante su ascenso, baja la acidez y se produce la precipitación de los minerales.

El agua meteórica como mineralizador tiene un papel importante en la meteorización química de los yacimientos primarios, produciendo un lavado o lixiviación. En el afloramiento, con acción del oxígeno se produce una zona de oxidación, en ambas zonas el agua forma sulfatos solubles, el cual desciende hasta la capa freática y ocurre un proceso de reemplazamiento de iones metálicos de Cu, Ag, Zn, los cuales

reemplazan al Fe de los sulfuros de los yacimientos y forman una zona de sulfuros secundarios o zona de enriquecimiento secundario con un incremento de la ley inicial (Tumialán, 2003).

Los fluidos formadores de depósitos epitermales pueden evolucionar desde un fluido temprano sumamente reactivo, que interacciona fuertemente con las rocas encajantes en profundidad, hasta un fluido más reducido, eventualmente de carácter más bien correspondiente a BS, que puede originar la mineralización. En ambos casos, los principales fluidos involucrados en la formación de los depósitos son, bien de origen magmático, bien de origen meteórico, aunque en algunos casos se han hallado contribuciones de agua marina, sea en depósitos epitermales o en sus análogos geotérmicos actuales (Camprubí & Albinson, 2006).

2.2.3. Migración de los Fluidos Mineralizantes

En las estructuras mineralizadas, la migración de los fluidos hidrotermales se ha realizado, de zonas de mayor a menor presión y temperatura, por los sectores más permeables.

Las estructuras mineralizadas, en profundidad están sometidas a una mayor presión y temperatura respecto a las partes de menor profundidad. Estas condiciones favorecieron una migración de los fluidos hidrotermales, a manera de disseminación en las cajas de los conductores mineralizaste visible, en las vetas del stockwork de los pórfidos de cobre. La migración produce reemplazamiento en rocas favorables a este proceso de mineralización.

La migración de los citados fluidos hidrotermales asciende por fallas y fracturas formando vetas, como controles estructurales comunes que han influenciado en la migración de los fluidos hidrotermales se tiene: fallas normales, fallas inversas, fallas dextrales y sinestrales. (Tumialán, 2003).

En la migración de las aguas meteóricas al igual que el oxígeno son un factor importante(mineralizadores), en el proceso de lixiviación y oxidación de las estructuras mineralizadas primarias metálicas, dando origen a zonas lixiviadas de

5m a 10m en su parte superior, y zonas oxidadas de 60 m a 100m sobre el nivel freático.

En la zona de lixiviación y oxidación el agua meteórica desciende por gravedad actuando el oxígeno según la permeabilidad de la estructura mineralizada. El descenso es mayor en las zonas de fallamiento o fracturamiento posterior a la mineralización, llegando en estas zonas hasta una profundidad de 250 m.

Debido a este proceso de lixiviación y oxidación originado por aguas meteóricas al lavar ciertos elementos de los minerales en las zonas superficiales de los yacimientos, se origina una liberación de iones metálicos que son transportados y luego depositados en la zona de enriquecimiento de sulfuros secundarios de 60m a 150 m verticales ubicados debajo de la zona de óxidos.

Como resultado de este proceso se produce una zona de sulfuros de enriquecimiento secundario, de mayor ley de cobre en la zona de enriquecimiento secundario en los diferentes pórfidos del Perú (Tumialán, 2003).

2.2.4. Tipos de Depósitos Epitermales

Según las características químicas de los fluidos mineralizantes en un ambiente epitermal, los depósitos de este tipo se pueden clasificar como: de Baja Sulfuración (BS), Intermedia Sulfuración (IS) y de Alta Sulfuración (AS), y se refieren al estado de oxidación de azufre.

Los depósitos de AS también son conocidos como: oro-enargita y cuarzo-alunita, se les denomina de así debido a que en los fluidos mineralizantes, el azufre se presenta como S_4 + en forma de SO_2 , con un pH ácido, y se encuentran en sistemas volcánicos hidrotermales (Cruz, 2008).

En los depósitos de BS o adularia-sericita, el azufre se presenta como S_2 - en forma de H_2S (reducido) y un pH cercano a neutro, en sistemas geotermales distales a la fuente de calor en Cruz (2008), dominado por aguas cloruradas donde hay un fuerte flujo de circulación de aguas a profundidad (principalmente de origen meteórico), conteniendo CO_2 , $NaCl$ y H_2S (González, 2009).

Ambos sistemas, aunque presentan diferentes características, pueden coexistir uno al lado del otro.

Los fluidos de BS regularmente dan origen a cuerpos como vetas o series de vetas, zonas de stockwork o “sheeted veins”, por lo general, originados mayoritariamente a partir de aguas meteóricas. La química de los fluidos en campos geotérmicos actuales, de pH aproximadamente neutro, está determinada por la interacción de las celdas de convección del agua meteórica con las rocas encajantes a niveles intermedios, aunque normalmente se infiere una componente indeterminada de fluidos magmáticos en profundidad.

En contraste, los fluidos mineralizantes en epitermales de AS son de mayor temperatura y acidez, alcanzan a penetrar en rocas encajonantes, dando origen a cuerpos mineralizados vetiformes y cuerpos irregulares diseminados, son de origen mayoritariamente magmático, pudiéndose mezclar con aguas meteóricas a diferentes profundidades. En el caso de los depósitos epitermales de SI, la composición de los fluidos a partir de los cuales se formaron es también intermedia, entre magmáticos y meteóricos

Las características claves que distinguen a un depósito epitermal son particularmente mineralógicas, con los minerales de ganga y las alteraciones hidrotermales. La mineralogía económica principal de los depósitos de BS es de Au, Ag y cantidades menores de Pb, Zn, y Cu, también cuarzo, calcedonia, carbonatos, pirita como ganga (Cruz, 2008).

Los minerales de ganga característicos del estado de BS son: cuarzo (incluyendo calcedonia), pirita, esfalerita, arsenopirita, pirrotita y loellingita; y una alteración argílica-sericítica caracterizada por cuarzo, adularia, illita y calcita (Tabla N°1) (González, 2009).

En cambio, en los de AS, se tienen cantidades económicas de Au, menores Ag y Cu, y ganga de cuarzo, alunita, pirita, barita, enargita, calcosina, covelita, bornita, esfalerita, tetraedrita, tenantita, galena, marcasita, arsenopirita y sulfosales de plata (Cruz, 2008).

Los minerales de ganga característicos del estado de AS son: alto contenido de pirita, enargita, luzonita, digenita, calcosina, famatinita, covelita; y una alteración argílica avanzada caracterizada por cuarzo, cuarzo residual (“vuggy”), alunita, pirofilita y caolinita/dickita.

Los depósitos del subtipo de Sulfuración Intermedia son estructuralmente muy similares a los de Baja Sulfuración, ambos conforman el conjunto de Epitermales Alcalinos según Sillitoe (1977), aunque las características geoquímicas de los fluidos mineralizantes asociados y de las mineralizaciones metálicas en Sulfuración Intermedia suele guardar una mayor afinidad con los depósitos de Alta Sulfuración (González, 2009).

Tabla N°1: Minerales en varios estados de pH, estados de sulfuración y oxidación, usados para distinguir ambientes epitermales formadores de mineral

PH ácido		PH neutro
Alunita, caolinita(dickita), pirofilita, silice residual, cuarzo vuggy	Sulfuración Intermedia Tennantita, tetraedrita, hematita-pirita-magnetita,	Cuarzo-adularia +/- illita, calcita
Alta Sulfuración	pirita, calcopirita, esfalerita-pirita pobre en Fe	Baja Sulfuración Arsenopirita-loellingita- pirrotina, pirrotina, esfalerita-pirita rica en Fe
Pirita-enargita, +/- luzonita, Covelita-digenita, famatinita, oropimente		
Oxidado		Reducido
Alunita, Hematita- magnetita		Magnetita-pirita-pirrotina, clorita-pirita

Fuente: Tomado de González, 2009.

2.2.5. Alteraciones Hidrotermales

La alteración hidrotermal es un término general que incluye la respuesta mineralógica, textural y química de las rocas a un cambio ambiental, en térmicos químicos y termales, en la presencia de agua caliente, vapor o gas. La alteración hidrotermal ocurre a través de la transformación de fases minerales, crecimiento de

nuevos minerales, disolución de minerales y/o precipitación, y reacciones de intercambio iónico entre los minerales constituyentes de una roca y el fluido caliente que circuló por la misma. Aunque la composición litológica inicial tiene una influencia en la mineralogía secundaria (hidrotermal), su efecto es menor que el debido a la permeabilidad, temperatura y composición del fluido. En efecto, la temperatura del fluido y el pH de este son los factores más relevantes en la asociación mineralógica resultante de los procesos de alteración hidrotermal, más que la litología.

La susceptibilidad a la alteración es variable en los minerales primarios de las rocas. La característica esencial de la alteración hidrotermal es la conversión de un conjunto mineral inicial en una nueva asociación de minerales más estable bajo las condiciones hidrotermales de temperatura, presión y sobre todo de composición de fluidos. La textura original de la roca puede ser modificada ligera o completamente obliterada por la alteración hidrotermal. La alteración hidrotermal es un tipo de metamorfismo que involucra la recristalización de la roca a nuevos minerales más estables bajo las condiciones hidrotermales. La característica distintiva de la alteración hidrotermal es la importancia del fluido hidrotermal en transferir constituyentes y calor. En efecto, la alteración hidrotermal involucra la circulación de volúmenes relativamente grandes de fluidos calientes atravesando las rocas permeables debido a la presencia de fisuras o poros interconectados.

La alteración hidrotermal produce un amplio rango de mineralogía, abundancia mineral y texturas en distintas rocas. Esto hace que sea complicado tener un criterio uniforme para la clasificación de tipos de alteración. Los autores de mapeos y de estudios de alteración generalmente han simplificado sus observaciones clasificando las rocas alteradas en grupos.

El método más simple es mediante la utilización del mineral más abundante y obvio en la roca alterada. De ahí derivan denominaciones como:

1. Silicificación: sílice o cuarzo
2. Sericitización: sericita
3. Argilización: minerales de arcilla
4. Cloritización: clorita

5. Epidotización: epidota

6. Actinolitización: actinolita

Aunque esta nomenclatura simple se emplea comúnmente, en realidad los minerales de alteración no se presentan individualmente, sino que forman ciertos grupos o asociaciones de minerales de alteración (Maksaev, 2001).

Meyer y Hemley (1967) clasificaron la alteración hidrotermal en los tipos: propilítica, argílica intermedia, argílica avanzada, sericítica y potásica.

Propilítica: Presencia de epidota y/o clorita y ausencia de un apreciable metasomatismo catiónico o lixiviación de alcalis o tierras alcalinas; H₂O, CO₂ y S pueden agregarse a la roca y comúnmente se presentan también albita, calcita y pirita. Este tipo de alteración representa un grado bajo de hidrólisis de los minerales de las rocas y por lo mismo su posición en zonas alteradas tiende a ser marginal.

Argílica Intermedia: Importantes cantidades de caolinita, montmorillonita, smectita o arcillas amorfas, principalmente reemplazando a plagioclasas; puede haber sericita acompañando a las arcillas; el feldespato potásico de las rocas puede estar fresco o también argilizado. Hay una significativa lixiviación de Ca, Na y Mg de las rocas.

La alteración argílica intermedia representa un grado más alto de hidrólisis relativo a la alteración propilítica. Sericítica o cuarzo-sericítica: Ambos feldespatos (plagioclasas y feldespato potásico) transformados a sericita y cuarzo, con cantidades menores de caolinita. Normalmente los minerales máficos también están completamente destruidos en este tipo de alteración.

Argílica avanzada: gran parte de los minerales de las rocas transformados a dickita, caolinita, pirofilita, diásporo, alunita y cuarzo. Este tipo de alteración representa un ataque hidrolítico extremo de las rocas en que incluso se rompen los fuertes enlaces del aluminio en los silicatos originando sulfato de Al (alunita) y óxidos de Al (diásporo). En casos extremos la roca puede ser transformada a una masa de sílice oquerosa residual ("vuggy silica" en inglés).

Potásica: Alteración de plagioclasas y minerales máficos a feldespato potásico y/o biotita. Esta alteración corresponde a un intercambio catiónico (cambio de base) con la adición de K a las rocas. A diferencia de las anteriores este tipo de alteración no implica hidrólisis y ocurre en condiciones de pH neutro o alcalino a altas temperaturas (principalmente en el rango 350°-550°C. Por esta razón, frecuentemente se refiere a la alteración potásica como tardimagmática y se presenta en la porción central o núcleo de zonas alteradas ligadas al emplazamiento de plutones intrusivos (Maksaev, 2001).

2.2.6. Análisis Mineralógico

Es una técnica dedicada a la identificación de los minerales, al conocimiento detallado de sus propiedades físicas y químicas.

Aunque las aplicaciones son múltiples y variadas, estas pueden ser resumidas en dos:

- Investigación mineralógica de menas.
- Estudio de los productos provenientes del tratamiento de minerales.

El análisis químico de una mena, aparte de indicar la cantidad de elementos presentes, nos proporciona información sobre las características principales de cada uno de los minerales que constituye la mena (Guerra, 2019).

2.2.7. Estudio Minerográfico

La caracterización mineralógica es la descripción cualitativa y cuantitativa de las masas minerales desde el punto de vista mecánico, físico, químico y mineralógico, además suministra información importante que permite el diseño, la operación y el control de procesos industriales. En dicha caracterización se realiza un análisis macroscópico de las muestras, identificando la estructura, textura y composición. Posteriormente se desarrolla el análisis microscópico sobre las secciones delgadas y pulidas, que permite identificar el tamaño y ocurrencia del metal de interés en el mineral, además de los minerales que componen la ganga y la mena.

El estudio microscópico de los minerales de mena involucra, no sólo la identificación de un grano mineral individual, sino que también la interpretación de las texturas minerales, es decir, las relaciones espaciales existentes entre los granos. Barton (1991) estableció que la interpretación de texturas es uno de los aspectos más difíciles e importantes del estudio de las rocas y minerales de mena. Las texturas minerales pueden ayudar a identificar la naturaleza de procesos tales como, precipitación inicial de la mena, re-equilibrio post-depositacional, deformación, etc. El reconocimiento e interpretación de texturas es sin lugar a dudas el paso más importante, no sólo para realizar una adecuada interpretación a partir de resultados analíticos, sino que también para entender el origen y la historia de formación de un yacimiento.

La descripción mineralógica y textural debe ser complementada con la determinación de la composición química de los minerales de mena. Esto se debe a que, durante el proceso de evolución de un yacimiento y los consecuentes cambios en sus condiciones de formación, se puede dar lugar a la precipitación de minerales que por simple observación microscópica no es posible definir (Tristá, 2007).

Considerando las distintas relaciones texturales y asociaciones mineralógicas, se establece su secuencia paragenética de formación.

Las propiedades físicas de los minerales son de gran importancia. Dureza, clivaje, brillo y fracturamiento afectan el comportamiento de las menas (Valeriano, 2018).

2.2.8. Propiedades de los Minerales

Las propiedades físicas pueden ser generales o específicas.

Las generales, son: Los minerales internamente son de estructura cristalina y externamente se pueden expresar con variación en el número y tamaño de sus caras.

Las específicas son: Crucero o Clivaje, fractura, dureza, tenacidad, peso específico, propiedades ópticas y propiedades electromagnéticas.

Dureza: Es la capacidad que tiene un mineral para rayar o dejarse rayar por otros minerales u objetos; se relaciona con la fuerza de los enlaces químicos en su estructura cristalina.

Tenacidad: Es la resistencia del mineral a diferentes tipos de esfuerzos; si se deja romper, desgarrar, moler o doblar.

Peso específico: Es el peso de la muestra sobre el peso del agua a 4°C, cuando de ambas sustancias se contrastan volúmenes iguales.

Propiedades ópticas: Dependen de la manera como la luz se refleja o refracta en los minerales, de acuerdo con su estructura y composición.

La diafanidad: Si la luz se refracta coherentemente, el mineral será transparente como en el Diamante y el Espato de Islandia; si lo hace de manera incoherente será traslúcido como en la Baritina, pero si la luz se refleja o es absorbida como en la Galena, la muestra será opaca.

Brillo: Es el grado de reflexión que experimenta la luz en los cuerpos opacos. Si la reflexión es coherente (la superficie de rebote es pulida), el brillo será máximo (metálico). Si la reflexión es incoherente (la superficie de rebote es rugosa), el brillo será nulo (mate).

Color: Dependiendo de la forma como la luz se refracte, se refleje o se disperse, nuestros ojos percibirán los colores de los materiales desde claros a oscuros y en tonalidades del azul al rojo. Podemos encontrar minerales opacos, metálicos y transparentes.

Espectro: Es la forma como se descompone la luz al refractarse oblicuamente en el material.

La raya o huella: Es el color del polvo resultante de frotar o triturar una muestra sobre la superficie de un objeto de porcelana áspera blanca (dureza alrededor de 7), sin hacer mucha presión.

Los sistemas cristalinos: Son las células elementales posibles de los cristales, pueden darse 32 clases y por la disposición de ángulos y ejes, 230 grupos espaciales (Vallejo, 2014).

2.2.9. Mineralogía Química

De acuerdo con la composición química, los minerales se agrupan en silicatos, óxidos, sulfuros, sulfatos, carbonatos, elementos nativos y otros grupos menores (Vallejo 2014).

Los silicatos: Se subdividen en ferromagnesianos y no ferromagnesianos; se trata de la unión de un catión más el anión SiO^{-4} .

Los óxidos: Son la unión de un elemento con el oxígeno; se caracterizan por ser menos duros que los silicatos, pero menos pesados que los sulfuros; en este grupo se encuentran las principales menas (vetas de un metal económicamente explotable) de hierro, magnesio, estaño, cromo y aluminio. Los prototipos son: casiterita, corindón, cromita, hematita, magnetita, pirolusita y cromita (tipo de espinela).

Los sulfuros: Unión de un elemento con azufre; se encuentran allí las menas comercialmente más importantes de hierro, plata, cobre, mercurio, zinc y plomo. Sus prototipos son: pirita, galena, esfalerita, calcosina, marcasita y cinabrio.

Grupo de los elementos. Cerca de veinte elementos encontramos en la naturaleza sin combinarse químicamente con otros o en ocasiones como mezclas homogéneas de dos o más. En general son muy escasos. Entre los metales se destacan el oro, la plata y el cobre y entre los no metales se pueden citar el azufre, el grafito y el diamante (Vallejo, 2014).

2.2.10. Texturas de Depósitos Hidrotermales

En la exploración de yacimientos de minerales metálicos, una manera para predecir el zonamiento es mediante la determinación de la secuencia paragenética de sus estructuras mineralizantes, dicha secuencia paragenética se obtiene estudiando

sus texturas de cristalización. Se expone en primer lugar las texturas de mineralización, luego la secuencia paragenética, seguida por el zonamiento. La textura es el estudio de los granos de la mineralización, el tamaño de estos, su forma cristalizada y la relación entre los minerales (Tumialán 2003).

Las texturas de menas y gangas entregan información respecto al origen e historia de los depósitos minerales. Las texturas de los depósitos minerales varían de acuerdo con si su constituyente mineral se formó por depositación en un espacio abierto a partir de una solución acuosa, silicatada o por reemplazo de minerales pre-existentes. La superposición de metamorfismo puede alterar o modificar drásticamente la textura primaria, lo que debe ser considerado al interpretar la génesis de un depósito mineral. (Park & MacDiarmid, 1981).

2.2.11. Paragénesis de los Minerales

La paragénesis indica la evolución de los fluidos durante la formación de depósitos minerales, esta se determina principalmente en base a estudios microscópicos con luz reflejada de secciones pulidas, utilizando los criterios texturales (Maksaev, 2001).

La composición de un fluido mineralizado cambia gradualmente mientras migra desde su fuente a sectores de menor presión, perdiendo calor al entrar en contacto con rocas más frías y al reaccionar con estas su composición química, pH y otras propiedades cambian.

Al ocurrir estos cambios físicos y químicos, los minerales de mena y ganga se aproximan a sus respectivas constantes de equilibrio y son depositados en cierto orden cronológico, ha esto se le conoce como secuencia paragenética o paragénesis de un depósito mineral. Esta depositación secuencial provee un registro detallado de la evolución en tiempo y espacio de una solución mineralizadora (Maksaev 2001).

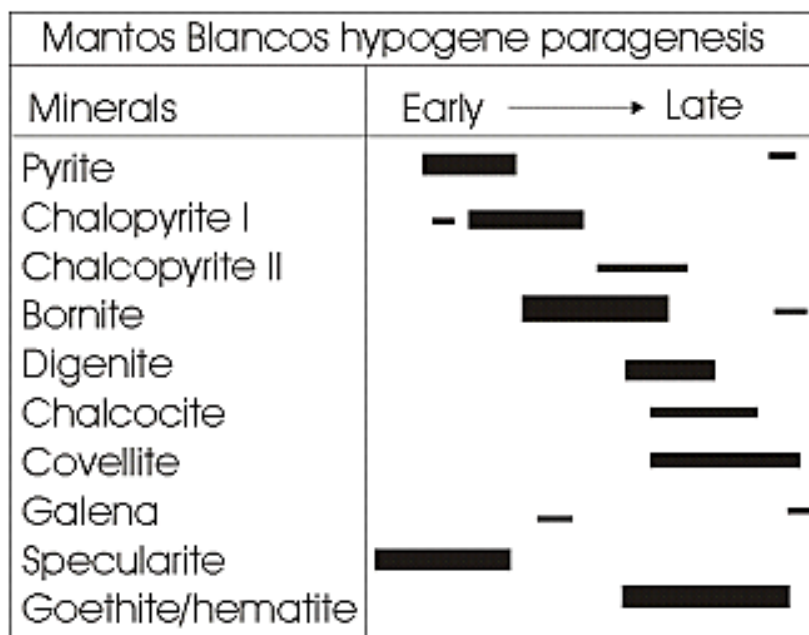


Imagen N°2: Abundancia relativa de los minerales (Chávez, 1985).

La imagen N°2 indica la paragénesis del yacimiento estratoligado de cobre con plata, el que muestra que la pirita-calcopirita-bornita se depositaron primero seguidas por cantidades subordinadas de calcosina-covelina -digenita hipógenas acompañadas de hematita. Esta secuencia paragenética indica un aumento gradual de la proporción de cobre en los sulfuros y probablemente una disminución de la actividad del azufre en los fluidos mineralizadores con el tiempo.

La secuencia paragenética se caracteriza por el sucesivo reemplazo de sulfuros ricos en Fe (pirita, calcopirita) por sulfuros ricos en Cu (bornita, calcosina, covelina, digenita) lo que puede explicar la liberación de Fe y la formación de hematita hipógena que acompaña a los sulfuros en el yacimiento (Maksaev, 2001).

En los depósitos de Sulfuración Intermedia, la paragénesis mineral suele estar constituida por esfalerita pobre en FeS, galena, pirita, calcopirita, tetraedrita-Tennantita y diferentes sulfosales de ag. La illita constituye el principal mineral de alteración, siendo también muy importante la alteración propilítica. Según Albinson et al., (2001), los fluidos mineralizadores se caracterizan presentar salinidades entre 7 y 23 % equiv. NaCl, temperaturas que oscilan entre 230 y 300° C, y profundidades de formación inferiores a 1 km. (Chinchilla, 2018).

Por el contrario, en los epitermales de Baja Sulfuración, la paragénesis mineral está dominada por pirita, arsenopirita, sulfosales de Ag, electrum y cantidades minoritarias de esfalerita rica en FeS. En estos depósitos, la alteración es menos intensa que en las mineralizaciones de Sulfuración Intermedia, y está constituida por cantidades variables de illita y clorita. Por su parte, los fluidos mineralizadores generalmente tienen salinidades inferiores a 3 % equiv. NaCl y temperaturas menores a 240° C (Albinson et al., 2001). Las profundidades de formación son ~ 300 metros (Chinchilla, 2018).

Algunos diagramas de la secuencia paragenética muestra las alteraciones hipógenas de caja de las estructuras mineralizadas, que generalmente preceden a la etapa de metalización hipógena.

El orden de mineralización por lo general está en relación directa a la temperatura de deposición, es decir a mayor temperatura se depositan los primeros minerales, a menor temperatura se depositarán los minerales de última deposición, por último, a temperatura ambiente se formarán los minerales por proceso supérgeno (Tumialán, 2003).

2.2.12. Zonificación de Minerales

La distribución espacial se conoce como zonación, esta es consecuentemente cualquier patrón regular en la distribución de minerales o elementos en el espacio en yacimientos minerales, el cual puede manifestarse a nivel de depósito individual (zonación de depósito mineral), en un distrito minero (zonación distrital) o en una región más grande (zonación regional). Las zonaciones mineralógicas reflejan las distintas condiciones fisicoquímicas existentes en distintos sectores de un sistema hidrotermal, pero puede darse el caso de traslapes de zonas con asociaciones minerales que reflejan por ejemplo distintas condiciones de presión y temperatura.

Los patrones de zonación corresponden a cambios mineralógicos tanto en la vertical, como en la horizontal en áreas mineralizadas. Las zonas pueden ser definidas por diferencias en los elementos metálicos y contenido de elementos trazas, diferencias en el contenido de azufre o incluso en sutiles diferencias entre razones de ciertos elementos. En la delimitación de cuerpos de mena de interés económico, los cambios zonales a menudo son buenos indicadores si el mineral

tendrá mayor extensión o se cerrará durante la exploración avanzada y esto constituye una aplicación práctica de la zonación a nivel de un cuerpo mineral individual (Maksaev, 2001). El zonamiento de la alteración característica de los depósitos de Alta Sulfuración parte desde un núcleo silíceo constituido de cuarzo poroso, que alberga la parte más importante de la mineralización económica, seguido de alteración argílica avanzada constituida de cuarzo-alunita, caolinita e illita, para terminar en alteración propilítica que incluye la montmorillonita y clorita (González 2009).

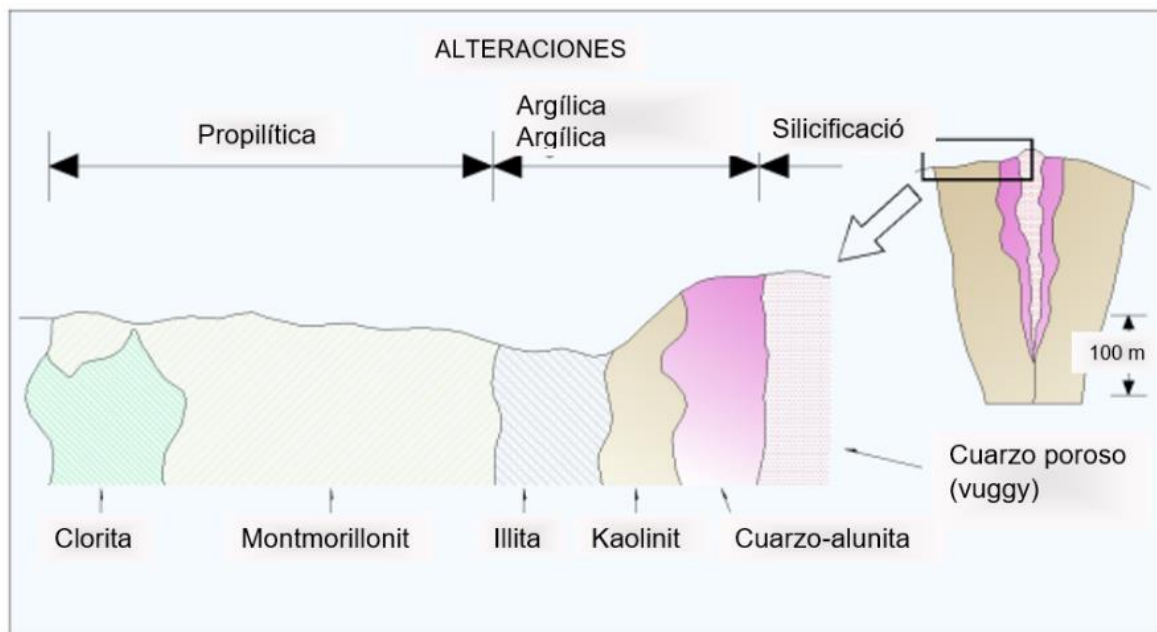


Imagen N°3: Zonamiento típico de alteración para un depósito de Alta Sulfuración (modificado de Stoffregen, 1987) (González, 2009).

Por otro lado, el zonamiento en los depósitos de baja e intermedia sufuración, se inicia a partir de una estructura de cuarzo-sericita que contienen las menas metálicas, con el desarrollo de un halo de alteración argílica a sericítica, seguida de alteración argílica avanzada, para terminar con alteración propilítica (González, 2009).

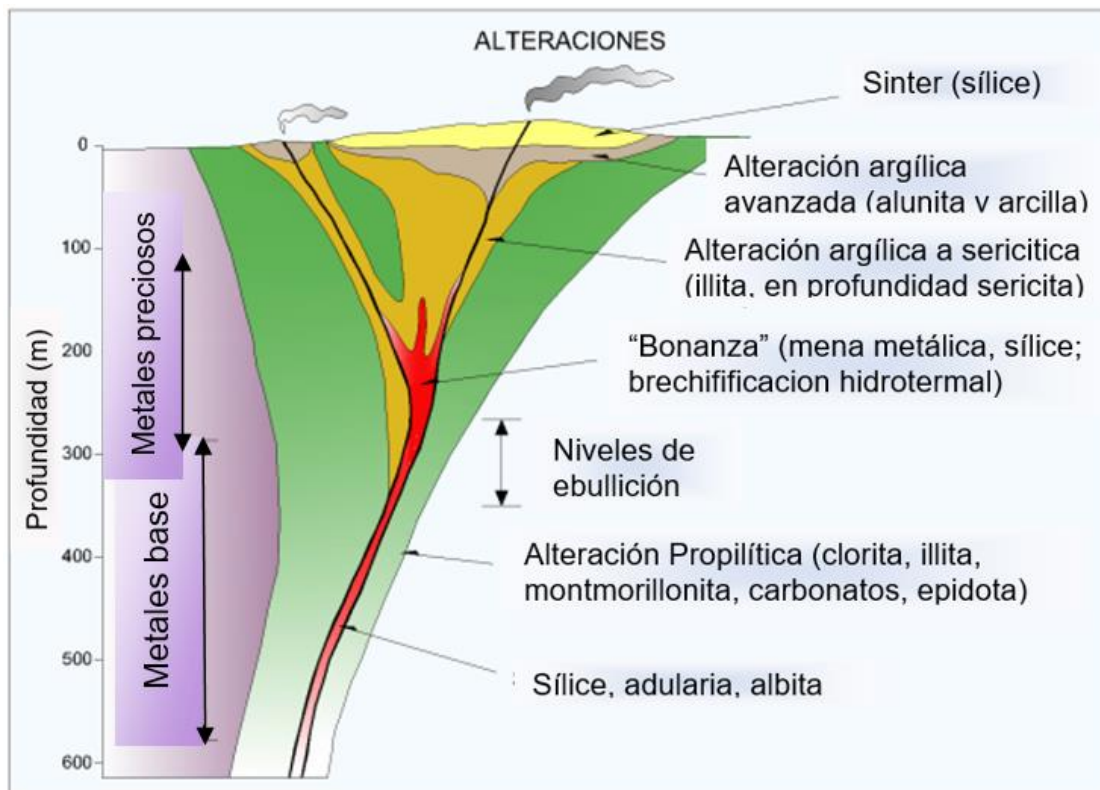


Imagen N°4: Zonamiento típico de alteración para los depósitos de Baja e Intermedia Sulfuración (modificado de Buchanan, 1981) (González, 2009).

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Lixiviación: Proceso que sufren los minerales, rocas y suelos, de ser lavados por las aguas de precipitación pluvial, al pasar por permeabilidad o percolación de la superficie al subsuelo, las cuales disuelven ciertos minerales de menor estabilidad (anhidrita, sulfuros. etc) durante el proceso (Dávila, 2011).

Ganga: Es el conjunto de rocas y/o minerales sin rendimiento económico que contiene minerales de buen valor económico o útiles (Dávila, 2011).

Gossan: Alteración de los minerales de los filones o vetas, generalmente oxidación dando coloración oscura y alineado señalando la presencia de una veta (Dávila, 2011).

Mineral: Un mineral es una sustancia inorgánica natural, que posee estructura atómica y composición definida, que en ocasiones se puede encontrar asociado con otros tipos de roca (UNAP, 2014).

Mena: Es el mineral de interés económico. Contiene los elementos o compuestos que se extraen y procesan para obtener metales o minerales valiosos. La mena es lo que justifica la actividad minera y su explotación comercial (Dávila, 2011).

Oxidación: Proceso de meteorización química mediante el cual los elementos metálicos o un mineral adicionan a su constitución molecular elementos de oxígeno o del ión oxidrilo (-OH) (Dávila, 2011).

Yacimientos: Lugar o terreno donde se ubican minerales de rendimiento económico o fósiles (Dávila, 2011).

Zona de enriquecimiento: Reprecipitación de sulfuros y óxidos por el descenso de aguas subterráneas ácidas, las cuales han lixiviado zonas superficiales de un depósito mineral (ver gossan); este proceso mejora los depósitos in situ, como sucede en los depósitos de cobre porfirítico (Dávila, 2011).

Veta: Estructura paralelepípeda, generalmente mineralizada, presenta una potencia, un largo y una profundidad. Las vetas son generalmente el producto del relleno de fracturas o fallas por procesos hidrotermales (Huaripata, 2016).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD

3.1.1. Ubicación Política

La mina Nueva Esperanza- Nivel 2, se ubica en el Centro Poblado de Algamarca, en el Distrito de Cachachi, Provincia de Cajabamba, Región y Departamento de Cajamarca. (VER ANEXOS - P1)

3.1.2. Ubicación Geográfica

El área de investigación geográficamente se encuentra ubicada en el cuadrángulo de Cajabamba, carta 16-g. Con sistema de coordenadas UTM: DATUM WGS-84, ZONA 17S. **N:** 9157520.26, **E:** 804356.457, **Z:** 3064 (VER ANEXOS – P2)

3.1.3. Accesibilidad

Para acceder a la Mina Nueva Esperanza- Nivel 2, se dirige por la carretera asfaltada Cajamarca - Cajabamba, hasta el cruce a Pomabamba, de ahí se parte con dirección hacia Algamarca, desde la plaza de Algamarca se toma la dirección NE de la carretera principal hasta la mina ya mencionada, en la tabla N°2 se puede observar el tiempo y los accesos que se debe seguir, la imagen 5 muestra el recorrido desde Cajamarca hasta el centro poblado Algamarca y la imagen 6 desde la plaza de Algamarca hasta la Mina Nueva Esperanza.

Tabla N°2: Accesibilidad al Área de Investigación

Desde	Hacia	Distancia	Tipo de vía	TIEMPO
Cajamarca	Cruce a	124km,	Carretera asfaltada	3 h.
Cruce a Pomabamba	Algamarca	38.6 km.	Carretera afirmada	57 min.
Algamarca	Mina Nueva Esperanza	0.50 km.	Carretera asfaltada	10 min

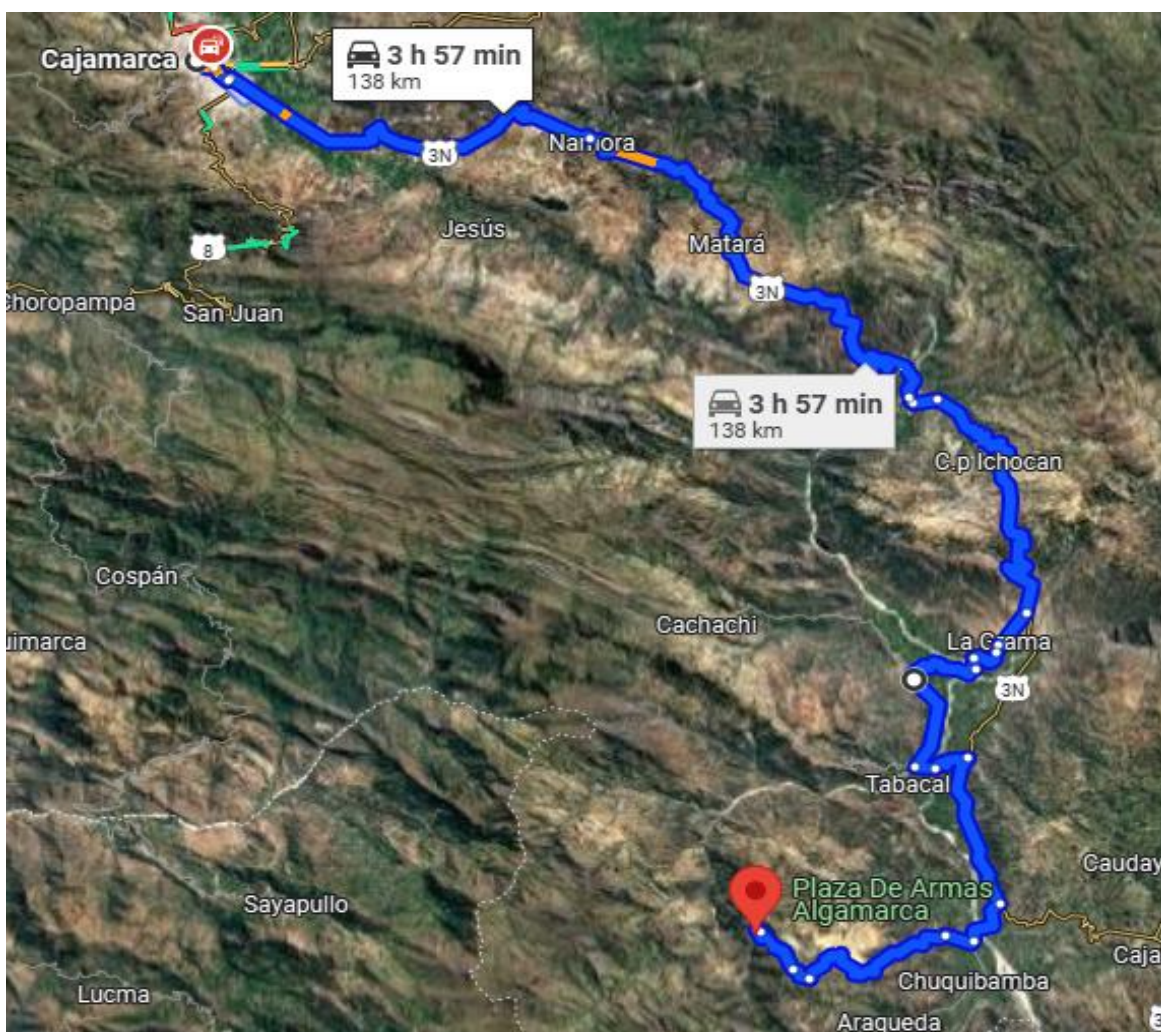


Imagen N°5: Acceso por Carretera de Cajamarca – Algamarca
Fuente: Google maps (2023)



Imagen N°6: Acceso a la mina Nueva esperanza desde la plaza de Algamarca
Fuente: Google earth (2023)

3.2. PROCEDIMIENTO Y TÉCNICAS DE RECOPIACIÓN DE DATOS

El procedimiento se engloba en 3 etapas principales, las cuales se describen las técnicas de recopilación de información para el logro de la culminación de la investigación, así mismo tenemos: etapa preliminar de gabinete en la que recolectamos información necesaria al tema seleccionado, etapa de campo, la cual se realizaron diversas visitas al área de investigación y por ultimo etapa de gabinete, en la que analizamos todos los datos obtenidos, a continuación se describen más detalladamente cada una de estas etapas.

3.2.1. Etapa Preliminar de Gabinete

En esta etapa se elige el tema de tesis de acuerdo con la línea de investigación seleccionada, una vez definida se busca información referente al tema de investigación, “zonificación y clasificación mineralógica”, mediante documentos como tesis, libros, artículos científicos, etc. De esta manera se determina los antecedentes y las bases teóricas necesarias, además se define la zona en la que se realizara dicha investigación.

3.2.2. Etapa de Campo

La etapa de campo consiste en la visita y exploración de la zona elegida para la investigación, en el presente caso la veta chibola, la cual ha sido explotada por la empresa HNS Consorcio, de aquí se recolectarán los datos necesarios para su posterior tratamiento y análisis, para esto se han ido recolectando distintas muestras de mano de toda la veta, clasificándolas por zonas, distancia en profundidad, tipos (óxidos y sulfuros), además la variación de la potencia de veta. Estos datos serán necesarios para poder realizar el proceso de presentación de resultados

3.2.3. Etapa Final de Gabinete

En la etapa final correspondiente a gabinete, realizaremos el procesamiento de los resultados, como son los obtenidos por las muestras enviadas a laboratorio, se dará a conocer las conclusiones a las cuales se ha llegado, las recomendaciones y la bibliografía que se usa para la elaboración del informe de tesis.

3.3. METODOLOGÍA

3.3.1. Tipo, Nivel, Diseño y Métodos de Investigación

Tipo: Cualitativo, la investigación será cualitativa porque se describen las características de los minerales que se encuentren en la veta chibola.

Nivel: Descriptivo-explicativo: se describirán los minerales pertenecientes a la veta chibola, como sus características físicas y ópticas, además del tipo de yacimientos que se encuentra en la zona de los cuales dieron origen a dichos minerales.

Diseño: la investigación es de tipo no experimental por lo que las variables no serán manipuladas, los datos serán obtenidos tan cómo se encuentra en la naturaleza sin alterarlas no se manipula ninguna variable independiente para ver sus efectos en las variables dependientes.

Método de investigación: Deductivo: partimos de lo general para llegar a hechos particulares, que comienza con la teoría, y de ésta se derivan expresiones lógicas. Inductivo: así mismo vamos de lo particular a lo general, por medio de los resultados de las observaciones para lograr un conocimiento apoyándose en las teorías existentes, (explorar y describir, luego generar perspectivas teóricas)

Tabla N°3: Clasificación según su metodología

Clasificación	Tipo de investigación
Tipo	Cualitativo
Nivel	Descriptivo - Correlativo - Explicativo
Diseño	No experimental
Método de investigación	Deductivo -Inductivo

Fuente: Modificado de Hernández et al, (2014)

3.3.2. Población de estudio

La población de estudio de la presente tesis es la mina Nueva Esperanza-nivel 2 perteneciente a la empresa minera H.N.S. SRL. la cual se encuentra con una extensión actual de 900 m. de longitud en galería principal con dirección SE. y con dirección NE. 504 m. en esta última dirección se encuentra la veta chibola, llegando a una profundidad de hasta 225m desde galería.

3.3.3. Muestra

Los puntos de muestreos representan la muestra de estudio, se recolectaron las diferentes muestras, se tuvo en cuenta todos los factores en el cual se encontraban cada una de estas para luego analizarlas, estas muestras fueron recolectadas a lo largo de toda la veta, en diferentes niveles por lo que cada una tiene sus propias características.

La veta chibola tiene una longitud de 160m. en galería principal, la cual varía de acuerdo con su profundidad llegando hasta los 225m.

3.3.4. Unidad de Análisis

La unidad de análisis de la presente investigación son todos los factores que ayudaron en la formación de los minerales así mismo tenemos la litología, estratificación, mineralización y alteraciones que se produjeron y están presentes los cuales dieron origen a la veta Chibola.

3.3.5. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Las técnicas que se usaran en el desarrollo de la presente investigación es la observación directa, se inicio con el reconocimiento de cada subnivel, las zonas de acceso y las condiciones en las que se encontraban, seguidamente se realizaron diversas visitas en las que se extrayendo muestras para su posterior análisis, se tomaron datos como potencia, longitud y profundidad de veta, esto datos ayudaran para la realización de la zonificación de esta, se recolectaron muestras necesarias, con ayuda de la picota de geólogo y bolsas de muestreo, se enviaron a laboratorio para que realicen las pruebas necesarias e identificar sus propiedades microscópicas, las cuales ayudara para el reconocimiento mineralógico e identificación de su paragénesis.

3.3.6. Técnicas para el procesamiento y análisis de la información

Se obtuvo el plano actualizado de la veta chibola, se inició con la ubicación de cada punto de muestreo, anotando los datos obtenidos en las visitas realizadas como potencia de vetas, longitudes, direcciones de fallas, así como el reconocimiento de los minerales y los cambios mineralógicos a lo largo de toda la veta, para la realización de los planos necesarios. Se obtuvieron los resultados de las muestras que se enviaron a laboratorio, reconociendo los minerales que no eran visible a simple vista, además de su asociación y paragénesis de cada uno de ellos, finalmente se analizaron las muestras extraídas determinado sus propiedades físicas y químicas para luego plasmarlas en el presente informe.

3.3.7. Materiales y Equipos

Equipos

Bolsas de muestreo: estas se usarán para guardar las muestras extraídas de la veta chibola.

Brújula Brunton: se usará para determinar la dirección y buzamiento de la veta.

Cámara fotográfica Max 60: con esta, se tomarán evidencias fotografías, de las muestras recolectadas dentro de mina.

EPPS: equipos necesarios para mantener nuestra seguridad dentro de mina.

Flexómetro: esta herramienta se utilizará para medir la potencia, longitud y profundidad de la veta.

Laptop hp: para procesar la información recolectada y realizar la investigación.

Linterna de mina: utilizada para alumbrarnos dentro de mina.

Picota Geológica: utilizada para recolectar muestras.

Rayador: utilizado para determinar la dureza de los minerales.

Materiales

Libretas de campo, lapiceros y lápices: utilizados para anotaciones de los parámetros litológicos, estratigráficos, mineralógicos y el cartografiado de la zona.

Imagen satelital: para reconocer la ubicación de la veta a explorar.

Plano de veta: para determinar la ubicación de veta y anotar los puntos de muestreo.

Equipos de análisis

AutoCAD 3D: Software utilizado para realizar el levantamiento topográfico de la veta.

ArcMap v10.5: Software utilizado para la creación de los planos necesarios.

Microsoft Office v2016 (Word, Excel, PowerPoint): Procesadores de datos utilizados para la elaboración de los informes y presentaciones.

3.3.8. Definición de Variables

Se han reconocidos las varias independientes y dependientes, las cuales han servido para el desarrollo de la investigación (ver tabla N°4).

Tabla N°4: Identificación de variables

VARIABLES INDEPENDIENTES	VARIABLES DEPENDIENTES
Control estructural	
Control litológico	Zonificación
Control mineralógico	
Presión	
Temperatura	Mineralización
Profundidad	

3.4. CONTEXTO GEOLÓGICO

3.4.1. Geología Local

La geología local del centro poblado de Algamarca está constituida por las Formaciones del Grupo Goyllarisquizca estas las que albergan la mineralización, principalmente se encuentran las Formaciones Chimú, Santa y Carhuaz, siendo únicamente las dos primeras Formaciones las que están formando el Anticlinal Algamarca actualmente.

ERA	PERIODO	EPOCA	FORMACIÓN	ESPESOR (m)	COLUMNA	
CENOZOICO	QUATERNARIO	Reciente	Aluviales, Fluviales			
		Pleistoceno	Fm. Condebamba	50		
MESOZOICO	CRETÁCICO	SUPERIOR	Fm. Pariatambo	>200		
			Fm. Chulec	400-500		
			Fm. Inca	100-200		
		INFERIOR	GRUPO GOYLLARISQUIZGA	Fm. Farrat		500-700
				Fm. Carhuaz		300-500
				Fm. Santa	50-200	
Fm. Chimú	500-700					

Imagen N°7: Columna Distrital de Algamarca (Sánchez, 2012)

3.4.1.1. Grupo Goyllarisquizga

Formación Chimú (Ki-chim)

La formación chimú está ubicada en el cretáceo inferior del mesozoico, pertenece a la última unidad litoestratigráfica del Grupo Goyllarisquizga por debajo de la formación santa.

La zona de estudio la Formación Chimú se emplaza en el núcleo del anticlinal de Algamarca, litológicamente constituida por potentes estratos de areniscas cuarzosas, generalmente de grano mediano a grueso de cuarzo, presentan un color blanco a gris claro, tiene una dirección de S53°E y con buzamiento de 60°



Foto N°1: Flanco derecho del Anticlinal de Algamarca, se visualizan estratos de areniscas cuarzosas de la Formación Chimú.



Foto N°2: Arenisca cuarzosa de la Formación Chimú (interior mina)

Formación Santa (Ki-Sa)

La Formación Santa aflora en la zona de investigación en la parte baja del anticlinal de Algamarca, contornando a la Formación Chimú, encontrándose desde el pueblo de la Cruz, teniendo una mejor vista en quebradas, por lo que se encuentra en su mayoría cubierta por material cuaternario.

Litológicamente está constituida por arcillitas de color gris a negras en estratos delgados, al piso de esta Formación se encuentran una intercalación entre areniscas de grano grueso blanquecinas y arcillitas grises oscura, la Formación Santa cuenta con un grosor entre 150 y 200 m. en toda la zona, además de actuar

como sellante para la mineralización que se ha producido en las areniscas cuarzosas de la Formación Chimú.



Foto N°3: Arcillitas de color gris oscuro de la Formación Santa (interior mina).

3.5. CONTEXTO ESTRUCTURAL

Algamarca forma parte del corredor estructural de dirección NE-SW, transversales a la dirección andina, formando parte del corredor estructural Corralchampa – Condebamba con una extensión aproximada de 355km. Por 10 km. En esta se encuentran diversas y pequeñas minas, siendo una de ellas la Mina Nueva Esperanza-Nivel 2.

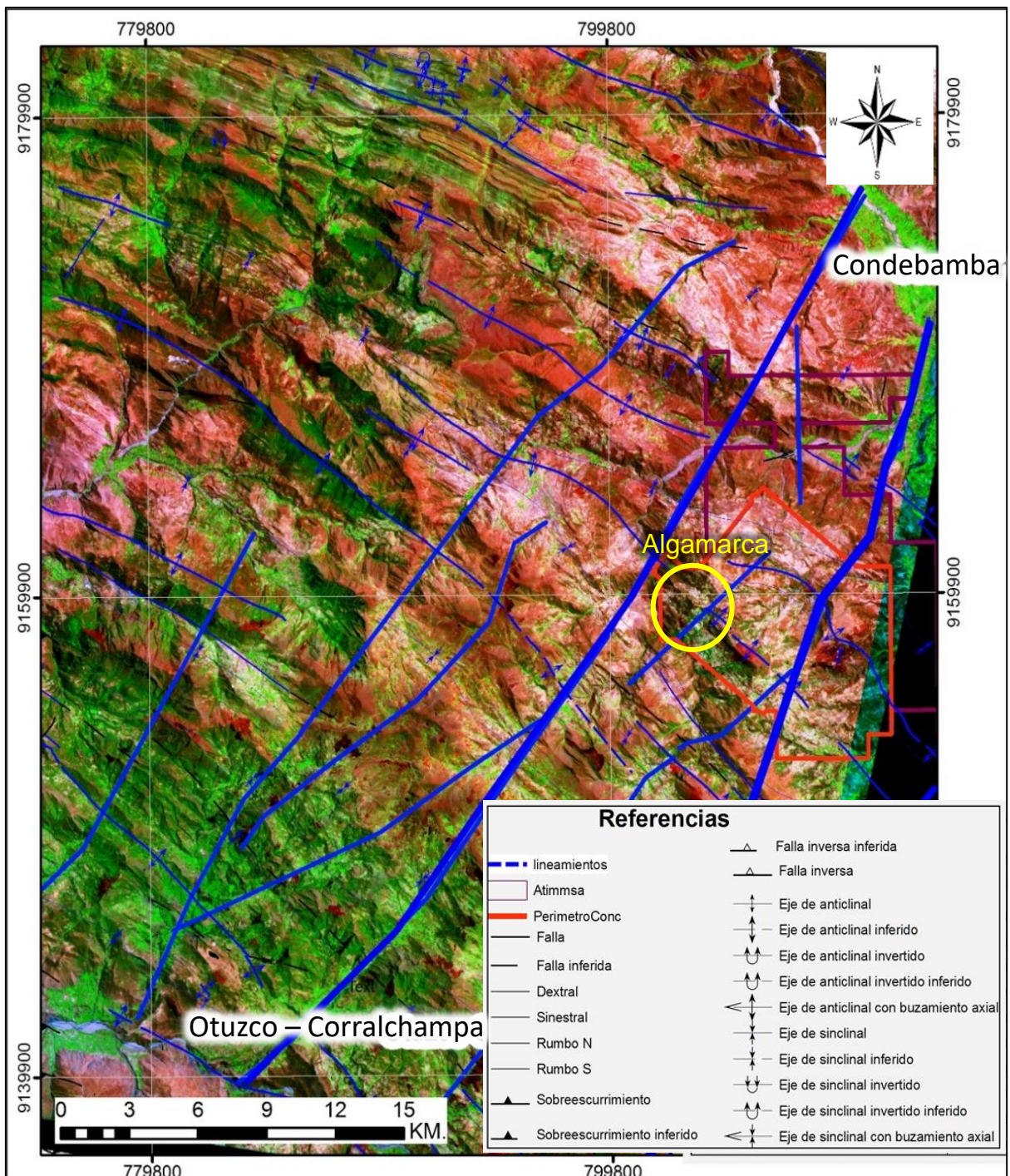


Imagen N°8: Imagen satelital mostrando el corredor estructural Otuzco-Condebamba (Sánchez, 2012)

Las fallas regionales han servido como canales principales de flujos de las soluciones mineralizantes, como la falla los Alisos, en los lugares que las Fallas regionales de cizalla atraviesan areniscas cuarzosas en las cuales se han formado fracturas y Fallas Transversales de plegamiento que posteriormente se mineralizaron.

Las fallas Regionales de Tensión que han servido como canales de flujo de las soluciones mineralizantes son las falla La Cruz y Santo Cristo.

En la zona se aprecia dos sistemas de fallas, fallas transversales de dirección NE-SW y fallas longitudinales de dirección NW-SE, estas últimas han afectado al Anticlinal solo en su parte Nor-occidental.

3.5.1. Fallas

Contamos con dos importantes sistemas de fallas, las cuales han dado forma al actual anticlinal de Algamarca, así como la formación de vetas y vetillas de la zona, entre estas la veta chibola, así mismo tenemos:

fallas transversales de dirección NE-SW y fallas longitudinales de dirección NW-SE.

3.5.1.1. Fallas transversales

Son aquellas fallas que se han originado en forma casi perpendicular al eje del Anticlinal Algamarca, así tenemos:

Falla santo cristo

Es una falla Normal de dimensiones regionales. Presenta un salto vertical aproximado de 20 m, tiene rumbo de N 30° E y buza 85° NW. Presenta brecha compacta, con pirita diseminada de 10 m de potencia. Se caracteriza porque en ella termina bruscamente la parte NW del Anticlinal. Aflora en la quebrada del mismo nombre. Esta falla es pre-intrusión. este sistema se asocia con las vetas y vetillas explotados en la antigua mina Algamarca

Falla los alisos

Es un conjunto de Fallas Normales separadas pocos metros uno de otros, en un ancho total de 40 m, hay abundante brechamiento en esta zona. Su salto vertical es de 40 m, tiene un rumbo promedio de 40° NE, su buzamiento es de 85° al NW.. Aflora nítidamente en la quebrada San Antonio donde se le puede reconocer por sus clastos de cuarcita, arcillolitas negras y caliza englobados en una matriz afanítica cuarzosa, lo que conforma la brecha anteriormente mencionada. Esta falla es pre-intrusión.

Falla la cruz

una falla Normal de dimensiones regionales tiene una escarpa de falla de 450 m e altura. Su salto vertical es de más 600 m, tiene un rumbo de N 30° E y buzamiento de 85° SE. Se caracteriza por que corta al Anticlinal Algamarca en el sector SE (La Cruz de Algamarca) donde se le aprecia en su verdadera magnitud. Esta falla es pre-intrusión. secciona al anticlinal Algamarca hundiendo el lado sur del mencionado anticlinal, afecta a las areniscas cuarzosas de la Formación Chimú, así como a las arcillolitas de la Formación Santa.

3.5.1.2. Fallas longitudinales

Falla Algamarca

Falla Normal de dimensiones regionales, tiene rumbo de N 52° W y buzamiento de 88° SW en superficie se define por la presencia de una escarpa de falla típica de 60 m de alto; en el piso tiene areniscas cuarzosas y en el techo roca intrusiva, a lo largo de todo el plano de falla hay una brecha cataclástica de 1 m de potencia, en esta hay fragmentos de arenisca cuarzosa, arcillolitas y roca intrusiva cementados por una matriz afanítica cuarzosa.

La falla afecta a los sedimentos de la Formación Chimú y Santa, su edad es posterior a la intrusión de la Tonalita, pero pre-mineral.

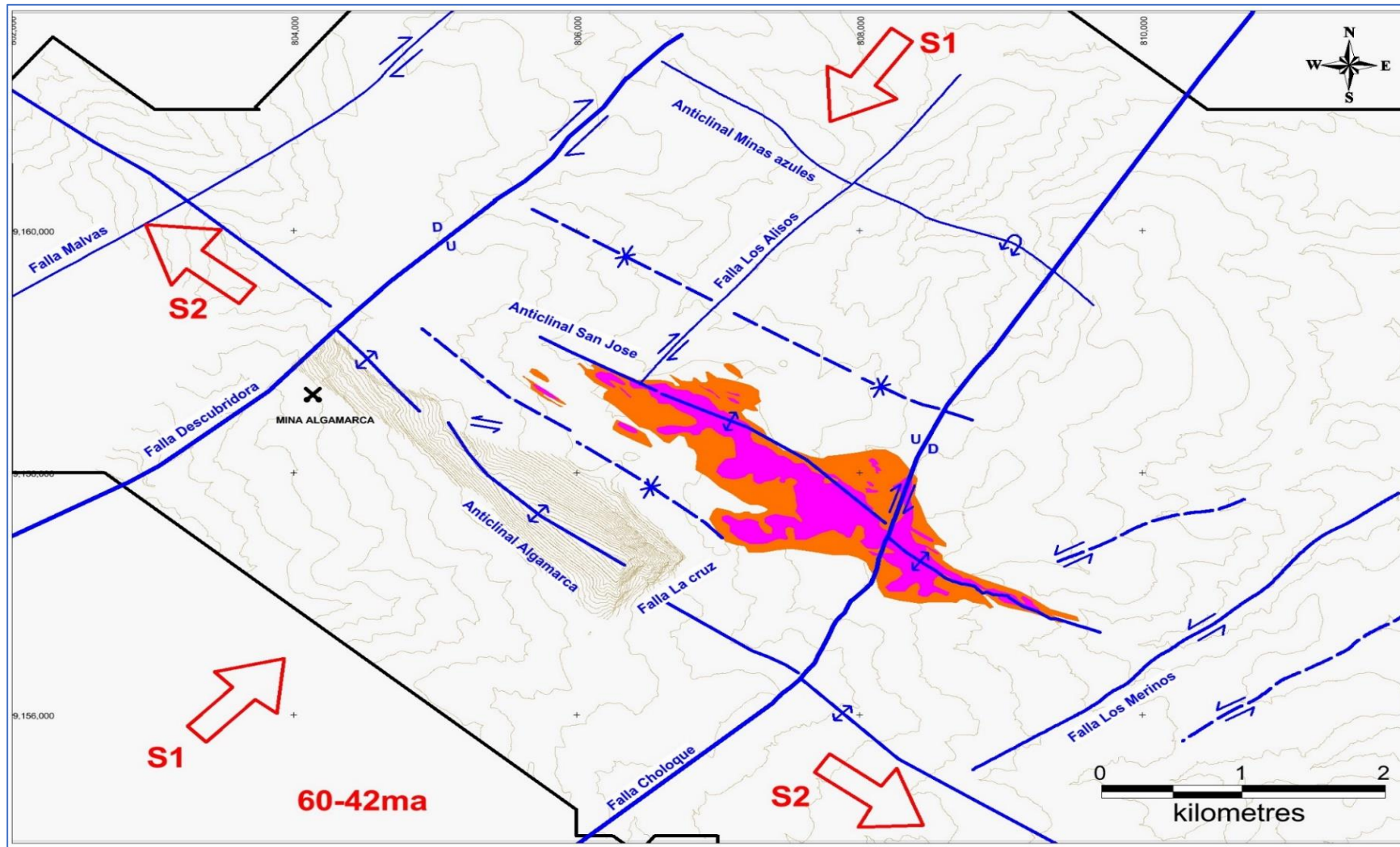


Imagen N°9: Principales estructuras generadas por compresión que controlan la mineralización (Sánchez, 2012).

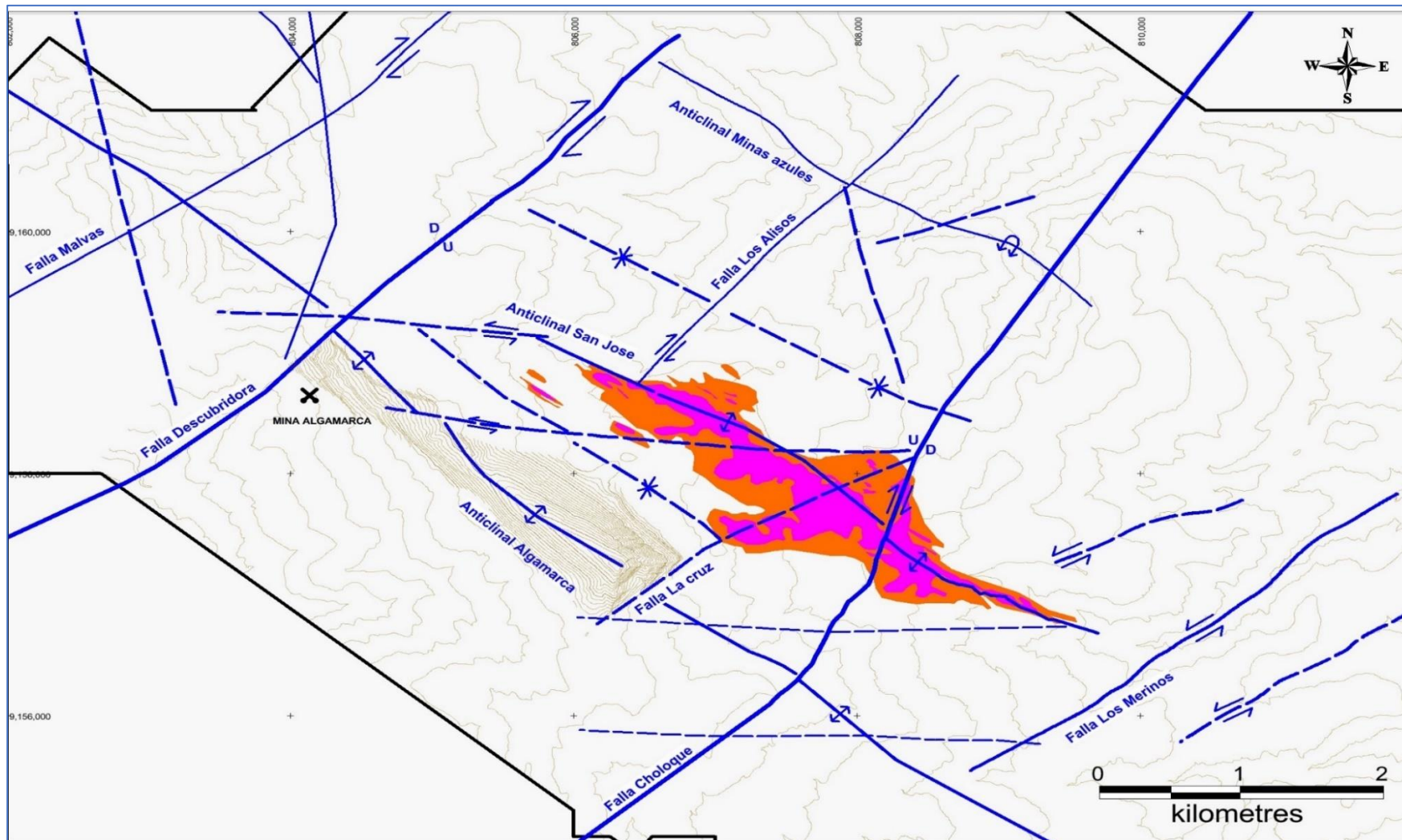


Imagen N°10: Modelo estructural mostrando las estructuras originadas por compresión y por tensionales (Sánchez, 2012).

3.5.2. Pliegues

3.5.2.1. Anticlinal Algamarca

El cerro de Algamarca forma un anticlinal con dirección NW- SE con azimut de 125°, de tipo chevrón, considerado como un plegamiento simétrico, el cual alberga diferentes vetas polimetálicas, en la que se encuentra la veta por nombre chibola, perteneciente a la empresa HNS CONSORCIO S.R.L., el anticlinal está conformado por areniscas cuarzosas de grano fino a medio de la Formación Chimú actuando como roca caja de la mineralización , en ambos flancos, y por arcillolitas y margas de la Formación Santa, esta última actúa como sello de la mineralización, se puede visualizar en la parte baja de los flancos del anticlinal.



Foto N°4: Vista frontal del anticlinal Algamarca.

3.5.3. Control estructural de la veta chibola

Cuenta con dos sistemas de fallas las cuales han dado paso a la mineralización y formación de vetas económicas explotables como son las de dirección NE-SW siendo transversales al anticlinal, es estas encuentra la veta chibola, y

longitudinales o de dirección NW-SE son las que controlan la potencia de vetas o también la delimitan, este tipo de sistema solo afecta al lado SW del anticlinal.

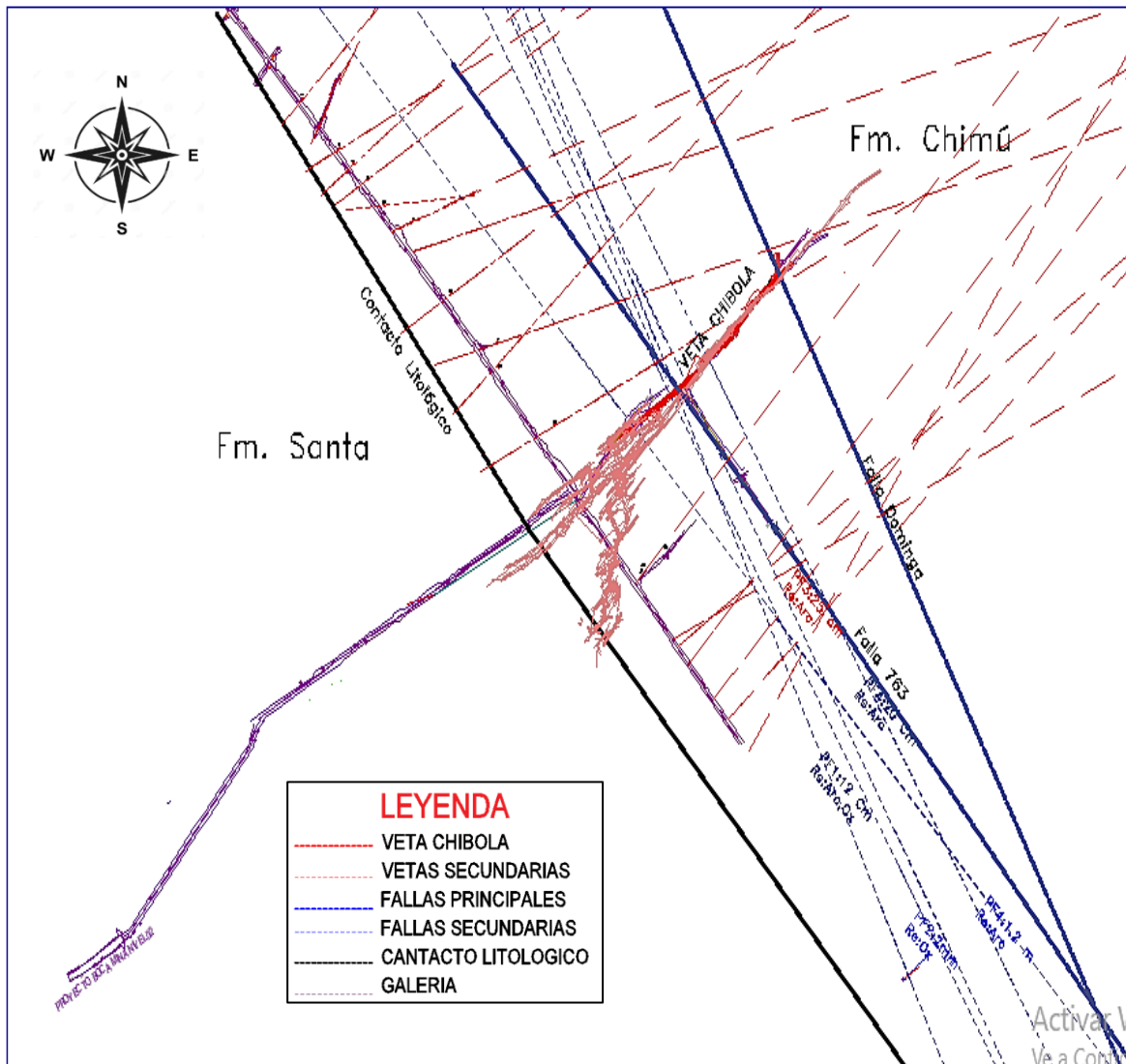


Imagen N°11: Se muestra los dos sistemas de fallas, sistema NE-SW(Transversales) y sistema NW-SE (Longitudinales).

La veta chibola se encuentra definida por la falla Dominga, esta es una falla de tipo dextral, con dirección S50°E, y buzamiento de 55°SW, tiene una potencia que varía de 80 cm a 2 m., el relleno está compuesto por arcillolitas de color gris oscuro y oxidos, esta se encuentra al final de la veta a unos 138 m del inicio de veta en galería.



Foto N°5: Falla Dominga, controla la veta chibola esta presenta una dirección NW-SE con buzamiento de 55°SW

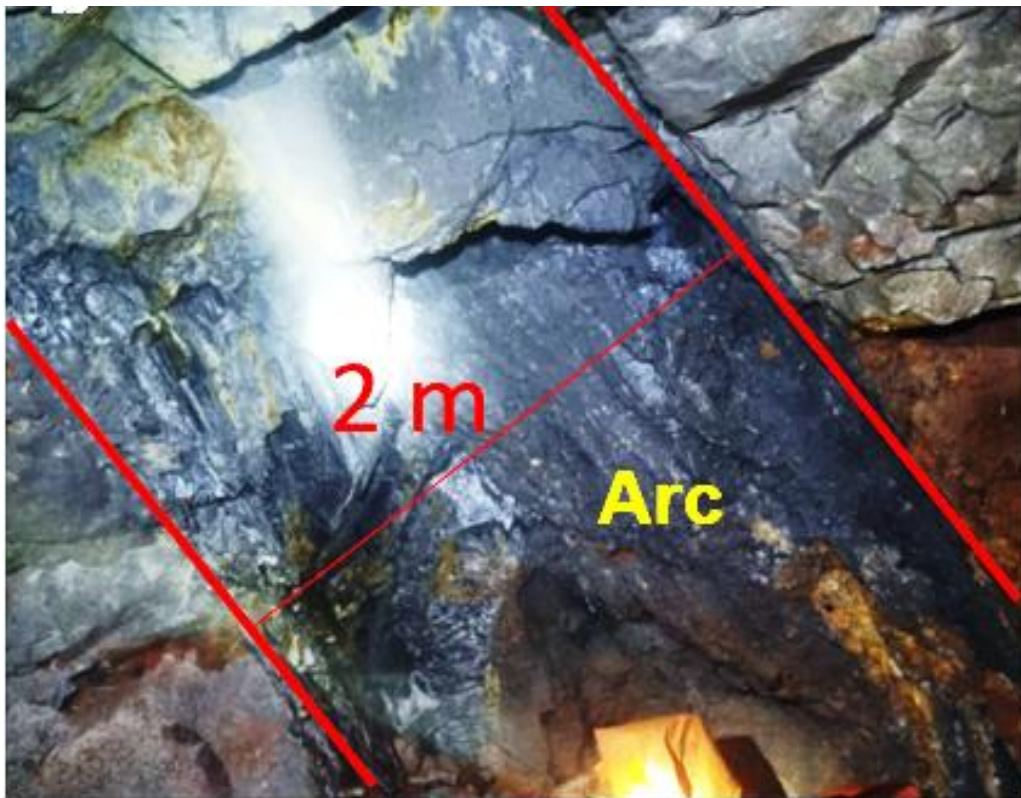


Foto N°6: Vista lateral de falla en la que se aprecia una potencia de 2m de ancho, presenta un relleno de arcillolitas de color gris oscuro y oxidos.

Así mismo, en la veta chibola están presentes diversas fallas tanto normales como inversas las cuales controlas su potencia en toda su extensión, estas tienen potencia de 5cm. A 15 cm. Rellenas de arcillas, oxidos y pequeños fragmentos de sulfuros.



Foto N°7: Falla normal en roca arenisca cuarzosa de 10cm de abertura, con relleno de arcillas, oxidos y pequeñas cantidades de sulfuros



Foto N°8: Falla inversa en roca arenisca cuarzosa de 5 cm. De abertura, con relleno de arcillas y cantidades de sulfuros (pirita) el cual le da el color plumizo.

3.6. CONTROL MINERALÓGICO

El distrito mineralógico de Algamarca es de tipo Fallamiento – Fractura, su mineralización consiste en Cuarzo, Pirita, sulfuros de Cobre y Plata en la zona primaria, contando además con una vasta zona de oxidación, donde la mineralización económica consiste en Oro y Plata.

Las vetas tienen cajas definidas, lo cual sugiere que no hubo reemplazamiento o lo hubo en pequeña escala en las rocas de caja. Las vetas se formaron después del plegamiento del Anticlinal Algamarca

La mineralización en el Yacimiento polimetálico de Algamarca consiste en sulfuros primarios de Cobre y Plata relleno de fracturas pre-existentes originadas por movimientos tectónicos regionales y que posteriormente la lixiviación y oxidación, atacó la parte superior de estas estructuras mineralizadas originando de esta manera una zona de mineralización supergénica, económicamente explotable con concentraciones de Oro y Plata en forma microscópicamente libre.

La mineralización polimetálica de Algamarca se divide en 3 niveles o zonas mineralógicas, Zona de Oxidación a la charnela del anticlinal, Zona de Enriquecimiento Supergénico en la zona intermedia y Zona Hipogea o Primaria a la base y núcleo del Anticlinal.

La mineralización está controlada por un sistema de fallas con dirección NE-SW, el cual ha permitido que el fluido mineralizado se extienda por medio de las rocas areniscas cuarzosas de la Formación Chimú, las cuales han servido como roca encajonante para de la veta.

Litológicamente, la composición química de las rocas tiene importante influencia en el emplazamiento de la mineralización metálica, el medio ácido de las areniscas cuarzosas de la Formación Chimú favoreció la formación de Tetraedrita, Calcopirita y las arcillolitas de la Formación Santa constituyen impermeables para las soluciones mineralizantes, favoreciendo la concentración metalífera en los sectores

periféricos del Anticlinal. Las areniscas cuarzosas brechadas favorecieron la formación de abundante de Hematites rojas.

3.6.1. Veta chibola

La veta chibola es una veta polimetálica de oro, plata y cobre, dada por una mineralización de Alta a Intermedia Sulfuración de tipo vetiforme, en areniscas cuarzosas de la Formación Chimú del Cretáceo inferior encontrándose óxidos y sulfuros.

La veta chibola tiene una dirección de NE-SW con longitud de 160 m. y potencia que varía de 30-50 cm. considerada una veta de tipo rosario, la cual va cambiando de acuerdo con la profundidad que se encuentra, el mineral que la conforma se encuentra emplazada en roca sedimentaria tanto en el piso como techo de areniscas cuarzosas de la formación chimú, las cuales se encuentran encajonando dicha veta, consta principalmente de óxidos de hierro como Jarosita, Goethita y Hematita, que contiene principalmente Oro libre y Electrum, minerales supérgenos como, Calcosina, Covelina como minerales de mena que en algunos sectores se observa en reemplazamiento casi total y en otros con presencia de Tetraedrita-Tennantita terrosa negruzca, Pirita y Cuarzo como minerales de ganga.

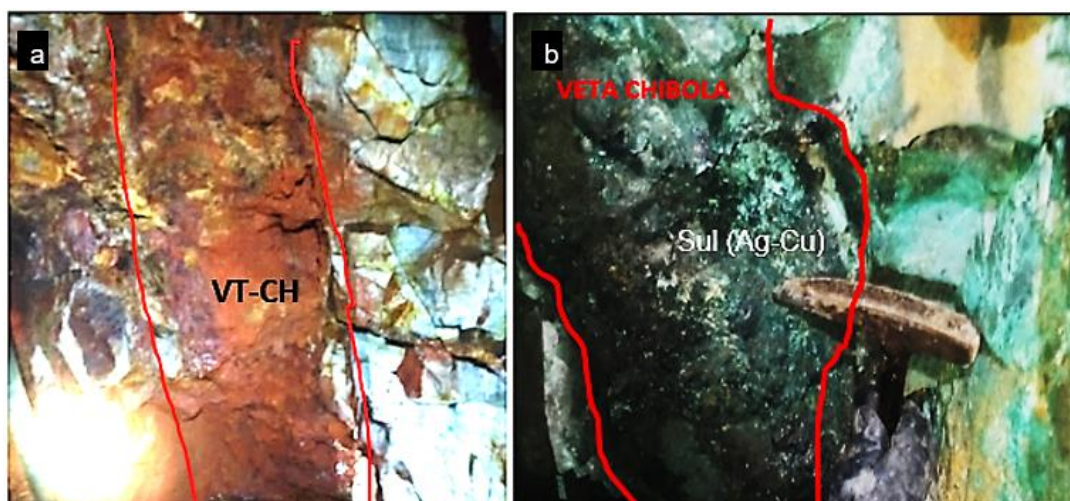


Foto N°9: a) veta chibola en galería, en la que se visualiza minerales de óxidos con una potencia de 30 cm y longitud de 50.6 m. con dirección NE-SW. b) veta chibola en SN. 15 inferior a 125m. de profundidad de la galería con potencia de 35m en la que se visualiza minerales de sulfuros.

3.7. TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

En la etapa de tratamiento y análisis de datos, se utilizó los registros que se fueron tomando a lo largo de todo el proceso de recolección de la data, en la determinación de la zonificación de la veta, se fue analizando el cambio mineralógico, estructural tanto vertical como horizontal de la veta chibola, así como la recolección de muestras para el reconocimiento mineralógico, este se realizó mediante las diferentes muestras de mano reconociendo sus propiedades físicas mediante el uso de rayador el cual determinó su dureza, lupa para ver más de cerca su cristalización, se extrajeron muestras representativas de la zona de óxidos y sulfuros las cuales fueron enviadas a laboratorio y ser analizadas más a detalle, para determinar la asociación y paragénesis de los minerales, así como minerales que no pueden ser vistos a simple vista, la clasificación de minerales mena y ganga se determinó mediante la composición química de cada una de las muestras recolectadas, además se determinaron los diferentes tipos de alteración hidrotermal que presenta la veta.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. RECONOCIMIENTO MINERALÓGICO DE LA VETA CHIBOLA

4.1.1. Descripción microscópica de muestras

4.1.1.1. Muestra MSF_01: Sulfuro

La foto N°10 (muestra MSF_01) pertenece a la zona de sulfuros, recolectada del nivel 7 de la veta chibola la cual se encuentra a 73 m bajo la galería principal, se observa en la muestra que consta de dos bandas claramente diferenciables: Banda A, con predominancia de cobres grises y banda (B) con predominancia de pirita.

Entre los cobres grises tenemos a la tetraedrita y Tennantita estos minerales en su forma masiva no se pueden diferenciar por tener las mismas propiedades físicas, los podemos observar en el análisis microscópico de la muestra MSF_1(Foto 10), en mayor cantidad en la banda A, ocurren masivos, frecuentemente englobando escasos cristales de calcopirita; mientras que en la banda B, ocurren subordinados, generalmente reemplazando a la pirita (microfotografías_06, 08 y 11), en ambos casos, también como inclusiones en pirita. Se encuentra frecuentemente cortado por venillas de calcosina (microfotografías_01 y 03)

En la banda A se observan inclusiones sub- a milimétricas de calcopirita con pátina parda y escasa pirita; mientras que en la banda B se observan agregados de micas, cuarzo y arcillas; así como también cobres grises englobando parte de la pirita. Se observan algunas oquedades irregulares, de tamaños medios hasta milimétricos.

Bajo el microscopio óptico, se distinguen diferentes características de las bandas:

Banda A: Conformada principalmente por cobre grises, con algunas playas hectomicrométricas a milimétricas de calcopirita (con escasa esfalerita asociada); algunos cristales de pirita y muy escasa arsenopirita.

Se encuentra cortada por varias venillas de calcosina. Presenta, cerca al contacto con la banda B, zonas de aspecto colofome conformadas por calcosina, enargita y probables arcillas, esta última tapizando espacios, en los cuales es frecuente hallar granos de electrum. Las zonas de aspecto colofome también se hallan, con menor frecuencia, en el interior de la banda A.

Banda B: Presenta mayormente pirita en masas centimétricas, con algunas zonas donde se concentran las gangas (cuarzo y micas); así como también con escasa presencia de calcosita, la cual corta y hasta engloba a la pirita; la calcosita generalmente presenta un halo algo microbotroidal.

En esta banda los cobres grises, se presentan subordinados a la pirita; sin embargo, ocasionalmente aparecen englobando a ésta, aunque también de manera intergranular e intersticial. Se observa algunas inclusiones de galena, así como esporádica estibina. Muy escasa ocurrencia de electrum, a menudo intercrecido con galena, y otras veces en la periferia de playas de calcosita.

Los cobres grises son el mayor componente de la muestra analizada, ocurren masivos, frecuentemente englobando cristales de calcopirita; reemplazando a la pirita, se encuentra mayormente cortado por venillas de calcosita (microfotografía 1).

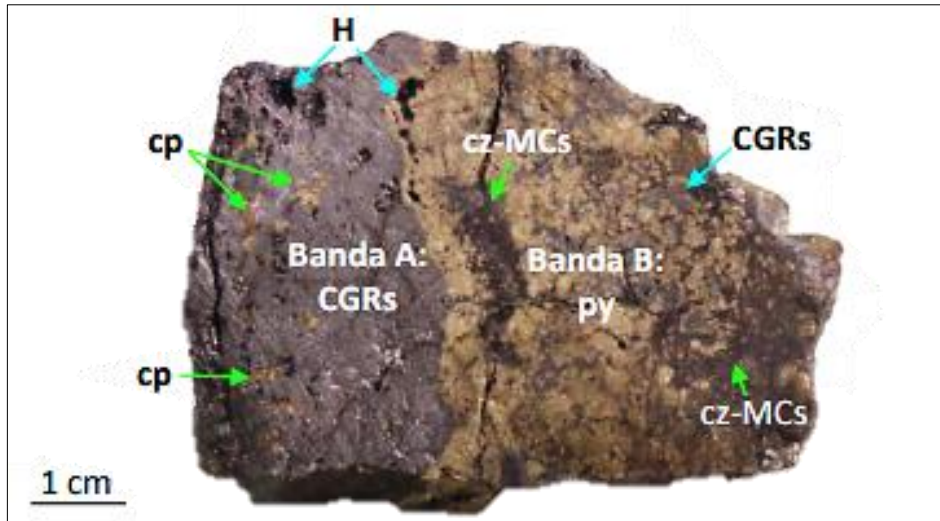
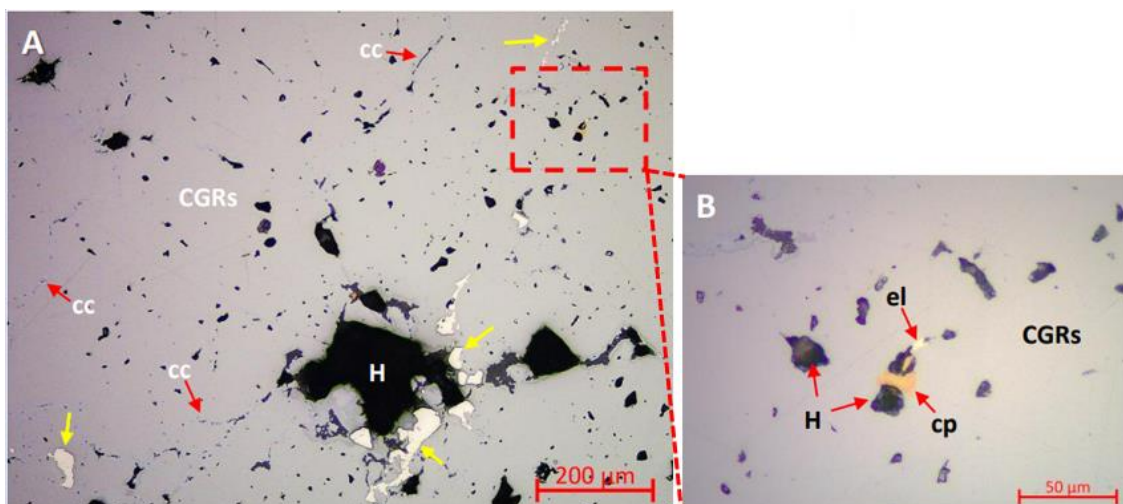


Foto N°10: (muestra MSF_01) muestra de mano, con predominancia de cobre grises (CGRs) pirita (py), calcopirita (cp); cuarzo-micas.

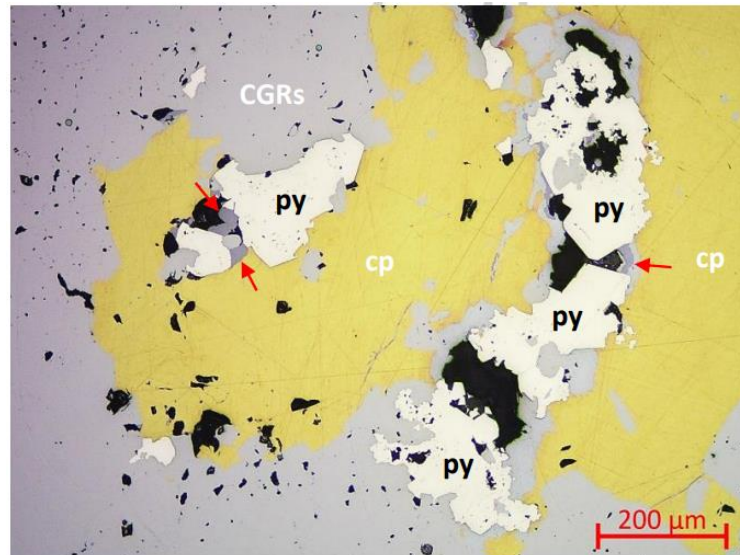
Banda A. Microfotografías en luz reflejada y nícoles paralelos.

A: Masa de cobres grises (CGRs) con finas venillas de calcosina (cc), casi imperceptibles; presencia de algunos cristales de pirita (flechas amarillas) y huecos (H). B: Vista aumentada del recuadro rojo dibujado en A. Inclusión solitaria de calcopirita (cp), al lado de electrum (el) y de huecos (H).



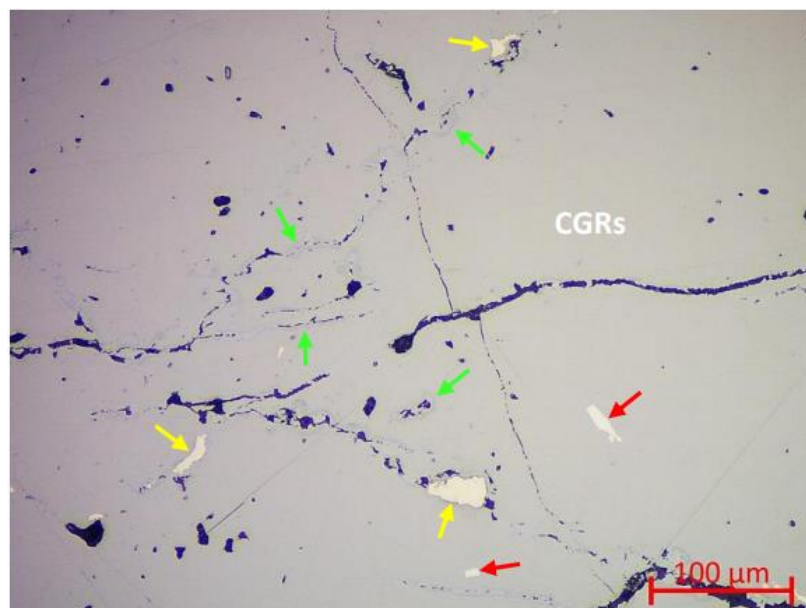
Microfotografía N°1: A: Venillas de calcosina(cc) en cobres grises (CGRs) asociadas a pirita(flechas amarillas). B: Aumento de A, inclusiones de calcopirita(cp) con electrum(el). En ambas fotografías se visualizan presencia de huecos(H).

Grupos hecto-micrométricos de pirita, a veces con granos subhedrales; englobados por playas de calcopirita (cp) intercrecida con cobre grises (CGRs) y escasa esfalerita (flechas rojas).



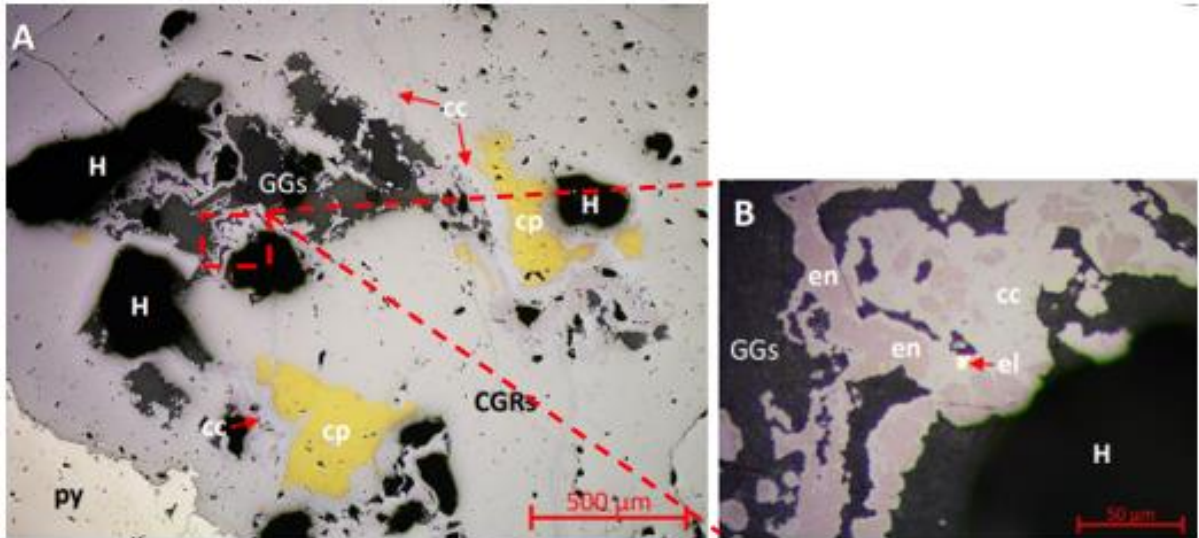
Microfotografía N°2: Calcopirita(cp) asociada a pirita(py) y cobre grises(CGRs).

Detalle de la banda A, donde se observa la masa predominante de cobre grises (CGRs) atravesada por finas venillas sinuosas de calcosina (flechas verdes), con cristales anhedrales de pirita (flechas amarillas) y de arsenopirita (flechas rojas).



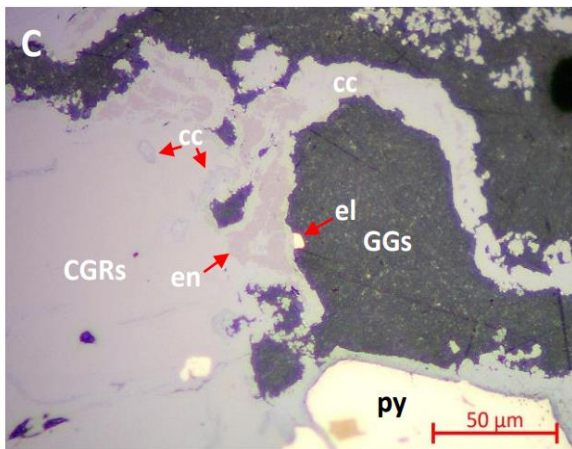
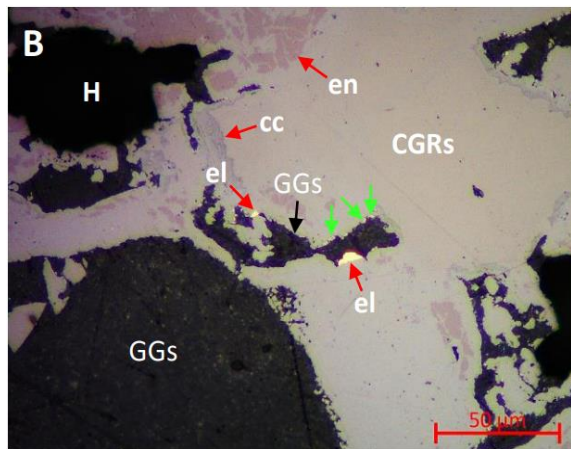
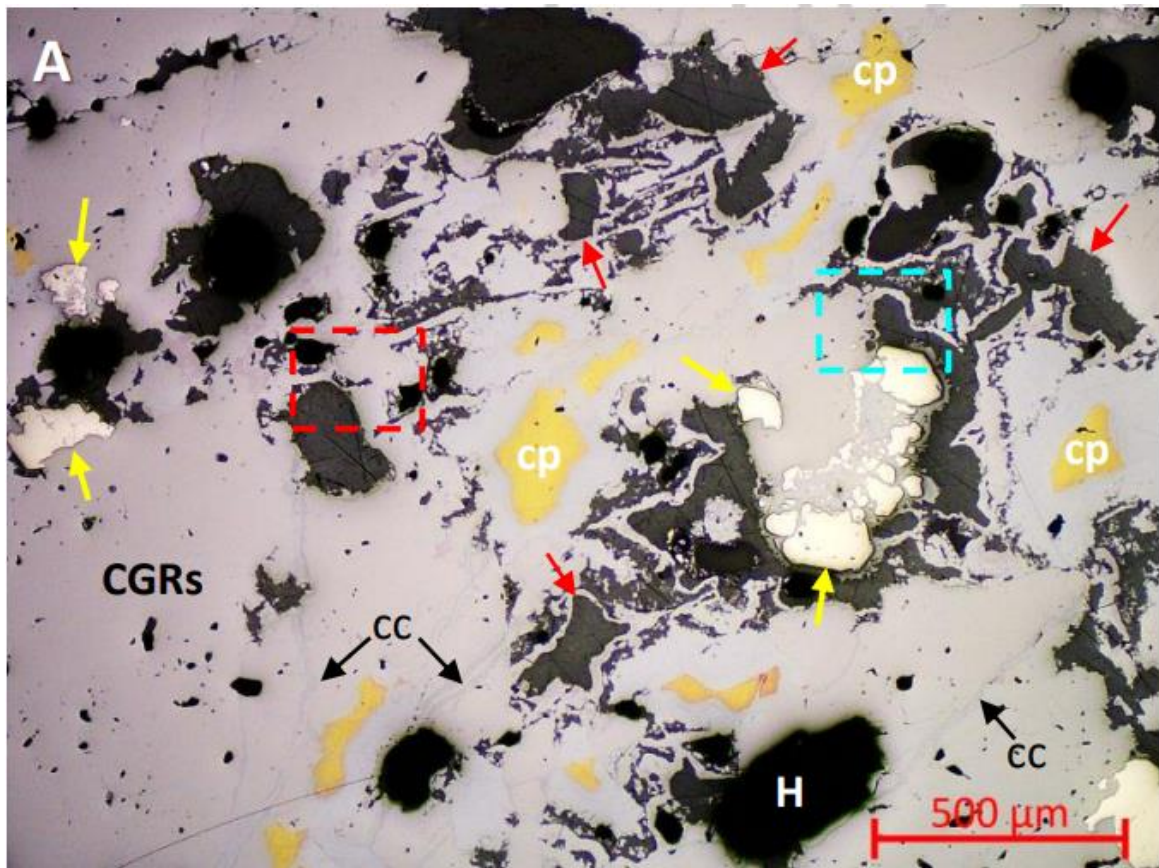
Microfotografía N°3: Asociación entre cobre grises (CGRs), calcosina (flechas verdes), pirita (flechas amarillas) y arsenopirita (flechas rojas).

A: Vista de una zona de aspecto algo coloforme, cerca al contacto con la banda B. Masa predominante de cobre grises (CGRs) que engloba playas irregulares de calcopirita alteradas a calcosina (cc); esta última también ocurre como finas venillas. Presencia de huecos (H). B: Vista aumentada del recuadro rojo dibujado en A. Enargita (en) alterada a calcosina (cc), con grano de electrum (el) en contacto con probables arcillas (GGs).



Microfotografía N°4: A) calcopirita(cp) alterada a calcosina(cc) englobadas por cobres grises (CGRs). B) enargita(en) alterada a calcosina(cc).

A: Vista de otra zona de aspecto algo coloforme. Masa de cobre grises (CGRs), englobando relictos de calcopirita (cp) y agregados de pirita (flechas amarillas). Presencia de extrafinas venillas de calcosina (cc) y huecos (H). B: Vista aumentada del recuadro rojo dibujado en A. Granos de electrum (el) en la interfase entre probables arcillas (GGs) y calcosina (cc). Enargita (en) algo craquelada englobada por los cobres grises (CGRs). Note la presencia de un muy fino mineral blanquecino no identificado (flechas verdes) en los bordes de los rellenos de probables arcillas (GGs). C: Vista aumentada del recuadro celeste dibujado en A. Muy similar a (B), pero con presencia de parte de un cristal de pirita (py).

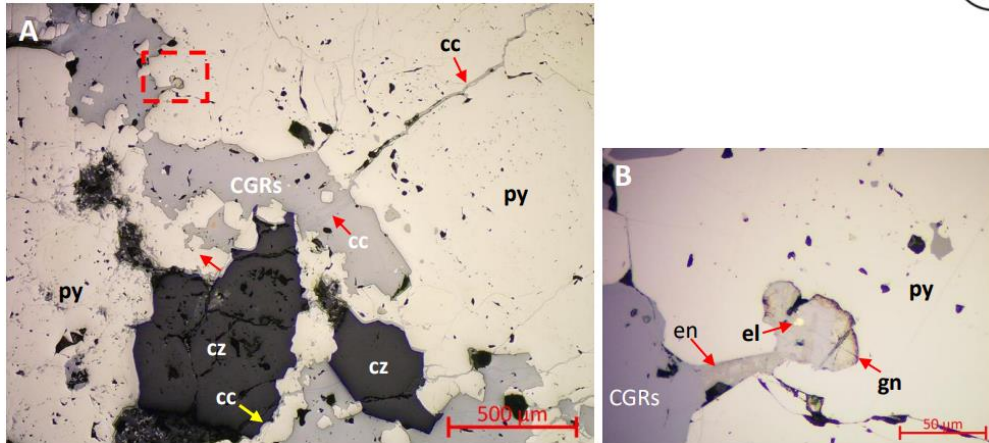


Microfotografía N°5: A) cobres grises(CGRs) englobando a calcopirita (cp) y agregados de pirita (flechas amarillas) B) electrum (el) entre arcillas (GGs) y calcosina (cc) C) cristales de pirita en cobre grises (CGRs), presenciada enargita (en) y electrum (el)

Banda B. Fotografías en luz reflejada y nícoles paralelos.

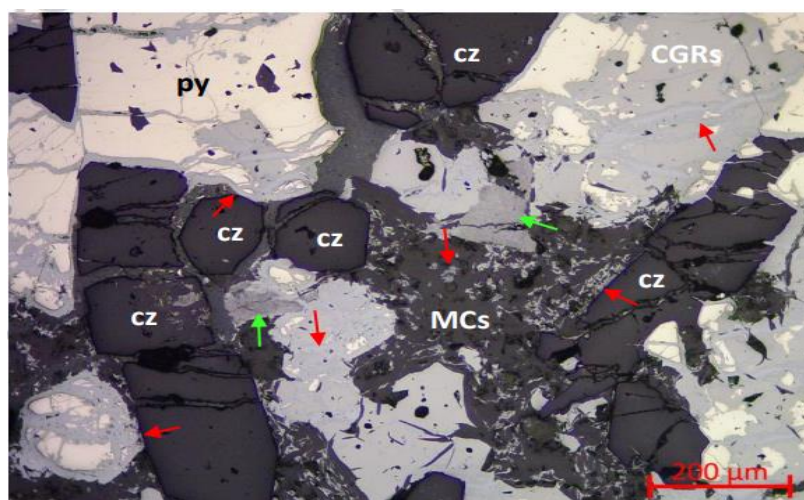
A: Playas de pirita (py), englobando playas menores de cobre grises (CGRs), cortadas y bordeadas por calcosina (cc). Presencia de cuarzo (cz) al parecer intergranular. B: Vista aumentada del recuadro rojo dibujado en A. Galena (gn) en

borde cóncavo de la pirita, con inclusión de electrum (el). Hacia la esquina inferior izquierda, presencia de enargita (en) reemplazada por cobre grises (CGRs).



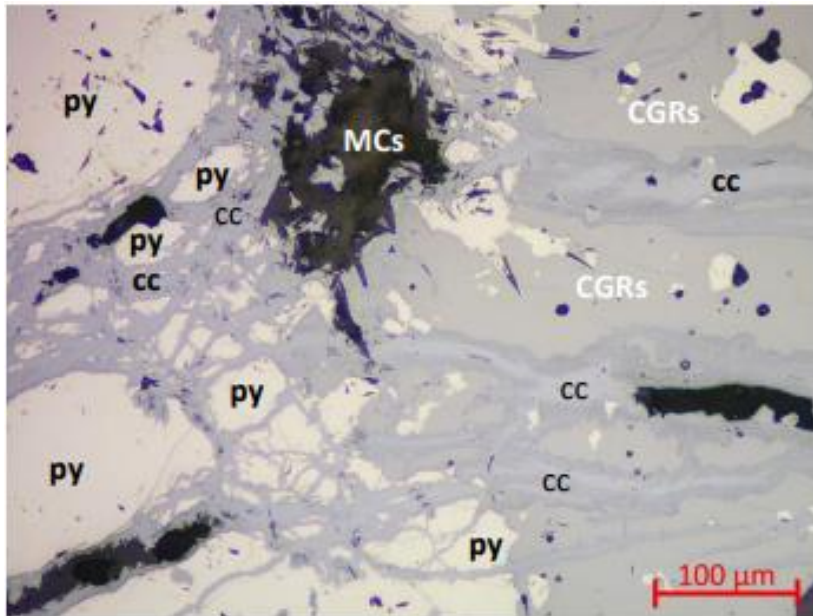
Microfotografía N°6: A) pirita (py) englobando cobres grises (CGRs) bordeada por calcosina (cc), presenta cuarzo (cz) B) enargita(en) reemplazada por cobre grises.

Pirita (py) reemplazada por cobre grises (CGRs); ambas atravesadas por un fino venilleo de calcosina (flechas rojas); que también ocurre finamente disseminada en la masa de micas (MCs). También se observan cristales de cuarzo (cz) englobados por agregados de micas (MCs). Presencia subordinada de óxidos de titanio (flechas verdes).

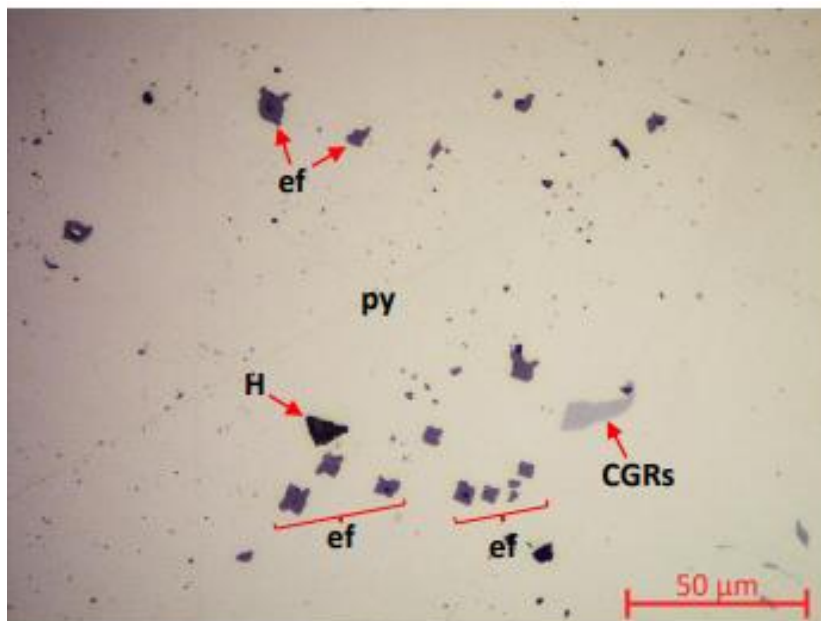


Microfotografía N°7: Pirita (py) reemplazada por cobre grises (CGRs) atravesadas por calcosina (flechas rojas), presencia de óxido de titanio (flechas verdes)

Pirita reemplazada por cobre grises (CGRs); posteriormente atravesadas por finas venillas de calcosina (cc), que generan un halo gris micrométrico, de composición desconocida; a veces algo micro-botroidales. Se observa un nido de micas (MCs) profusamente intercrecida con calcosina (cc).

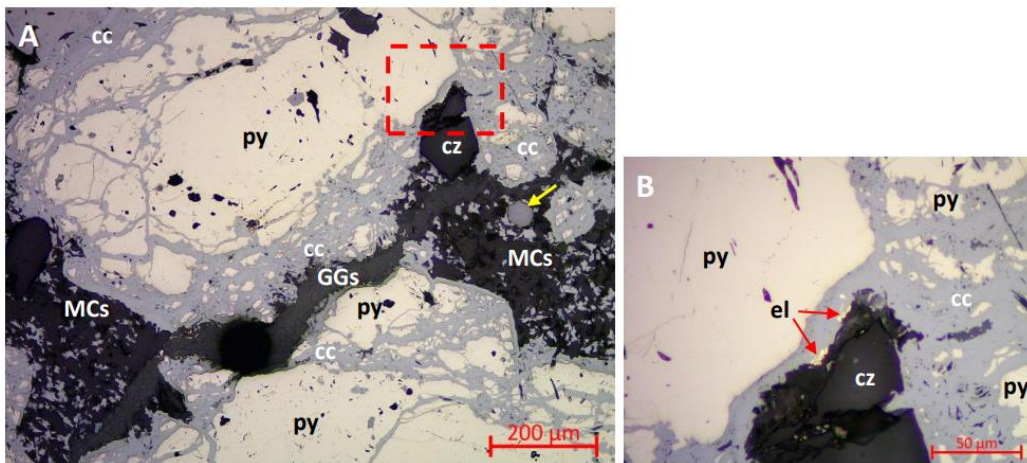


Microfotografía N°8: Micas (MCs) intercrecida con calcosina (cc) y cobres grises (CGRs), presencia de pirita (py).



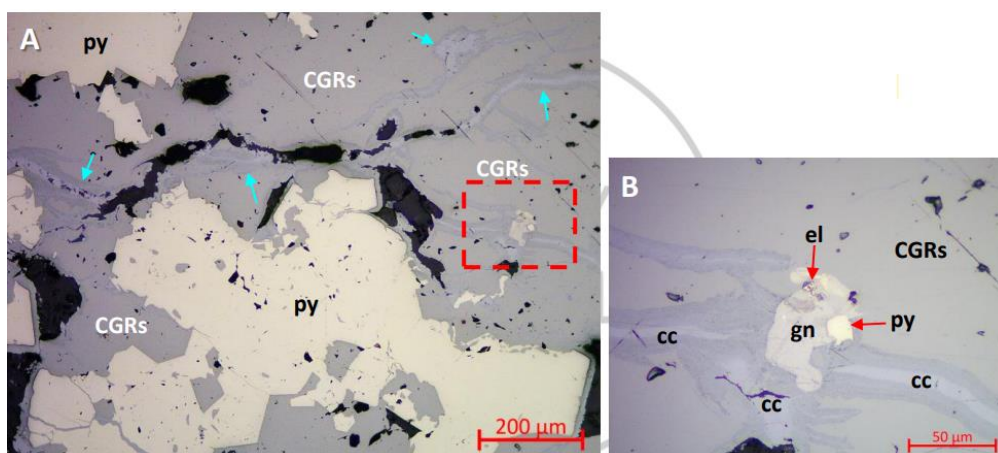
Microfotografía N°9: Inclusiones de esfalerita (ef) en forma de cruz, y de cobre grises (CGRs), en playa de pirita (py). Se observa un hueco (H) de forma triangular.

A: Pirita (py) fragmentada y englobada por calcosina (cc). Grano de probables óxidos de titanio (flecha amarilla). Venilla de probables arcillas (GGs) cortando los agregados de micas (MCs). B: Vista aumentada del recuadro rojo dibujado en A. Electrum (el) en la periferia de la calcosina (cc), justo en contacto con el cuarzo (cz).



Microfotografía N°10: Óxido de titanio (anatasa) flecha amarilla -b) electrum (el) asociado a cuarzo (cz)

A: Pirita (py) reemplazada por cobre grises (CGRs). Venillas de calcosina (flechas celestes). B: Inclusión de galena (gn) intercrecida con pirita (py). Presencia de venillas de calcosina (cc), con sus finos halos grisáceos de composición desconocida.



Microfotografía N°11: A) venillas de calcosina (flechas celestes) en cobre grises (CGRs), presencia de pirita (py) B) inclusiones de galena (gn) con pirita (py) y calcosina (cc)

4.1.1.2. Muestra MOX_02: Óxidos

La muestra MOX_02 pertenece a la zona de óxidos, recolectada del nivel 3 de la veta chibola la cual se encuentra a 30 m bajo la galería principal, La muestra corresponde a una brecha polimíctica con matriz de hidrohematita, microporosa, presenta un color pardo rojizo, compuesta por fragmentos de arenisca cuarzosa (trazos amarillos), así como fragmentos de cuarzo hidrotermal (líneas verdes), Ambos tipos de fragmentos están englobados por una matriz microporosa, compuesta por hidrohematita (hhm) y escasa presencia de limonitas (LIMs), la matriz es más abundante que los fragmentos; estos últimos, están conformados por arenisca cuarzosa, de tamaños centi- a milimétricos y otros fragmentos milimétricos de cuarzo hidrotermal, con forma angulosa a sub-angulosa. Las limonitas se presentan recubriendo oquedades y espacios en la matriz y en fragmentos.

La fotografía 11 corresponde a una muestra de mano de color pardo rojizo, del lado izquierdo y del derecho se observa una Superficie de corte.

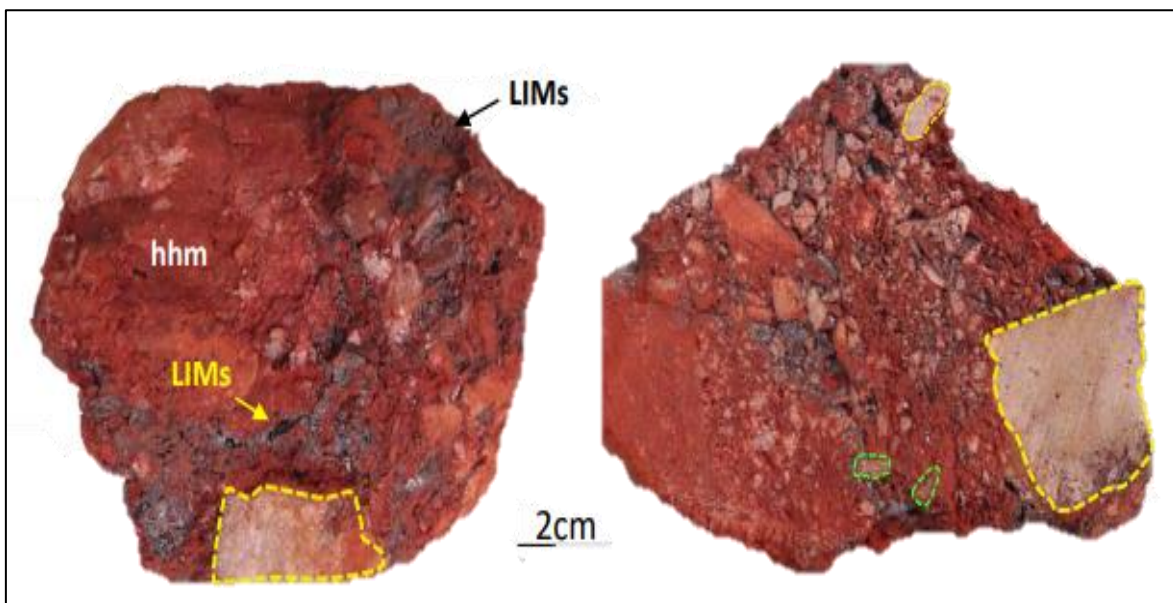
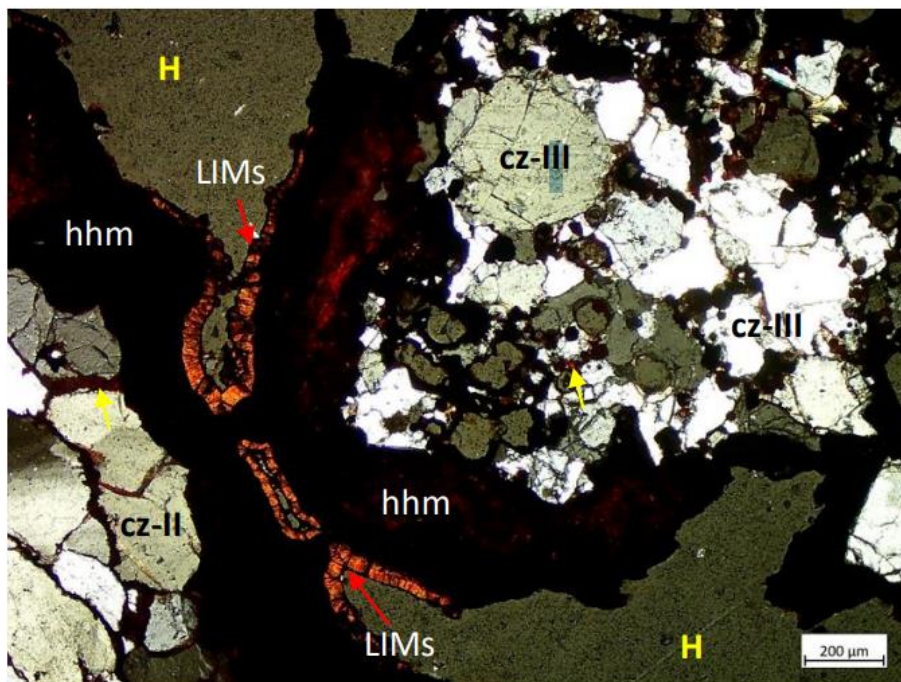


Foto N°11: (muestra MOX-02) izquierda:muestra de mano de la veta chibola, zona de oxidos correspondiente a una brecha polimíctica derecha: corte de la muestra.

microfotografías en luz transmitida y nicoles cruzados.

Bajo el microscopio óptico, se observa una matriz compuesta por hidrohematita, en agregados masivos e intergranulares; así como también pigmentando los fragmentos de arenisca cuarzosa y cuarzo hidrotermal; también se encuentran limonitas (LIMs) en agregados de tamaño decamicrométrico, principalmente en los bordes de fragmentos y cavidades muestra textura coloforme, algo cristalizadas.

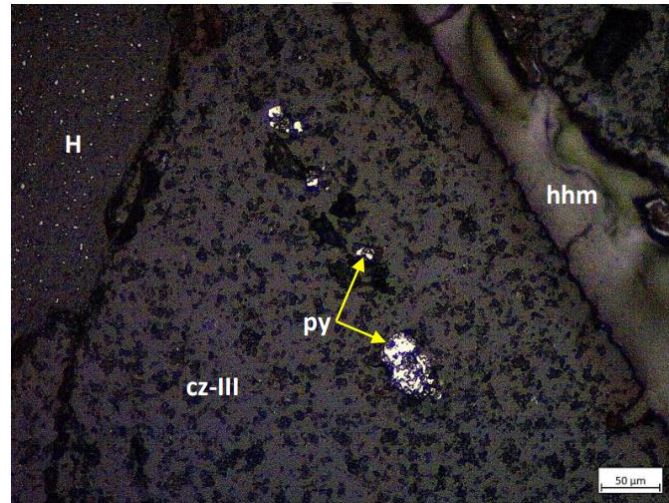
La microfotografía 12 muestra una Vista parcial de la matriz de la brecha. Hacia el lado derecho se visualiza un agregado inequigranular de granos de cuarzo hidrotermal (cz-III) con tamaños deca- a hecto-micrométricos; mientras que, hacia la esquina inferior izquierda, se observa parte de un fragmento de arenisca cuarzosa, compuesta por granos de cuarzo (czII), de tamaños decamicrométricos y equigranulares. Se observa también la matriz de hidrohematita (hhm), con bordes de limonitas (LIMs) algo cristalizadas de textura microcoloforme y con huecos (H).



Microfotografía N°12: Matriz de hidrohematita (hhm) con bordes de limonitas (LIMs), se observa huecos (H)

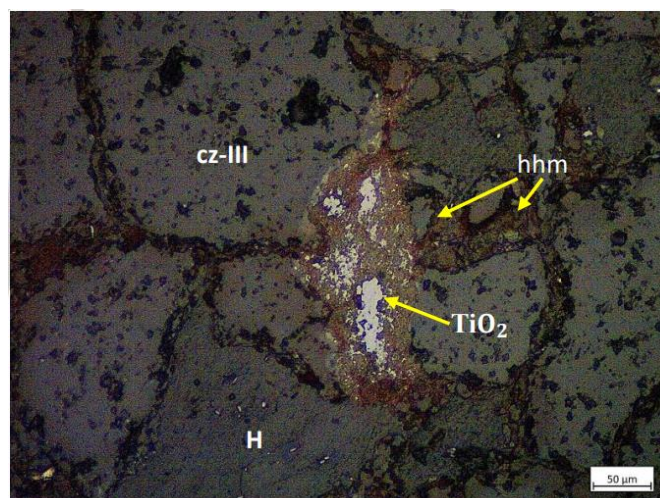
Fotomicrografía en luz reflejada y nicoles paralelos. Se observa granos decamicrométricos, sub a anhedrales de pirita (py), como inclusiones en el cuarzo

hidrotermal; se observa también parte de la matriz de hidrohematita (hhm). A la izquierda se observa un hueco (H).



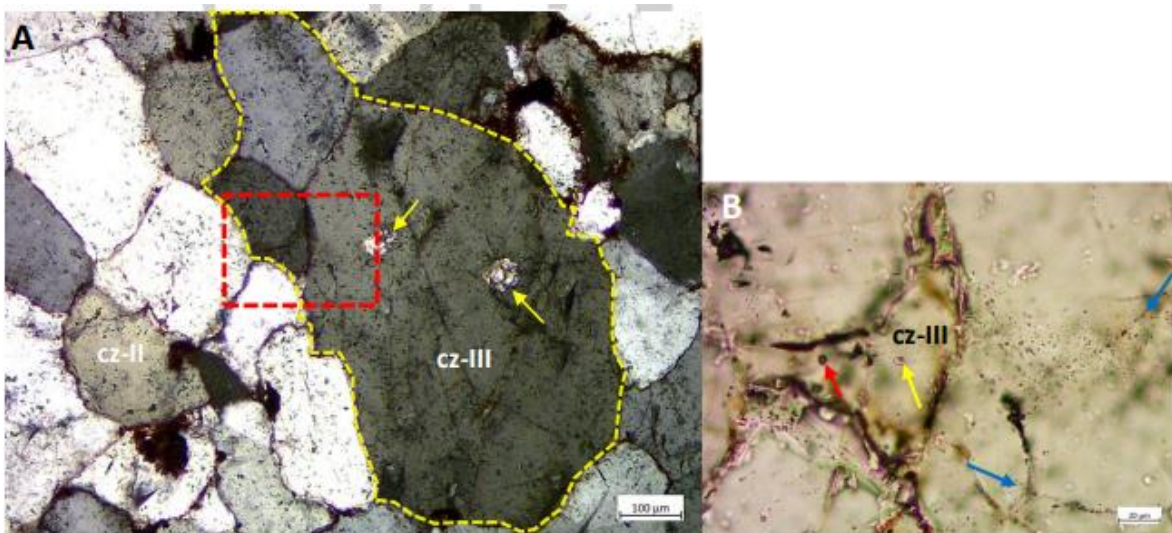
Microfotografía N°13: Granos de pirita (py) incrustados en el cuarzo hidrotermal (cz-III).

Los óxidos de titanio ocurren en su mayoría intergranulares, asociados a la matriz de hidrohematita. En la microfotografía 14 se observa Grumos micrométricos de óxidos de titanio (TiO_2), probablemente rutilo y/o anatasa, como relleno intergranular en el cuarzo hidrotermal (cz-III), asociada principalmente a escasa hidrohematita (hhm); en la parte inferior se observa un hueco (H).



Microfotografía N°14: Cuarzo hidrotermal (cz-III) asociada a hidrohematita (hhm) presencia de óxido de titanio (TiO_2).

Vista del contacto entre granos de cuarzo (cz-II) de la arenisca cuarzosa con el cuarzo hidrotermal (cz-III), contorno amarillo de trazos. Se visualiza los granos de la arenisca cuarzosa (cz-II), de tamaños deca a hectomicrométrico, con formas sub-redondeadas a subangulares, Presencia de pequeños grupos de muscovita (flechas amarillas) en el cuarzo hidrotermal (cz-III). B. Vista aumentada del recuadro rojo en la microfotografía A, pero en luz transmitida y nícoles paralelos. Ocurrencia de inclusiones bifásicas (flecha amarilla), gaseosas (flecha roja) y secundarias (flechas azules), de tamaño sub-micrométrico. presentes en cuarzo hidrotermal (cz-III).



Microfotografía N°15: A) arenisca cuarzosa con cuarzo hidrotermal B) cuarzo hidrotermal con presencia de inclusiones gaseosas

4.1.2. Descripción macroscópica de muestras

Para la identificación mineralógica se realizó el análisis químico de muestras representativas, en la cual se identificó una serie de sulfuros de la zona hipógena y diversos óxidos de la zona de óxidos, el reconocimiento de estos minerales se realizó a partir de muestras de mano representativas, recolectadas de la veta chibola a diferentes profundidades, en las que se han podido apreciar sus diferentes características físicas mediante fotografías.

Los minerales principales que se presentan en mayor cantidad a lo largo de toda la veta chibola en diferentes profundidades tanto vertical como horizontal, entre la zona de óxidos e hipógena se han identificado los siguientes:

4.1.2.1. Muestra MSF_03: Acantita (Ag₂S)

La Argentita o acantita es un mineral de la clase de los sulfuros, químicamente pertenece al grupo de los sulfuros de plata, su composición química está dada por el 87.06% de plata y 12.94% de azufre, este mineral se puede identificar físicamente por su brillo metálico, color gris oscuro a negro con un sistema cristalino monoclinico, dureza en la escala de Mohs de 2.5 y densidad 7.3 g/cm³, formado en temperaturas de 100 a 200 °C

La acantita conforma una de las principales menas de plata en la veta chibola, como una formación secundaria en un ambiente de Baja Sulfuración, por un proceso de precipitación de minerales a partir de soluciones acuosas, la cual varia su presencia en porcentajes de cuerdo a la profundidad, este mineral se encuentra en mayor cantidad cerca de la zona mixta , la foto N°12 presenta a la acantita de forma masiva y pseudomorfa con inclusiones de pirita cristalizada en sistema cubico, cuarzo cristalino y arcillas.

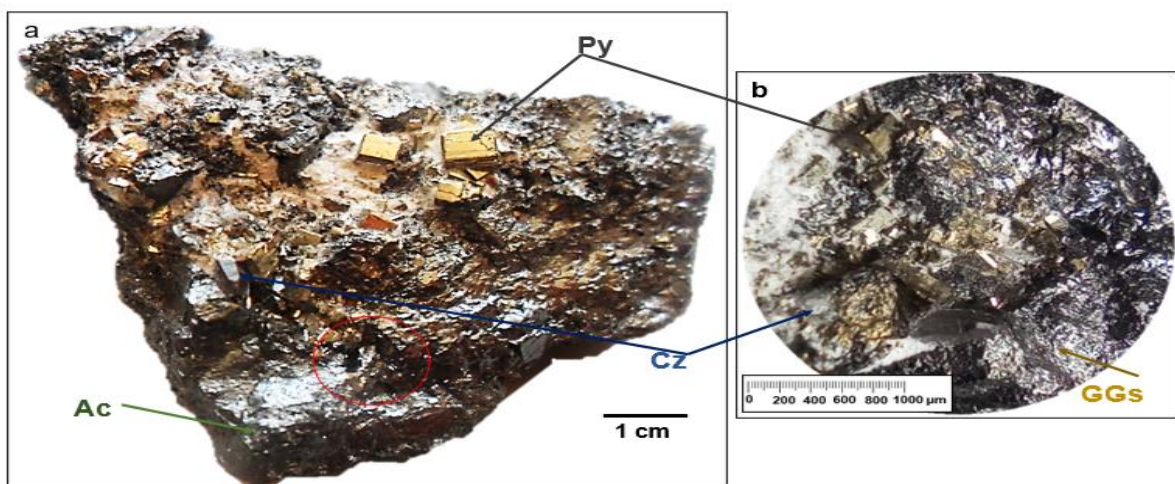


Foto N°12: En a) muestra de mano del mineral de acantita de forma masiva con inclusiones de pirita cubica, cuarzo y arcillas b) (vista aumentada 60x de la foto a) se observa la arcilla de brillo mate y cobre grises.

4.1.2.2. Muestra MSF_04: Tetraedrita ($\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$)

La tetraedrita se encuentra dentro del grupo de cobre grises, es un mineral de la clase de los sulfuros, químicamente es un antimonio sulfuro de hierro y cobre, su composición química está dada por el 34,80% de Cobre, 29,64% de Estaño, 25,37% de Sulfuro y 10,20% de Hierro, este mineral se puede identificar físicamente por su brillo metálico, color gris acero a negro con un sistema cristalino tetraédrico o masas compactas, dureza en la escala de Mohs de 3, raya parda y densidad 5 g/cm³

La característica de su relación con otros minerales y con la roca caja, permite suponer que la solución que contiene a la Tetraedrita fue Mezotermal y hubo bastante acción de dilución y sustitución en su emplazamiento. La Tetraedrita también se encuentra reemplazamiento a la Calcopirita y en forma de venillas e intrusiones dentro de esta. Sustituye también a la Arsenopirita y Pirita.

La tetraedrita junto con la Tennantita conforma una de las principales menas de cobre, este mineral se encuentra como un sulfuro primario de la veta formado en un ambiente de temperaturas moderadas, la foto N°13 presenta una muestra de mano de la tetraedrita con cristales bien definidos. Se presenta con cuarzo cristalizado, con su típico color gris metálico.



Foto N°13: Muestra de Tetraedrita, obtenida del área de geología de la empresa HNS, extraída de la veta chibola el cual se observa cristales de habito tetraédrico.

4.1.2.3. Muestra MSF_05: Tennantita ($\text{Cu}_{12}\text{As}_4\text{S}_{13}$)

La Tennantita es una de las variedades de la tetraedrita por lo que sus propiedades físicas son similares y no es fácil identificarla en forma masiva, químicamente es un sulfuro de arsénico de cobre, con algo de antimonio que reemplaza al arsénico. El hierro y el zinc sustituyen de forma variable al cobre hasta en un 15 por ciento, su hábito más común de la Tennantita se produce en forma granular masiva o cristales tetraédricos redondeados.

En la veta chibola la Tennantita no se puede reconocer a simple vista por motivo de que se encuentra en mayor cantidad de forma masiva, sin embargo, también se le puede encontrar cristalizado como se observa en la foto 14.

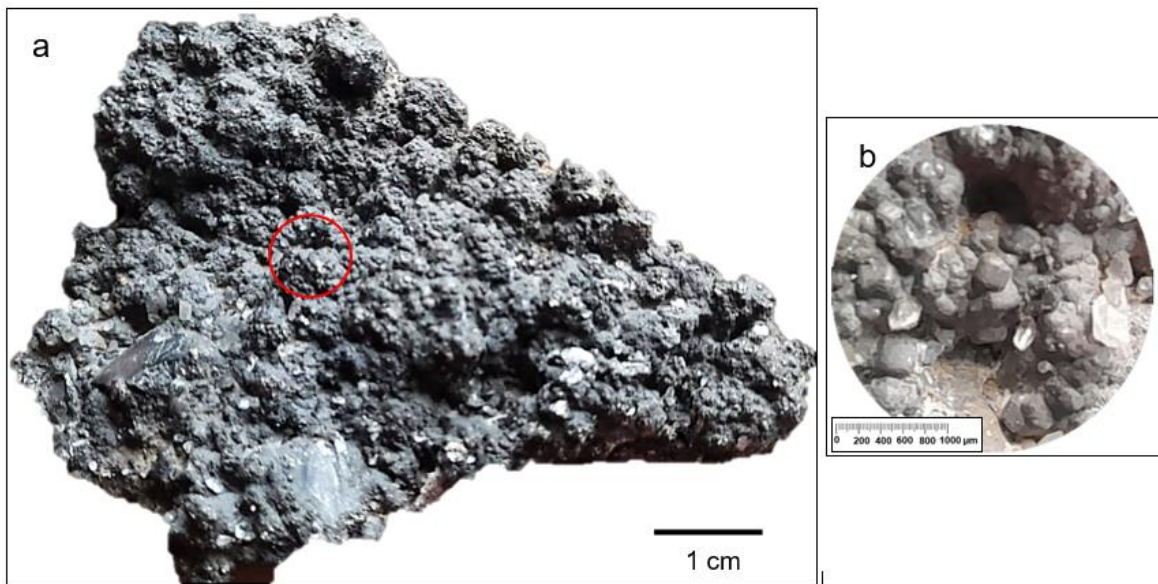


Foto N°14: a) Muestra de Tennantita, obtenida del área de geología de la empresa HNS, extraída de la veta chibola el cual se observa cristales de hábito tetraédrico. b) vista aumentada 60x de la foto a) se observa el hábito tetraédrico redondeado

4.1.2.4. Muestra MSF_06 - La calcosina (Cu_2S)

La calcosina o calcosita se encuentra dentro de la clase de los sulfuros, pertenece al grupo de sulfuros de cobre, su composición química está dada por un 79.7% % de Cu y 20.3 % de S, en la muestra MSF_01 ocurre como finas venillas, generalmente cortando a los cobres grises y, en menor medida, a la pirita; aunque

también en los bordes de esta última (microfotografías 1, 3 Y 11). se considera a esta calcosina como primaria.

En el yacimiento mineralizado es una de las principales menas de cobre junto con la calcopirita, se puede identificar este mineral por su brillo metálico iridiscente en tonalidades azulado a violáceo. Como se puede observar en la foto N°15



Foto N°15: Muestra de calcosina de color gris a negro con tinte azulado iridiscente, sus cristales tienen forma pseudo-hexagonal.

4.1.2.5. Muestra MSF_07 - La calcopirita

El segundo mineral de mena explotable se encuentra relleno de las estructuras mineralizadas del yacimiento en un 20% con relación a la Tetraedrita- Tennantita. Aunque en ciertos sectores se presenta en mayor abundancia con relación a la anterior.

Se encuentra en forma masiva, microfracturada y en parte reemplazada por Tetraedrita, pero está reemplazando parcialmente a la Arsenopirita. No ha influenciado nada en la roca de caja, lo cual permite suponer que su emplazamiento fue epitermal.

La calcopirita se encuentra formando el grupo de los sulfuros, siendo este un sulfuro de cobre, su composición química está dada por Cu (34.4%), Fe (30.1%), S (35.5%) microscópicamente este mineral se observa en la microfotografía N°4a de la

muestra MSF_01, como playas hectomicrométricas a milimétricas, ubicadas generalmente en la banda A, casi siempre con una pátina pardusca; a veces alterada a calcosina desde los bordes, Con mucha menor frecuencia, se le encuentra en la banda B, como playas decamicrométricas.

La calcopirita es de color amarillo latón también puede ser iridiscente de brillo metálico su raya es de color verde oscuro diferenciándose de la pirita, su dureza es de 3.5 en la escala de Mohs con 4.2 g/cm^3 de densidad tiene un hábito tetragonal o masiva

En la veta chibola la calcopirita se presenta de forma masiva el cual se reconoce por su color amarillo latón y raya verde oscuro. Al quedar expuesto este mineral a las condiciones superficiales toma un color iridiscente debido a su oxidación, para luego convertirse a covelina. Además se encuentra asociado a minerales como covelina, calcosina, cuprita, pirita, galena, esfalerita, cuarzo

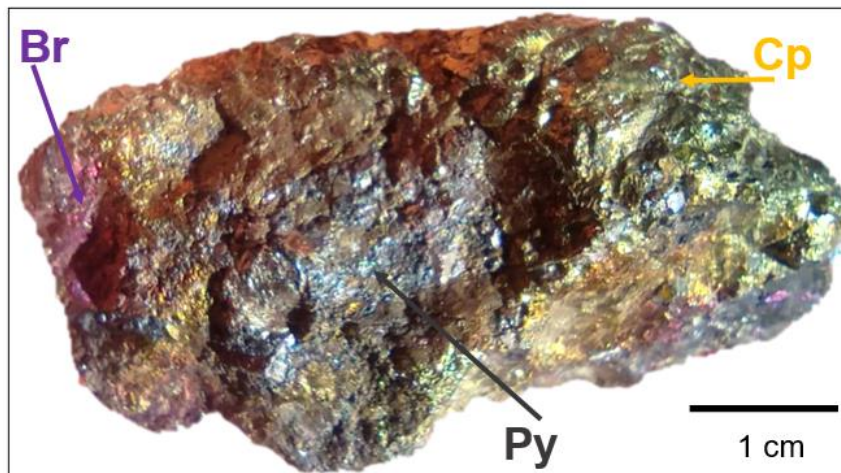


Foto N°16: Calcopirita masiva asociada a pirita, se puede observar la oxidación a bornita

4.1.2.6. Muestra MSF_8: covelina (CuS)

La covelina se encuentra dentro de la clase de los sulfuros, pertenece al grupo de sulfuro de cobre, su composición química está dada por un 66.46% de Cu y 33.54% de S, su principal característica de este mineral es el color azul índigo, tiene una dureza de 1 en la escala de Mohs con densidad de 4.6 g/cm^3 , su raya es de gris plomo y con brillo terroso,

Es considerada como un mineral secundario de cobre, por la oxidación de minerales de cobre como la bornita, calcopirita, calcosina, enargita y sulfuros de cobre en zonas supergenas, la veta chibola presenta este mineral en agregados masivos y en patinas en minerales primarios.



Foto N°17: Muestra de covelina en la que sobresale su color azul índigo

4.1.2.7. Muestra MSF_9: Bornita (Cu_5FeS_4)

Este mineral se encuentra como remplazo de la Tetraedrita. Se presenta en pocas cantidades, la presencia de este mineral podría indicar existencia de Galena en las proximidades.

La bornita se encuentra dentro de la clase de los sulfuros, pertenece al grupo de sulfuro de hierro y cobre, su composición química está dada por un 63.3% de Cu, 11.2% de Fe y 25.5% de S, la principal característica de este mineral es por el color similar al pecho de una paloma, tiene un brillo metálico con dureza de 3 en la escala de Mohs con densidad de 4.9g/cm^3 , su raya es de color gris oscuro

En la veta chibola la bornita es mena secundaria de cobre la cual se encuentra principalmente de forma potente y en ocasiones diseminada asociada a la calcopirita, en la fotografía se puede observar inclusiones de pirita, covelina y cobre gris.

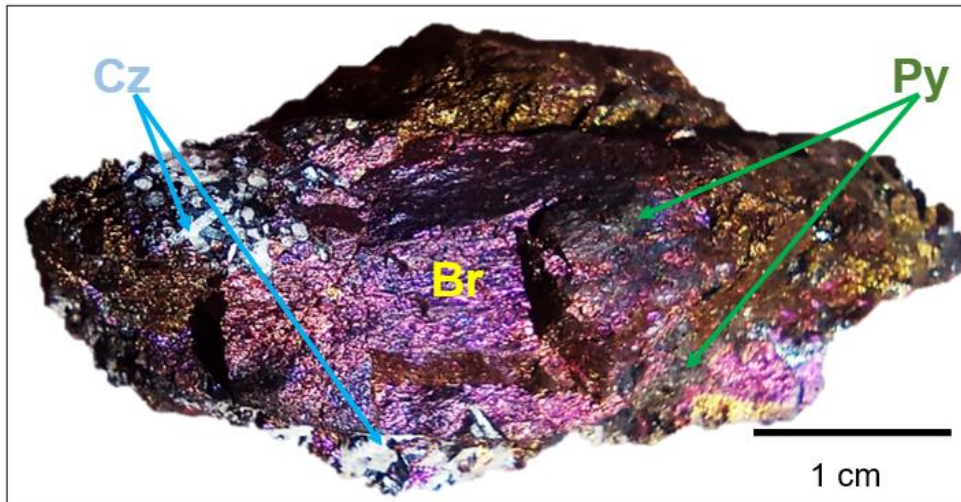


Foto N°18: Alteración de calcopirita a bornita con inclusiones de pirita y cuarzo.

4.1.2.8. Muestra MSF_10: hematita (hm): Fe_2O_3

La hematita es un mineral del grupo de los óxidos, principalmente un óxido férrico, su composición química esta dado por el 70% de Fe y el 30% de O₂

En agregados masivos, engloba los fragmentos de arenisca cuarzosa y cuarzo hidrotermal (microfotografía N°12); también se presenta entre los espacios intergranulares y pigmentando ligeramente a los fragmentos (microfotografía N°13 y 14).

La foto 19 muestra una hematita, de habito fibroso, color castaño rojizo, identificada por el color de su raya (rojizo), compuesto de oxido ferroso y constituye una importante mena de hierro, presenta un brillo opaco con una dureza de 5.5 y densidad de 5.26 g/cm^3



Foto N°19: Turgita de habito fibroso cubierto por patinas de covelina

4.1.2.9. Muestra MSF_11: Goethita FeO (OH)

La goethita es un mineral secundario pertenece al grupo de los hidróxidos de hierro, formado por la oxidación de minerales que contienen hierro su composición química está dada por 1.13% H, 36,01% O y 62.85% Fe. La principal característica de este mineral es que al deshidrata, la goethita forma hematita y al hidratarse se convierte en limonita, por lo que a menudo se encontrara asociada a estos minerales.

La goethita presenta un hábito muy variado el más conocido es en masas botroidales, aunque también se le puede encontrar como escamas aplanadas, su color el variado el más común es un marón rojizo, también se presenta de color iridiscente, su raya es de color amarillo parduzco tiene una dureza en la escala de Mohs de 5 con densidad de 3.5g/cm^3

la foto 20 Muestra a la goethita en habito botroidal de color marrón oscuro y tonalidades iridiscentes, se encuentran sobre roca cuarzo-arenisca, este mineral se presenta en la zona de óxidos asociado a hematita y jarosita. En la microfotografía 7 se observa granos de pirita.

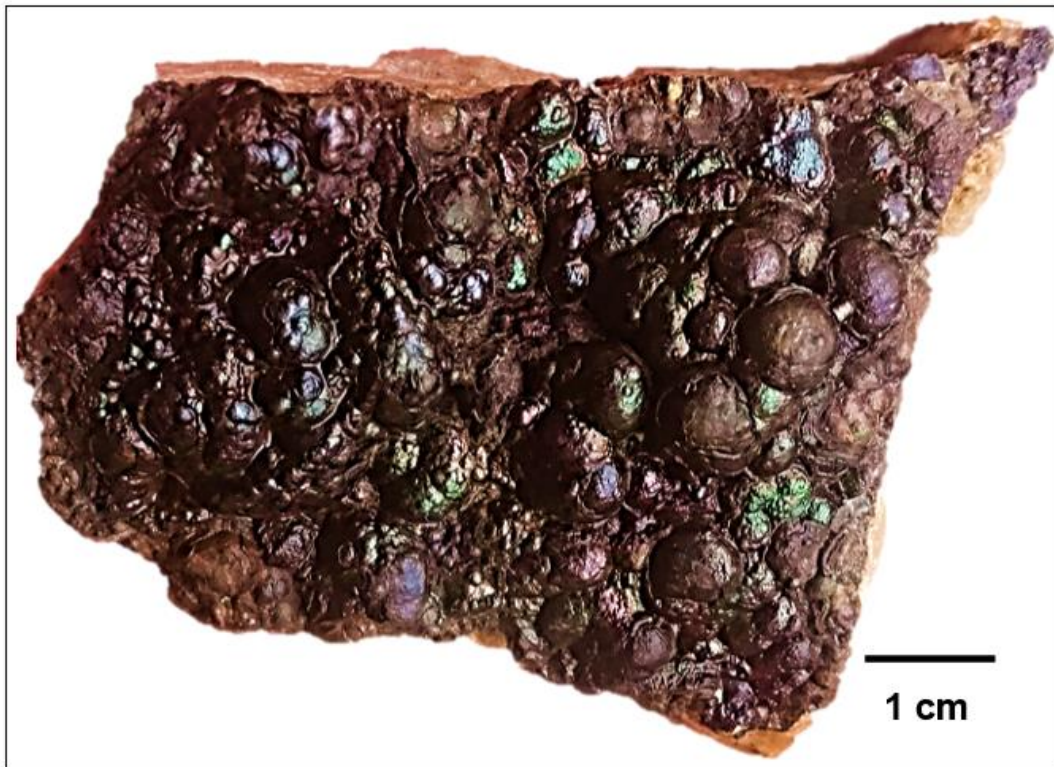


Foto N°20: Goethita con habito botroidal de color iridiscente.

4.1.2.10. Muestra MSF_12: Jarosita ($KFe_3+(SO_4)_2(OH)_6$)

La Jarosita pertenece al grupo de los sulfatos, considerado un sulfato de hierro y potasio, al igual que la goethita su origen es secundario, la formación de la jarosita se da por la oxidación de sulfuros de hierro, por lo que se encuentra asociada a estos minerales, su composición química está dada por 1.21% H, 12,81% S, 33.45% Fe, 44.73% O y 7.81% K, la principal característica de la jarosita es su color amarillo pardo, tiene una dureza en la escala de Mohs de 3 con densidad de $3.1g/cm^3$ su raya es amarilla y brillo vítreo, este mineral se encuentra mayormente en forma terrosas sus cristales pueden ser observados a través del microscopio. La foto 21 muestra a este mineral de forma terrosa junto con hematita de color rojizo.

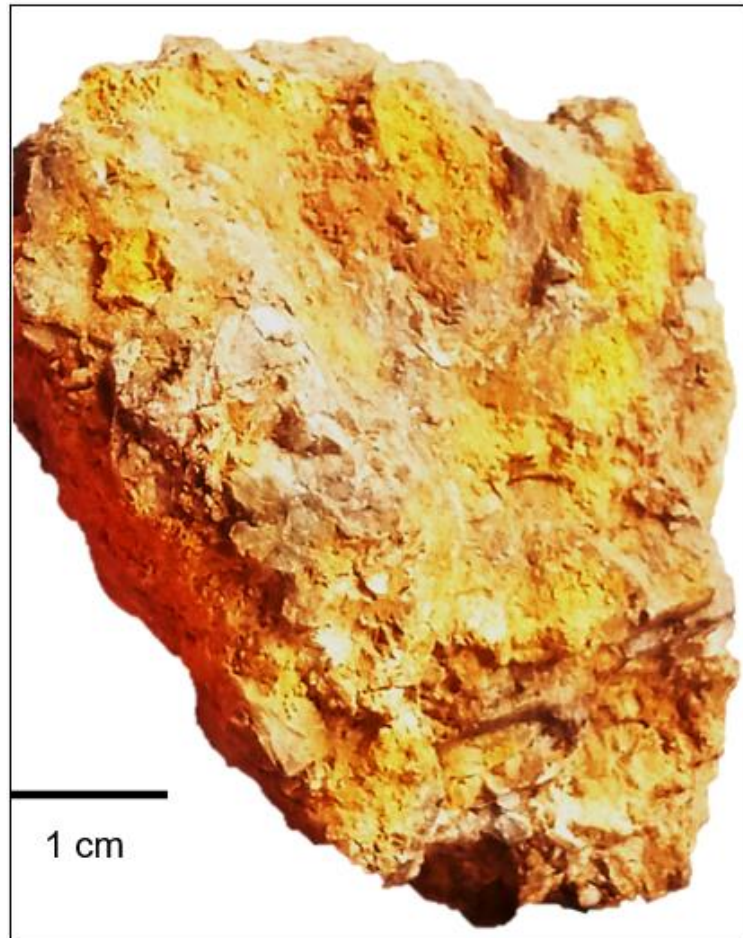


Foto N°21: Muestra de mano de jarosita masiva

4.1.2.11. Muestra MSF_12: Pirita (S_2Fe)

La pirita se encuentra dentro de la clase de los sulfuros, pertenece al grupo de sulfuros de hierro, su composición química está dada por un 45.6 % de Fe y 54.6 % de S, tiene una dureza en la escala de Mohs de 6 con peso específico de 5.02 y brillo metálico, su color es frecuentemente amarillo latón con raya negro verdoso su cristalización en cubica.

Este mineral se encuentra presente en la veta chibola, la cual varía en cantidades en toda la estructura, se presenta de forma diseminada o compacta, rara vez se puede observar su sistema cristalino formadas en pequeñas fracturas. La foto 22 muestra cristales de pirita en una muestra de mano teniendo una matriz de cobre grises.

En la muestra 1 la pirita es el componente principal de la banda B y ocurre como masas o agregados centimétricos (microfotografías_06, 9 y 11); en nícoles cruzados muestran una leve anisotropía, lo que sugiere un posible contenido de arsénico como impureza. A menudo exhiben inclusiones de cobre grises, con menor frecuencia de calcopirita y, más raramente, de esfalerita fina en forma de cruz (microfotografía_9), galena y arsenopirita. Ocasionalmente se encuentran atravesados por un fino venilleo de calcosina (microfotografías _07, 08 y 10). En la banda A es escasa.

En la microfotografía 13 de la muestra 2 está presente como finas inclusiones de tamaño decamimométrico, con formas sub- a anhedrales, o relleno algunas oquedades en el cuarzo hidrotermal y en la arenisca cuarzosa.

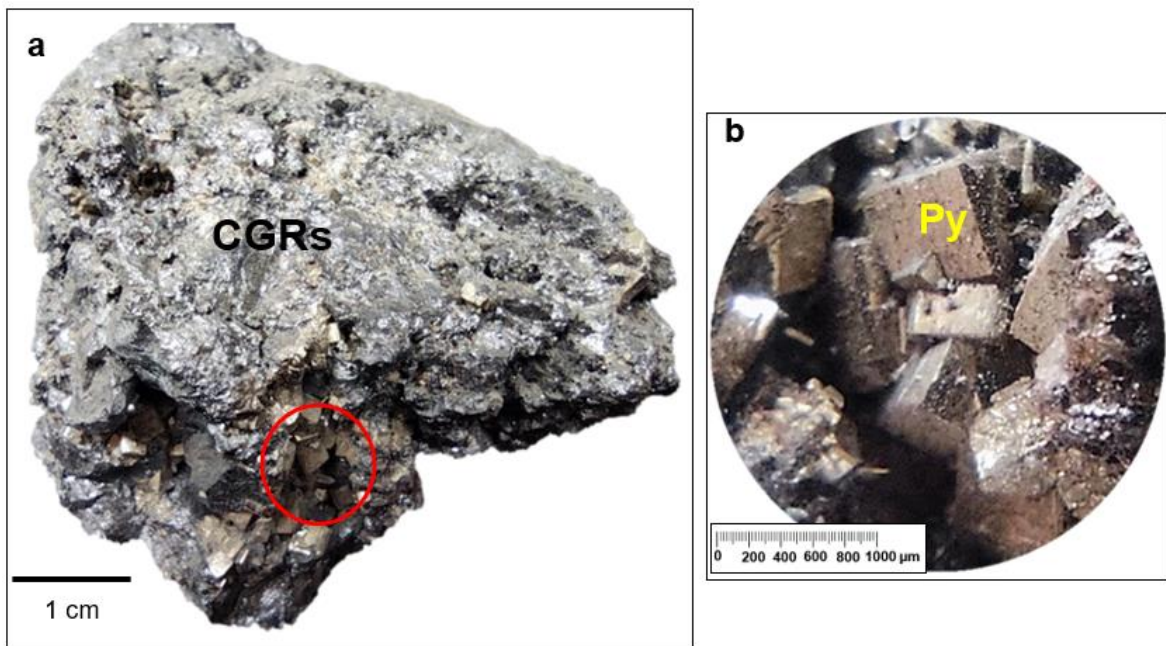


Foto N°22:a) muestra de mano de cobre grises de forma masiva con incrustaciones de pirita b) cristales de pirita con habito cubico (vista aumentada de la foto a)

4.1.2.12. Cuarzo (SiO₂)

Se presenta asociado con todos los minerales, también se le encuentra formando drusas en forma cristalizada. Sus cristales son prismas hexagonales, translucidos a lechosos.

Este mineral pertenece al grupo de los silicatos siendo su composición química 53.26% de O y 46.74% de Si, el cuarzo es incoloro de brillo vitreo, la dureza en la escala de Mohs es de 7 y con peso específico de 2.6, el hábito más frecuente del cuarzo es en prismas hexagonales más conocido como diente de perro

La muestra 1, muestra al cuarzo como Cristales subhedrales a euhedrales prismáticos ubicados entre los cristales de pirita, a veces fracturados por las venillas de arcillas (microfotografías_06A, 07 y 10).

La muestra 2, contiene Cuarzo de origen hidrotermal que se presenta como fragmentos de cristales sub a euédricos (Microfotografía N°15a). Muestra inclusiones fluidas bifásicas, gaseosas y secundarias, submicrométricas (Microfotografía N°15b).

el cuarzo se encuentra en las diferentes zonas de la veta chibola, en la zona de sulfuros lo encontramos en menor cantidad y de forma masiva difícil de diferenciar sus cristales, en la zona mixta y de óxidos se pueden diferenciar con mayor claridad su hábito, asociada a los diferentes minerales que se encuentran en dichas zonas.

La foto 23 muestras al cuarzo asociado a los diferentes minerales tanto sulfuros como óxidos, observándose en habito columnar conocidos como dientes de perro.

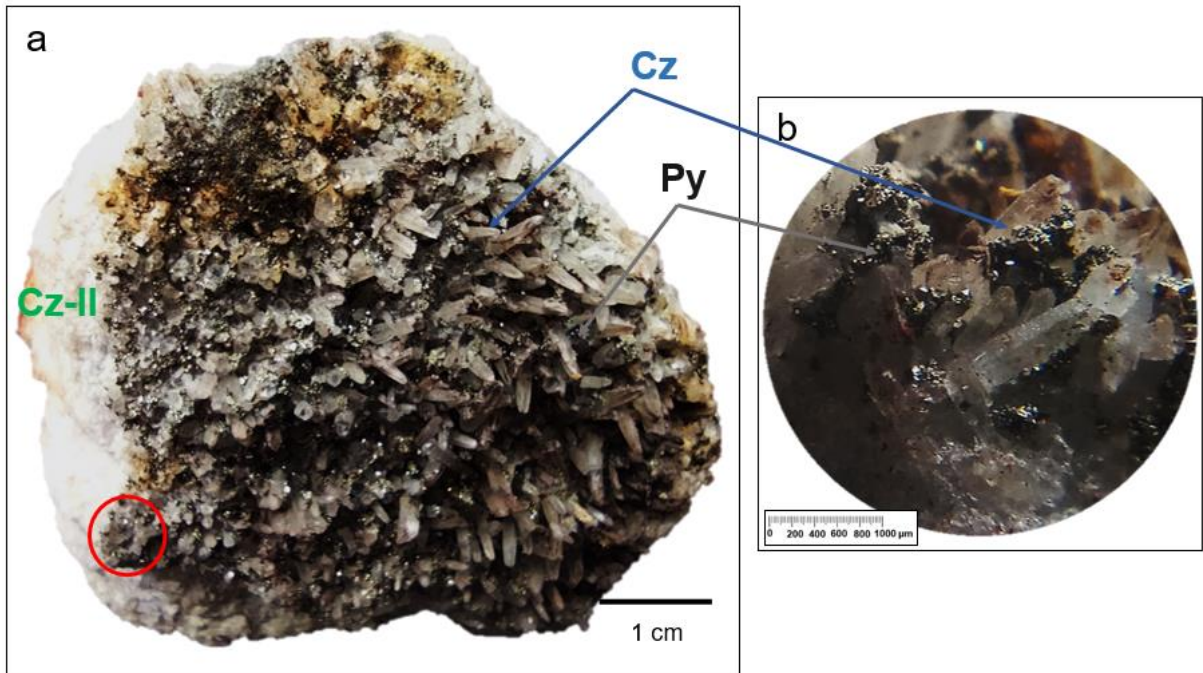


Foto N°23: a) Cuarzo cristalizado en matriz de arenisca cuarzosa con incrustaciones de pirita b) vista aumentada de la foto a) se observa el sistema hexagonal del cuarzo.

4.1.2.13. Arcillas (GGs).

Las arcillas están presentes en toda la veta chibola como relleno de fallas, creadas por la alteración que presenta la veta, principalmente illita y montmorillonita esta se encuentra en contacto con óxidos y sulfuros por lo que varía su color (foto N°25)

En las microfotografías N°4b, N°5b y 5c se observa como agregados en venillas de potencia micrométrica y grumos que se disponen, generalmente, a lo largo de las venillas de calcosina. También relleno espacios en estructuras de aspecto coliformes, en venillas de potencia hectomicrométrica que fragmentan a los minerales que atraviesa asociadas a micas y calcosina,

Entre los minerales que se encuentran en la veta chibola con mínimas cantidades y concentradas en ciertas zonas, las cuales, solo se han podido identificar con el uso de microscopio, se pueden observar en las microfotografías obtenidas de estas, así mismo tenemos:

4.1.2.14. Enargita (en) Cu_3AsS_4

La enargita forma el grupo de los sulfuros, Químicamente es un sulfuro de arsénico de cobre de composición 48.6% Cu, 19% As y 32.5% S. en la muestra 1 ocurre como playas irregulares, generalmente alteradas por cobre grises, quedando por ello con cierto aspecto craquelado (microfotografías_04B, 05B, 05C y 06B).

En la veta chibola la enargita se encuentra como sulfuro secundario asociada junto con cobres grises, cuarzo, esfalerita, calcopirita

Entre sus propiedades físicas tenemos que la enargita tiene un color negro grisáceo con brillo metálico, una dureza de 3.5 en la escala de Mohs, su peso específico es de 5.9 g/cm³. La enargita tiene por habito cristales tubulares.

4.1.2.15. La esfalerita ZnS

La esfalerita está compuesta químicamente por Zn (67%), S (37%), es escasa en la veta chibola, esta se puede observar en la microfotografía 2 presente como cristales anhedrales asociados con la calcopirita, y, con menor frecuencia, como exsoluciones en formas de cruz en los cristales de pirita (microfotografía N°9).

La esfalerita es de color marrón con brillo no metálico, su dureza en la escala de Mohs es de 3.4. y su densidad 3.5 g/cm³ su raya es marrón y su sistema cristalino de cubico

4.1.2.16. Galena

Entre sus propiedades físicas tiene un brillo metálico de color gris plomizo al igual que su raya de dureza en la escala de Mohs de 2.5 y densidad de 7.4 g/cm³. la muestra 1, identifica este mineral deca- a hectomicrométrica, es casi propia de la banda B y ocurre como escasas playas deca- a hectomicrométricas en cobre grises (microfotografía 11B), con cierta preferencia por ubicarse en los bordes de cristales de pirita (microfotografía 6b). Ocasionalmente muestran superficies oscurecidas

por ataque fotoquímico, lo cual sugiere un cierto contenido de plata. Podemos observar a este mineral asociado con la pirita, calcopirita y esfalerita

4.1.2.17. Arsenopirita (SAsFe)

Se presenta en forma casi microscópica, reemplazada en parte por Tetraedrita y Calcopirita, muy probable que sea con este mineral que este asociado el Oro presente en este yacimiento.

La arsenopirita es un mineral del grupo de los sulfuros en la clase de sulfoarseniuro de hierro, su composición química está dada por el 34.3% de Fe, el 46% de As y un 19.7% de S, la arsenopirita tiene un brillo metálico de color gris acerado con una densidad de 5.9 g/cm³ y dureza de 5.5. En la veta chibola este mineral es observado en la microfotografía N°3, detalle de la banda A, donde es predominante cobre grises (CGRs) atravesada por finas venillas sinuosas de calcosina (flechas verdes), con cristales anhedrales de pirita (flechas amarillas) y de arsenopirita (flechas rojas). Este mineral se asocia a la galena pirita y calcopirita, la podemos observar asociada a sulfuros como calcopirita, pirita, galena

4.1.2.18. Electrum

el electrum es una variedad del oro que contiene plata más de un 20% en su composición, su color varío de amarillo a blanco dependiendo de la cantidad de plata, tiene una dureza de 2.5 con densidad de 18 g/cm³, puede tener impurezas de Cu, Sn, Pb, Zn.

El electrum en la veta chibola presente es escaso, pero un tanto frecuente; se presenta como granos micro- a decamicrométricos ubicados principalmente al borde de los agregados de arcillas (microfotografía 4b, 5b y 5c), asociado con galena (microfotografía_06B y 11B), en bordes de oquedades (Microfotografía N°1) o al filo de las playas de calcosina (Microfotografía N°10). En mayores cantidades

este mineral se encuentra en la zona de óxidos asociado con la hematita y jarosita, lo cual demuestra el análisis químico que se realizó de la respectiva zona.

4.1.2.19. Micas (MCs)

Cristales lanceolados ubicados en agregados de manera intersticial a los cristales de cuarzo, a menudo Inter crecidas profusamente con calcosina intersticial (microfotografía N°7, N°8, N°10).

4.1.2.20. Óxidos de titanio (TiO₂)

la composición química del dióxido de titanio es de Ti (59.93%), Oxígeno (40.55%) En la micrografía N°7 y 10a se observa cristales dispersos entre los cristales de pirita, a veces con aspecto corroído. También, por asociación con las otras gangas como micas y forma octaédrica, podría tratarse de anatasa.

Siendo la anatasa un mineral de reducidas dimensiones, esta solo se puede observar a través del uso de microscopio, considerada en la veta chibola como ganga por la mínima cantidad en la que se encuentra, asociada a cuarzos y hematites.

4.2. ZONIFICACIÓN DE LA VETA CHIBOLA

La veta chibola tiene una extensión total vertical de 245 m la cual ha sido explorada y extraído el mineral económico para la empresa.

El zonamiento se ha realizado de acuerdo con la distribución de los minerales en la veta, los cuales se han identificado y describo mediante el estudio mineralógico, este zonamiento presenta 3 zonas bien diferenciadas, como se puede observar en la foto N°24, entre estas zonas se encuentran:

zona de óxidos con una distancia de 96 m. zona mixta con profundidad de 29m. y una zona de sulfuros o hipógena con profundidad de hasta 120m., el estudio que se realizó de secciones delgadas. determino que la disolución de los minerales

primarios, seguido por una superposición de minerales secundarios (incluidos los minerales de la mena) en la roca huésped, es fuertemente afectada por las fallas estructuralmente-controlada del fluido ascendente hidrotermal, además de la identificación de diferentes tipos de minerales primarios, secundarios y su distribución define las áreas de concentración de metal

La zona de óxidos es el producto de la alteración supergénica de sulfuros primarios tales como pirita, esfalerita, tetraedrita, galena y covelita, el oro se libera mediante este proceso y ocurren como disseminaciones y rellenando fracturas, los principales minerales que conforman esta zona son: jarosita, hematita y goethita como minerales principales, además de encontrarse cuarzo, arcillas y mínimas cantidades de sulfuros como pirita y cobre grises por ser minerales primarios.

La segunda zona se diferencia por ser una zona de transición encontrándose en mayor cantidad bornita, covelina, sulfuros secundarios y óxidos como hematita y jarosita, por lo cual se le conoce como una zona mixta,

Por último, la tercera zona siendo esta la más profunda, se encuentra únicamente minerales de sulfuros, Esta zona está compuesta por materiales de mayor temperatura como son: Tetraedrita-Tennantita en mayor cantidad junto con Calcopirita, notándose en algunas otras estructuras mínima cantidad de Esfalerita y Bornita, inicia a partir del subnivel 7 de 58 m. bajo la galería.



Foto N°24: Veta chibola en SN 7 inferior a 58m. de profundidad de la galería, en la que se visualizan una zona de transacción entre sulfuros y óxidos de potencia 50-60 cm.

Entre los minerales que conforman la veta chibola, se encuentran minerales económicos de los cuales se extraen oro, plata y cobre, también están presentes los minerales ganga como cuarzo, pirita y arcillas, los cuales se distribuyen en toda la veta

En la tabla N°5 podemos observar la distribución de minerales en las diferentes zonas que presenta la veta, además se encuentra la asociación que contiene cada una.

La imagen 12 presenta las zonas mineralizadas de la veta, óxidos, mixta y zona de sulfuros, esta zonificación se puede ver más a detalle en los anexos- plano 5

Tabla N°5: Minerales presentes en la veta chibola junto con sus asociaciones correspondientes de acuerdo con las zonas mineralizadas.

ZONA MINERALIZADA	MINERALES	ASOCIACIÓN MINERALÓGICA
Óxidos	Goethita	Goethita – jarosita- hematita-pirita- Electrum
	Jarosita	
	Limolita	
	Hematita	
Mixtos	Jarosita- hematita-Pirita-calcopirita- moscovita – cuarzo-cobres grises- Electrum	
	Bornita	Calcopirita, pirita, cuarzo, calcita.
	Covelina	Bornita, cobres grises, calcopirita
Sulfuros	Acantita	calcopirita, esfalerita, calcita, cuarzo.
	Cobres grises	Calcopirita – Esfalerita – Pirita – Arsenopirita – Calcosina – Enargita -Arcillas
	Calcosina.	Enargita – Arcillas – Electrum – Cobres grises – Pirita
	Calcopirita	Calcosina, esfalerita, pirita, arsenopirita
	Estibina	Cobre Grises – Pirita
	Arsenopirita	Pirita – Cobre grises-calcopirita
	Esfalerita	Calcopirita-Pirita
	Galena	Cobre grises -Pirita-Electrum
	Enargita	Cobre Grises
	Pirita	Cuarzo – Micas - Cobre Grises - Calcopirita - Esfalerita - Galena -Arsenopirita - Calcosina - Estibina -- Arsénico

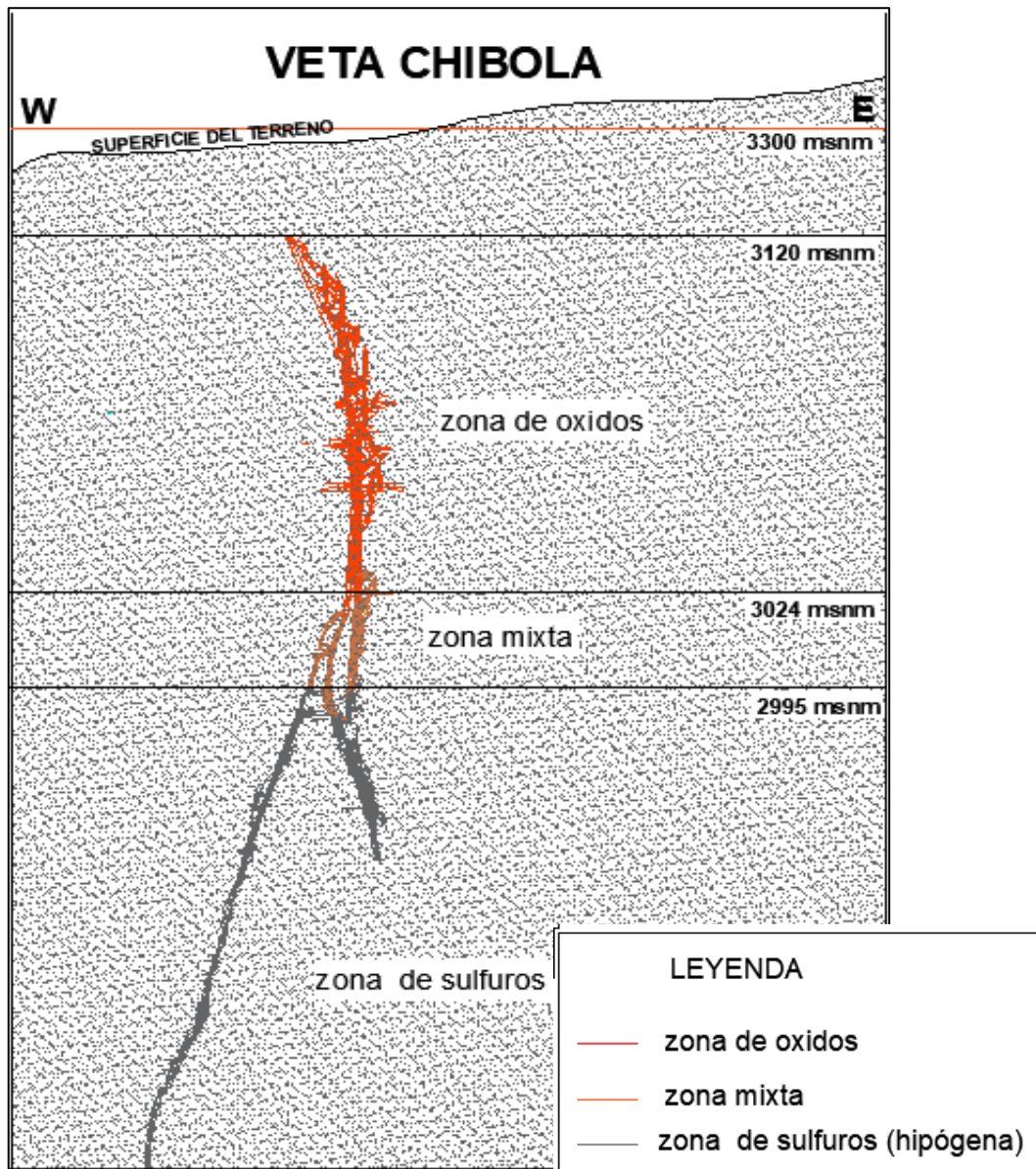


Imagen N°12: Zonificación de la veta chibola -vista en perfil

4.3. PARAGÉNESIS DE LA VETA CHIBOLA

4.3.1. PRIMERA FASE

En la fase más temprana de la mineralización se depositó el cuarzo y la Pirita. El Cuarzo siguió depositándose durante toda la formación de la veta, inclusive es el último mineral de la serie de paragenética.

4.3.2. SEGUNDA FASE

En la segunda Fase se precipito la Calcopirita, luego la solución se volvió más caliente y se precipito la Tetraedrita; después la solución hidrotermal siguió calentándose más produciendo reacciones secundarias, producto de las cuales es por ejemplo la Bornita.

La formación de los minerales en la veta se puede observar en el cuadro N°1 en la que se encuentran entre sulfuros primarios, sulfuros secundarios y óxidos, estos últimos formado por la oxidación de minerales primario, las flechas nos indican el tiempo, profundidad y temperatura.

Zona mineralizada	Minerales		Tiempo	Profundidad	Temperatura						
Óxidos	Jarosita	Óxidos (oxidación de sulfuros)									
	Hematita										
	Goethita										
Mixta	Acantita	Sulfuros secundarios				+	+	+			
	Covelina										
	Calcosina										
	Bornita										
	Esfalerita										
Hipógena	Enargita	Sulfuros primarios							+	+	+
	Calcopirita										
	Tetraedrita										
	Tennantita										
	Pirita										
Arsenopirita											

Cuadro N°1: Presenta la paragénesis de los minerales en la veta chibola de acuerdo con su temperatura, presión y profundidad

4.4. ALTERACIONES HIDROTERMALES

Las alteraciones hidrotermales, que se presentan en la mina nueva esperanza-nivel 2, han ayudado en la formación de nuevos minerales, los cuales han permitido una mejor recuperación del mineral económico, así mismo, la veta chibola presenta una alteración argílica en la zona hipógena, controlada por un sistema de fallas perpendicular a la veta, la cual nos indica la potencia de esta, mientras más cerca de la veta se encuentra mayor es la alteración a diferencia si esta se aleja, entre las alteraciones supergenas predomina la oxidación, esta ha ayudado en el cambio físico y químico de los minerales primarios

4.4.1. Alteración Argílica

Esta alteración es producto del cambio que se producen en minerales primarios tanto en su composición química como física por acción del contacto con el agua meteórica, la principal característica de este tipo de alteración hidrotermal es la presencia de minerales arcillosos como la illita, este tipo de alteración la podemos observar con mayor claridad como rellenos de las fallas que presenta la veta.

En la foto N°25 se observa a las arcillas como relleno de fallas con contenido de pirita diseminada en la foto de la izquierda y óxidos en la foto de la derecha, esto se debe a la profundidad en la que se encuentra la falla.

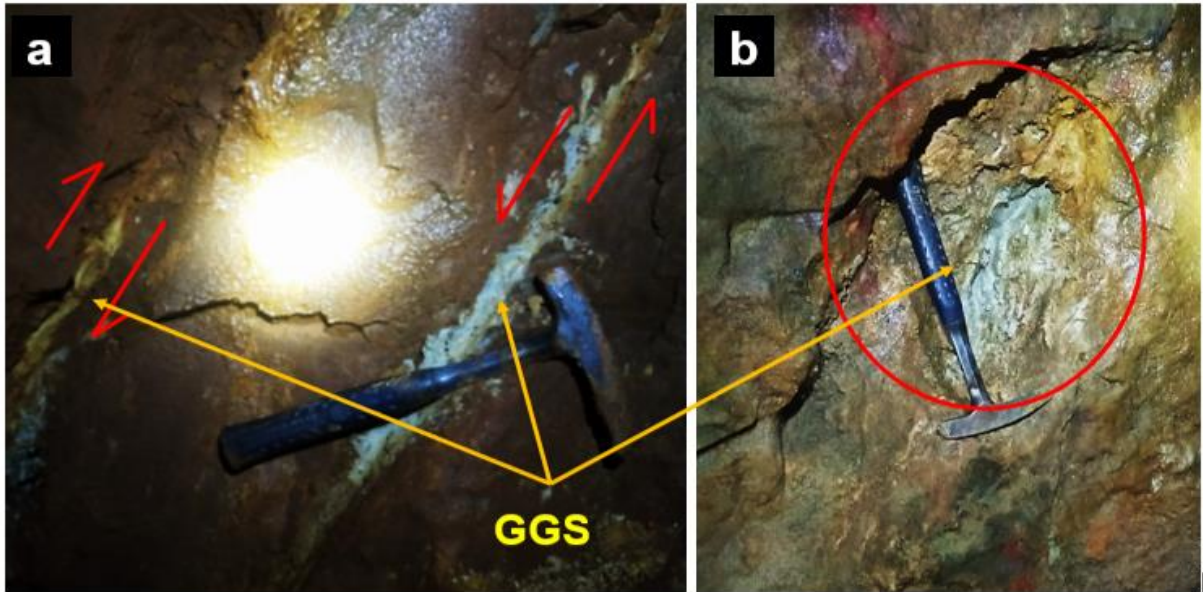


Foto N°25: Presencia de alteración argílica, a) falla normal e inversa con rellenos de arcillas b) arcillas de color amarillo y plomo por la presencia de óxidos y sulfuros.

4.4.2. Alteración Supergenás

4.4.2.1. Oxidación

Al oxidarse los sulfuros de la veta chibola se forman los diferentes minerales de óxidos e hidróxidos de hierro como la goethita, hematita y jarosita que se encuentran en mayor cantidad en la zona más superficial de la veta, esta alteración se produce por la oxidación de los sulfuros primarios que se encuentran en la veta por lo que los vamos a encontrar asociados a estos.

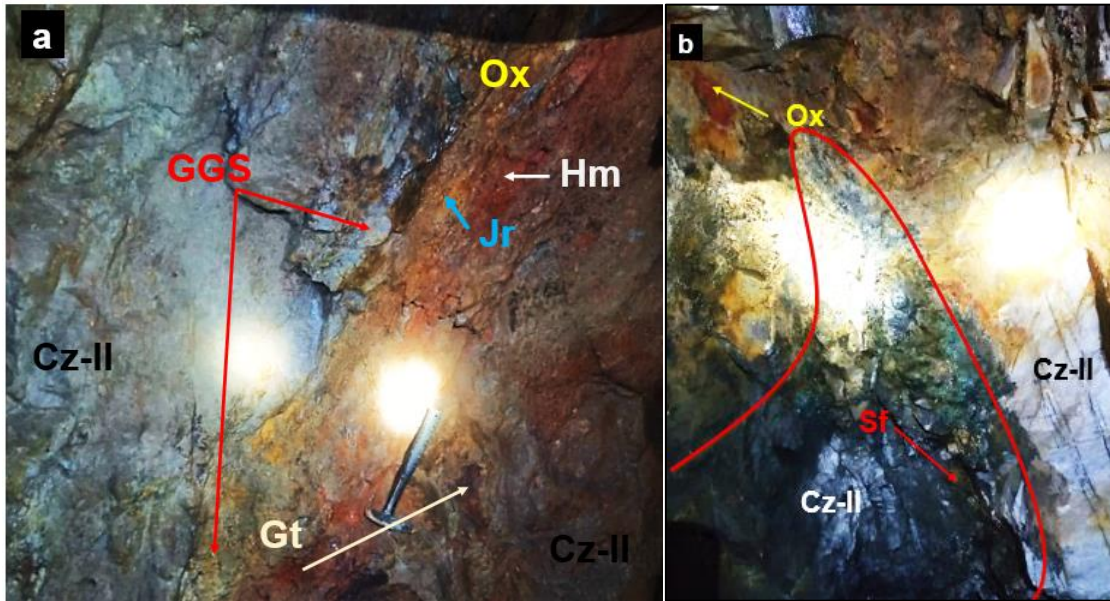


Foto N°26: Foto de la izquierda (a) muestra la veta con minerales de óxidos entre hematita, jarosita y patinas de goethita y la foto de la derecha (b) muestra la zona mixta entre sulfuros de cobre y óxidos.

4.5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La Zonificación de la veta chibola está dada por 3 zonas principalmente, zona supergenas (zona de oxidos) la cual se encuentran minerales de hierro como son la hematita , jarosita y goethita, en esta zona se encuentra principalmente minerales mena de oro suelto en forma de electrum y plata , zona mixta, los principales minerales que en encuentran en esta zona son minerales secundarios o de remplazo como la bornita, covelina y la zona más profunda (zona hipógena) en la que se encuentran minerales primarios como la Tetraedrita, Tennantita- y Calcopirita en mayores cantidades siendo los minerales de mena la plata y cobre.

El reconocimiento mineralógico se determinó por el envío de muestras representativas de la zona de oxidos y sulfuros, encontrándose minerales como enargita, esfalerita, arsenopirita, calcosina además de cobres grises y calcopirita en la zona de sulfuros y en la zona de oxidos los minerales de hierro ya mencionados anteriormente

La asociación mineralógica de la veta se encuentra entre Calcopirita – Esfalerita – Pirita – Arsenopirita – Calcosina – Enargita -Arcillas – cobre grises en la zona de sulfuros y en la zona de óxidos por Jarosita- hematita-Pirita-calcopirita- moscovita – cuarzo-cobres grises- Electrum, en cuanto a la paragénesis se produjo por dos fases en la primera se depositó el cuarzo y la Pirita y en la segunda se precipitó la calcopirita, tetraedrita, enargita y los minerales secundarios para finalmente oxidarse y formar la zona de óxidos

4.6. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Mediante la descripción de la variedad de muestras recolectadas de la veta Chibola y los resultados presentados, se determinó la presencia de minerales de óxidos como jarosita goethita y hematita presentes en mayor cantidad en la zona superior, los sulfuros primarios así como los secundarios se encuentran en la zona hipógena encontrándose con mayor cantidad minerales de Tennantita, tetraedrita siendo las principales menas de cobre, también se encuentran minerales de calcopirita, pirita, calcosina, covelina, en menores porcentajes; la distribución de los minerales ya mencionados es debido a la profundidad, temperatura y presión en la que cada uno de ellos se han formado, habiendo intervenido además el control estructural de la zona, por lo que se confirma la hipótesis inicial, la presencia de los minerales óxidos y sulfuros en vetas con menas de oro, plata y cobre y minerales por reemplazo corresponden a un tipo de yacimientos hidrotermal de Intermedia Sulfuración.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

La zonificación está dada por 3 zonas, zona de sulfuros con minerales principales de acantita, calcopirita, tetraedrita, Tennantita; la zona mixta con minerales de covelina, calcosina, bornita, hematita y la zona de óxidos encontrándose goethita, hematita y jarosita.

La asociación mineralógica en la zona de sulfuros está dada por minerales entre: cuarzo, acantita, enargita, calcopirita, esfalerita, tetraedrita, Tennantita, pirita, arsenopirita, covelina, calcosina, bornita y en la zona de óxidos se encuentra goethita, hematita, jarosita, pirita, cuarzo.

La paragénesis de la veta chibola se determinó por la formación de los minerales en tiempo, profundidad y temperatura. Habiendo minerales primarios, secundarios y por oxidación.

Los minerales de mena y ganga se determinaron por el porcentaje de mineral económico que se encuentran en su composición química, así tenemos la acantita, mineral de plata con un 87.06% de plata; principales menas de cobre calcopirita, Tetraedrita y Tennantita con un 80 % de cobre; y oro libre en minerales de óxidos la pirita, cuarzo, goethita, limolita, arcillas están considerados como minerales accesorios.

Se diferenciaron 2 tipos de alteraciones hidrotermales, las cuales dieron origen a la veta chibola, alteración argílica por la presencia de arcillas y la alteración supergenas con la presencia de óxidos.

5.2.RECOMENDACIONES

Se recomienda a la empresa HNS realizar un estudio geofísico, para determinas zonas anómalas que puedan ser asociadas a la mineralización.

Se recomienda a la empresa HNS realizar un cálculo de reservas de la veta chibola para determinar las reservas de los recurson minerales

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cacho, Y. 2021.** Estudio Mineralógico Y Alteraciones Hidrotermales En Compañía Minera San Nicolás S.A. Hualgayoc-Cajamarca, 2017.
- Camprubí, A. & Albinson, T. 2006.** Depósitos epitermales en México: actualización de su conocimiento y reclasificación empírica. México. Obtenido de: untitled (ingemmet.gob.pe).
- Cruzado, G. & Crisólogo, E. 2009.** estudio de geología. gobierno regional de Cajamarca, gerencia regional de planeamiento, presupuesto y acondicionamiento territorial, Cajamarca, pág. 18-19. tomado de: geología - apuntes- región Cajamarca geología 1 gobierno regional de Cajamarca gerencia - studocu
- Cruz, E. 2008.** Espectrometría de reflectancia (SWIR), aplicada para mapeo de alteración, Proyecto La India. Distrito minero Mulatos. 33-35 pág. Obtenido de: Microsoft Word - TESIS.docx (uson.mx) ,
tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/18179/Capitulo5.pdf
- GUERRA, Y. 2019.** Caracterización mineralógica de la calcopirita y su impacto en la producción de concentrados de cobre en Minera Estefany S.A.A. – Pachacayo – Jauja – 2019. UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN. Cerro de Pasco, Perú. Obtenido de: T026_71232204_T.pdf (undac.edu.pe)
repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/1949/1/T026_71232204_T.pdf
- GONZÁLEZ, O. 2009.** Características principales de los depósitos epitermales en el noroeste de México, un análisis y comparación pág. 15-25. Tomado de: Características principales de los depósitos epitermales en el noroeste de México, un análisis y comparación (uson.mx),
tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/20080/Capitulo5.pdf
- Huaripata, N. 2016.** Caracterización Minerográfica De Las Vetas Baca Y, Recuperada, Del Cerro La Chilca, Cajamarca, Perú.
- Hernández, R; Fernández C; Baptista, M. 2014.** Metodología de la Investigación. Sexta Edición. México, Mcgraw-Hill Interamericana Editores, S.A. 656p.

- Park & MacDiarmid, 1981.** Yacimientos Minerales. Texturas de menas y características de minerales en secciones pulidas con luz reflejadas. Ediciones Omega, p. 102-124. Tomado de: Texturas 1 TEXTURAS DE MENAS Y GANGAS - PDF Free Download (docplayer.es)
- Quispe, J. 2020.** Caracterización Mineragráfica de la Veta 722, U.E.A. San Cristóbal – Yauli La Oroya 2018. Cerro de Pasco-Perú.
- TRISTÁ, M. 2007.** Procesos geológicos relacionados con la formación de sulfuros de cu primarios de los yacimientos estratoligados de cu: el caso del yacimiento lince-Estefanía, distrito Michilla, segunda región de Antofagasta, Chile. Pág. 38
- Tumialán, P. 2003.** Compendio de yacimientos minerales del Perú. Boletín; 10. Serie B: Geología Económica, INGEMMET, LIMA. pág. 21-48. tomado de: Compendio de yacimientos minerales del Perú (unmsm.edu.pe).
- UNAP, 2014.** Museo Mineralógico. Universidad Arturo Prat, Chile. Obtenido de: https://www.unap.cl/prontus_nap/site/artic/20141029/pags/20141029155908.html ¿Que es un Mineral? (unap.cl). Revisado el 10 de abril
- Vereau, J. 2019.** Zonamiento genético de la mineralización y su relación con la extracción y recuperación de minerales en el área del yacimiento Corona. Lima, Perú.
- Vila, Ñ. 2021.** Distribución mineralógica y composicional en las vetas cordilleranas de zn-pb-ag-cu en el distrito de San Cristóbal, domo de Yauli, Perú Central, Lima.
- VALERIANO, M. 2018.** Estudio mineragráfico y determinación microscópica del grado de liberación de los minerales sulfurados de cobre, universidad nacional de san Agustín de Arequipa, Perú. Pág. 8, tomado de: IMvaqum.pdf (unsa.edu.pe)
repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/6724/IMvaqum.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Vallejo, J. 2014.** Manual de geología: capítulo 5. Los minerales. Universidad nacional de Colombia sede Manizales. Pág. 13-28. Tomado de: manual de geología: capítulo 5. Los minerales (unal.edu.co)

ANEXOS

Muestras obtenidas de la Veta Chibola

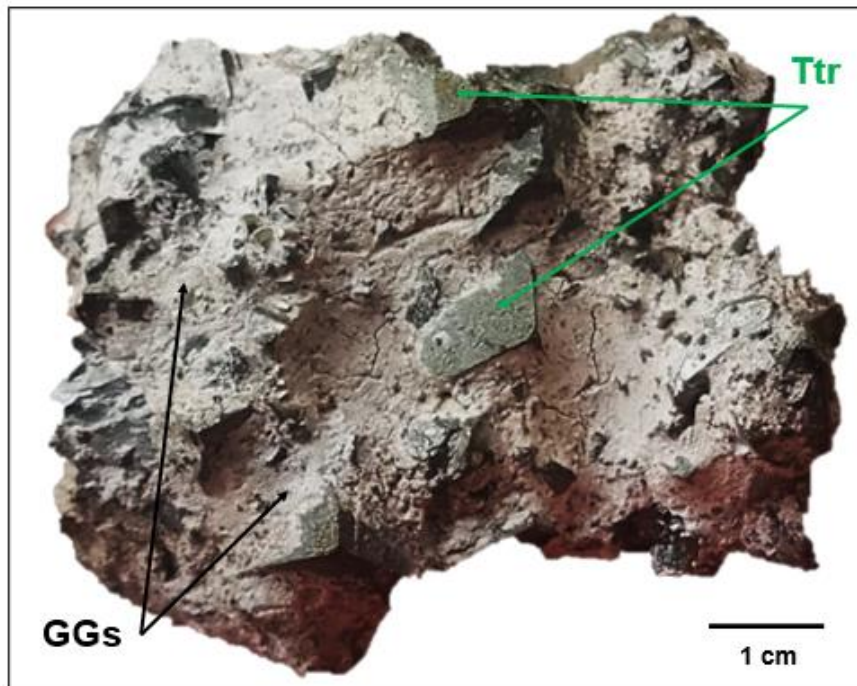


Foto N°27: Muestra de tetraedrita, se visualiza cristales tetraédricos cubiertos por arcillas (illita).

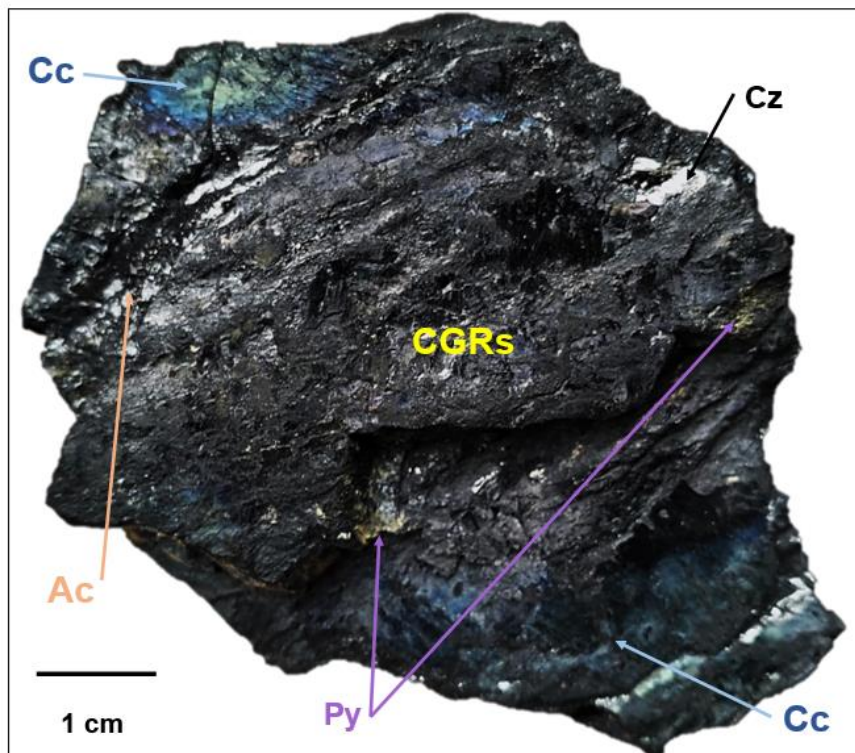


Foto N°28: Muestra extraída de la zona de sulfuros donde se puede observar minerales de cobre grises, calcosina, pequeños cristales de cuarzo e inclusiones de pirita

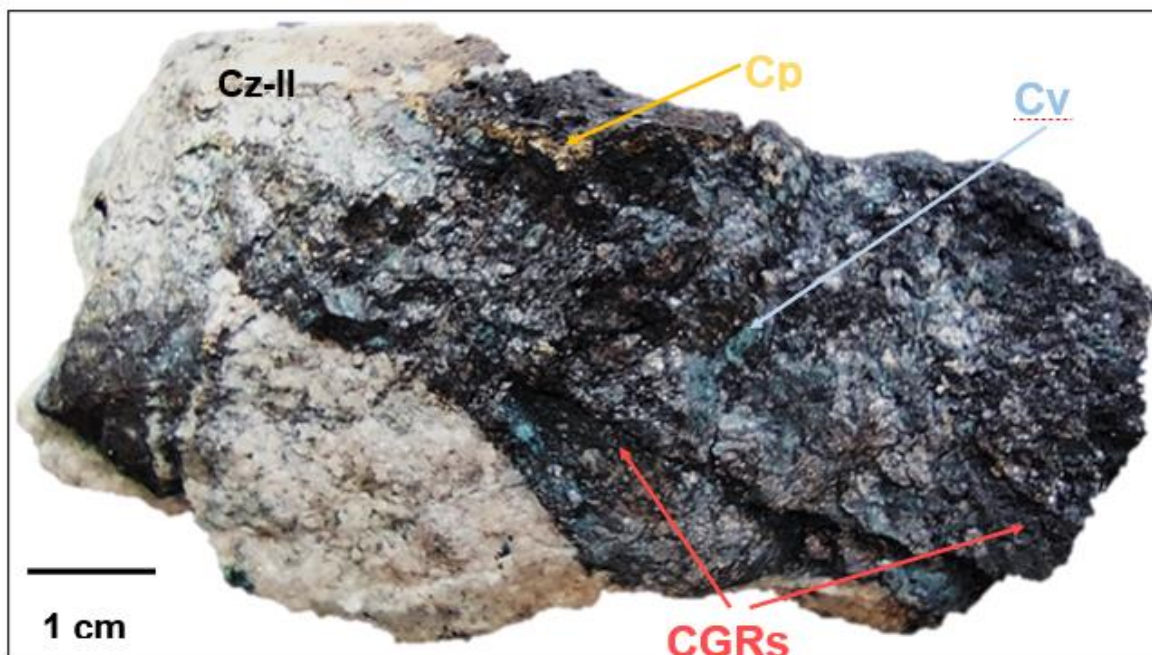


Foto N°29: Cobres grises en arenisca cuarzosa con fragmentos de calcopirita, covelina y pirita

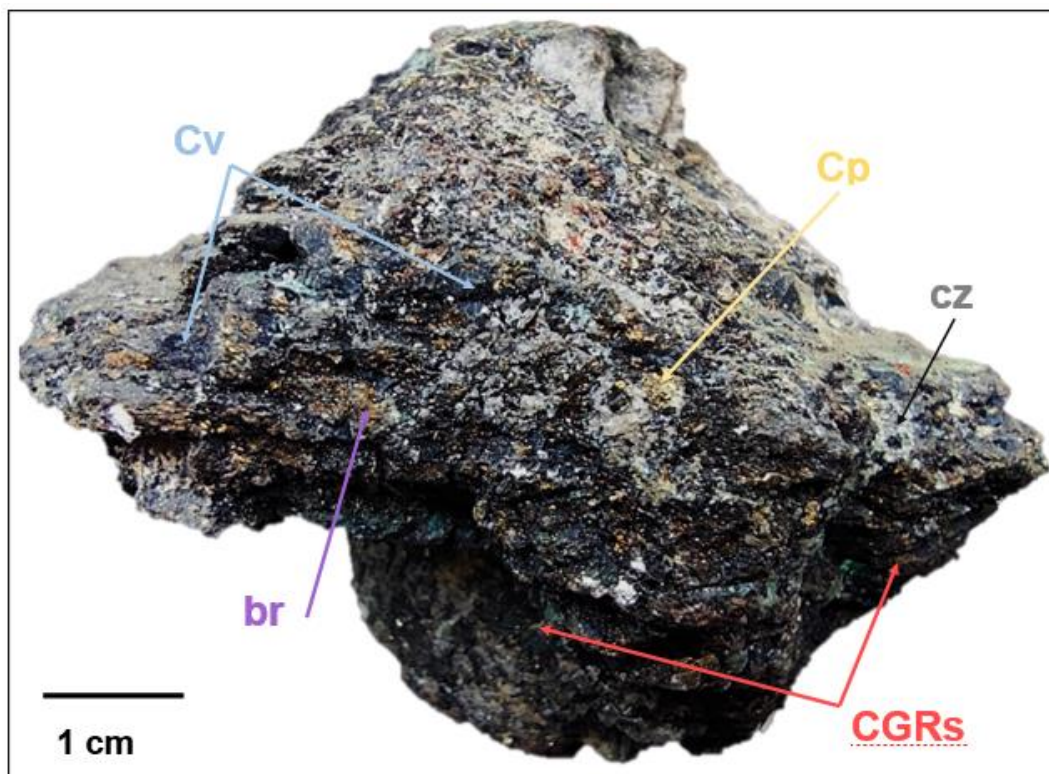


Foto N°30: Muestra de mano con matriz de cobre grises (CGRs) e inclusiones de calcopirita (cp), covelina (cv), bornita (br) y cuarzo.

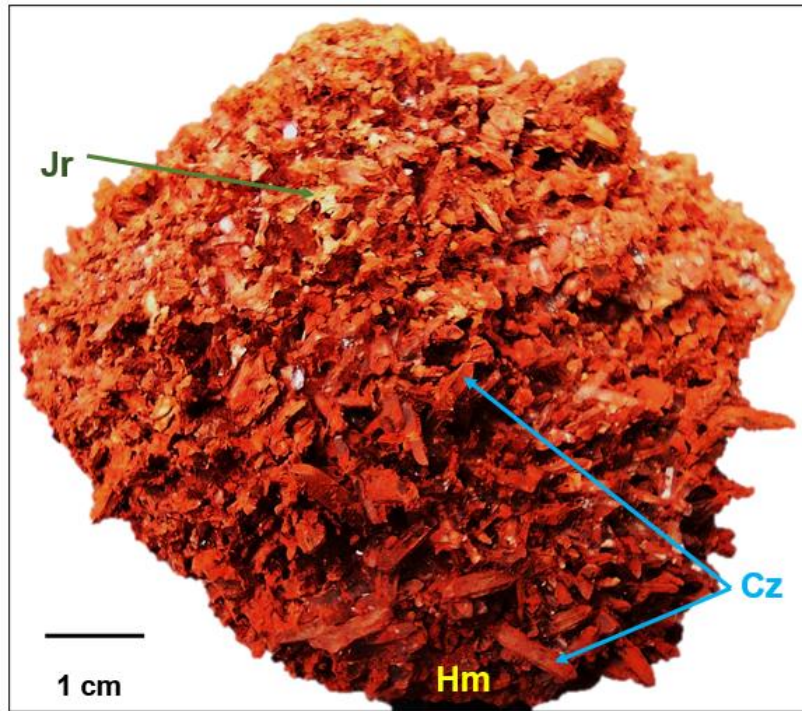


Foto N°31: Cristales de cuarzo en arenisca cuarzosa cubierta por jarosita (Jr) de color amarillento y hematita (Hm) de color rojo pardusco.

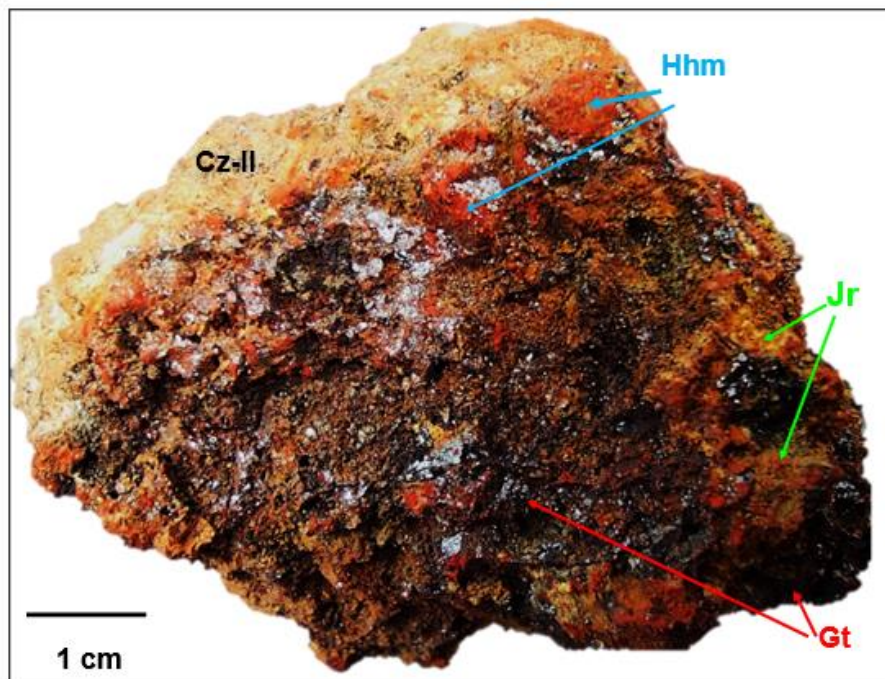
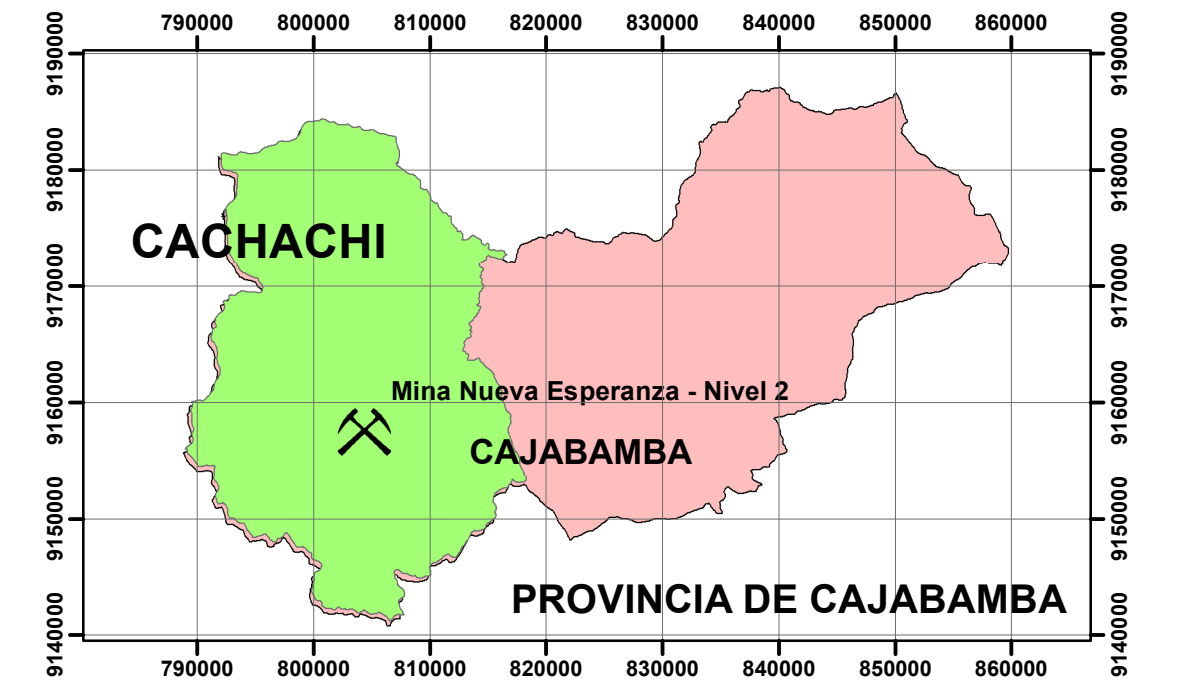
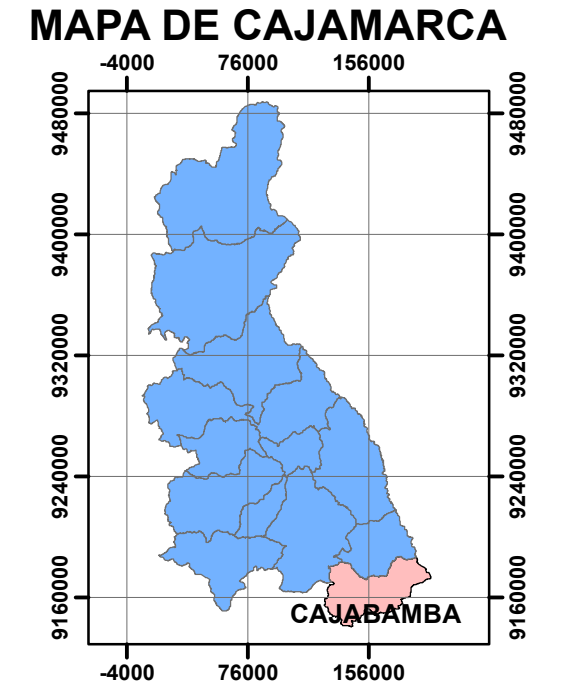
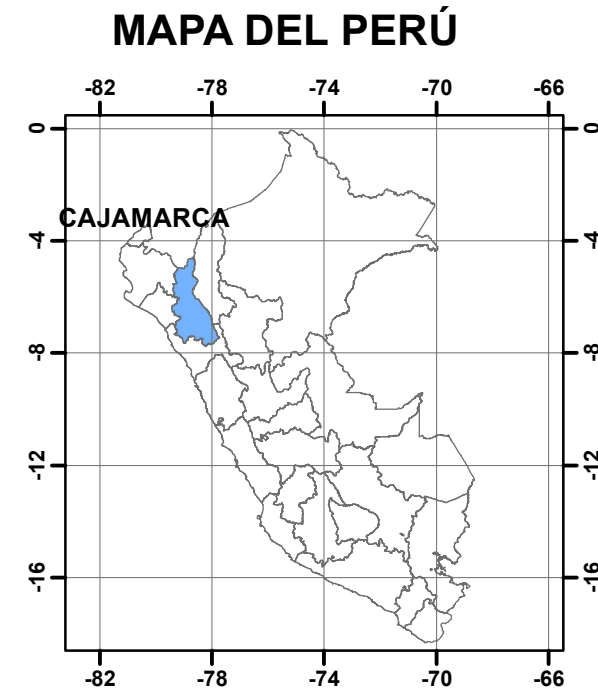
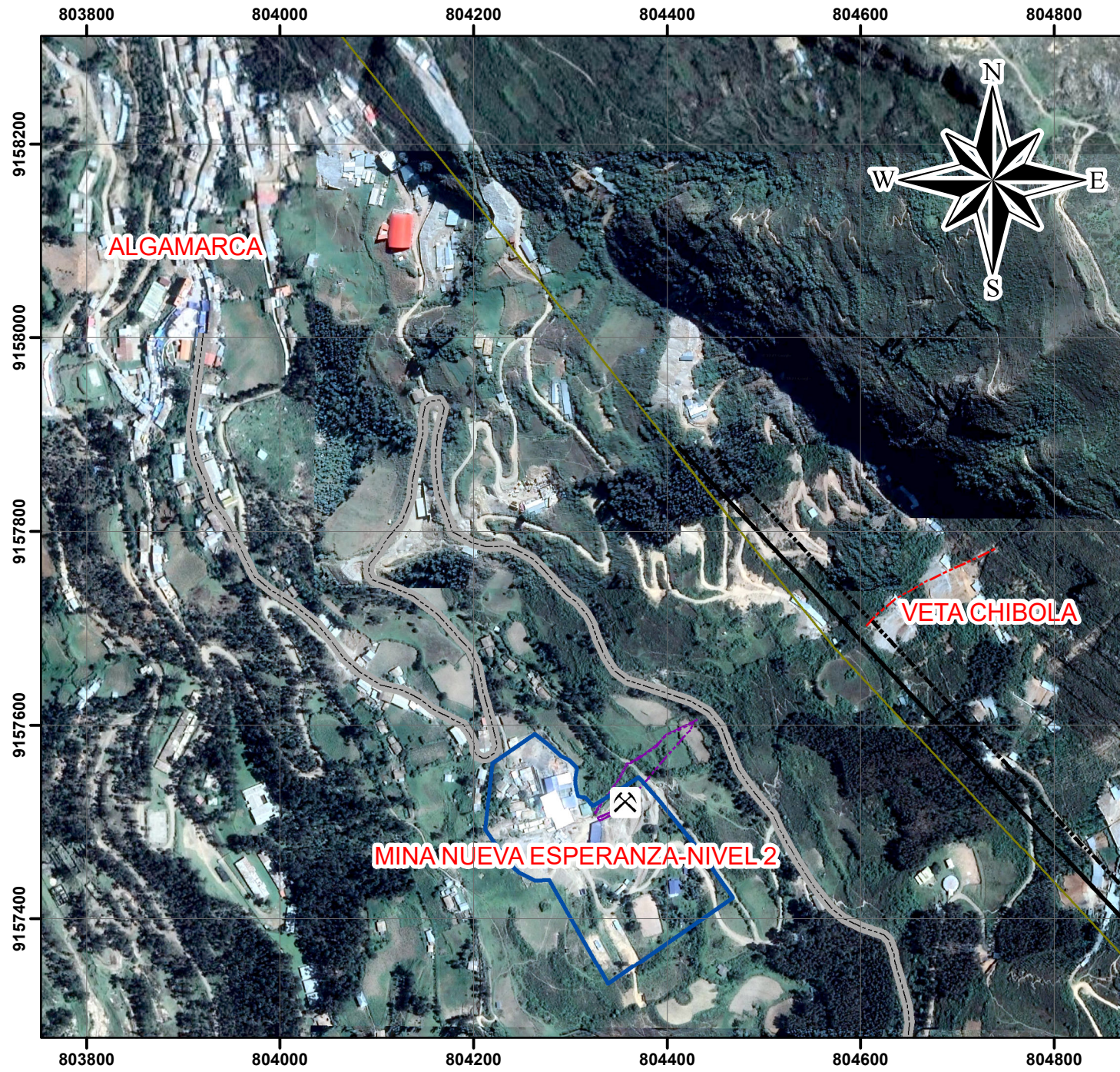




Foto N°32: Brecha hidrotermal conformada por minerales de óxidos como jarosita (Jr), hematita (Hhm) y goethita (Gt) en matriz de arenisca cuarzo.



LEYENDA

-  Bocamina
-  Caminos
-  Galeria
-  Veta Chibola
-  Instalaciones




SISTEMA DE COORDENADAS PROYECTADAS
UTM
DATUM HORIZONTAL: WG84
ZONA U HUSO :17 S

COORDENADAS			
Mina Nueva Esperanza	E	N	Z
	804356.457	9157520.26	3064.127

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

ZONIFICACIÓN Y RECONOCIMIENTO MINERALÓGICO EN LA VETA CHIBOLA, MINA NUEVA ESPERANZA-NIVEL2, EMPRESA HNS

 PLANO: PLANO DE UBICACIÓN

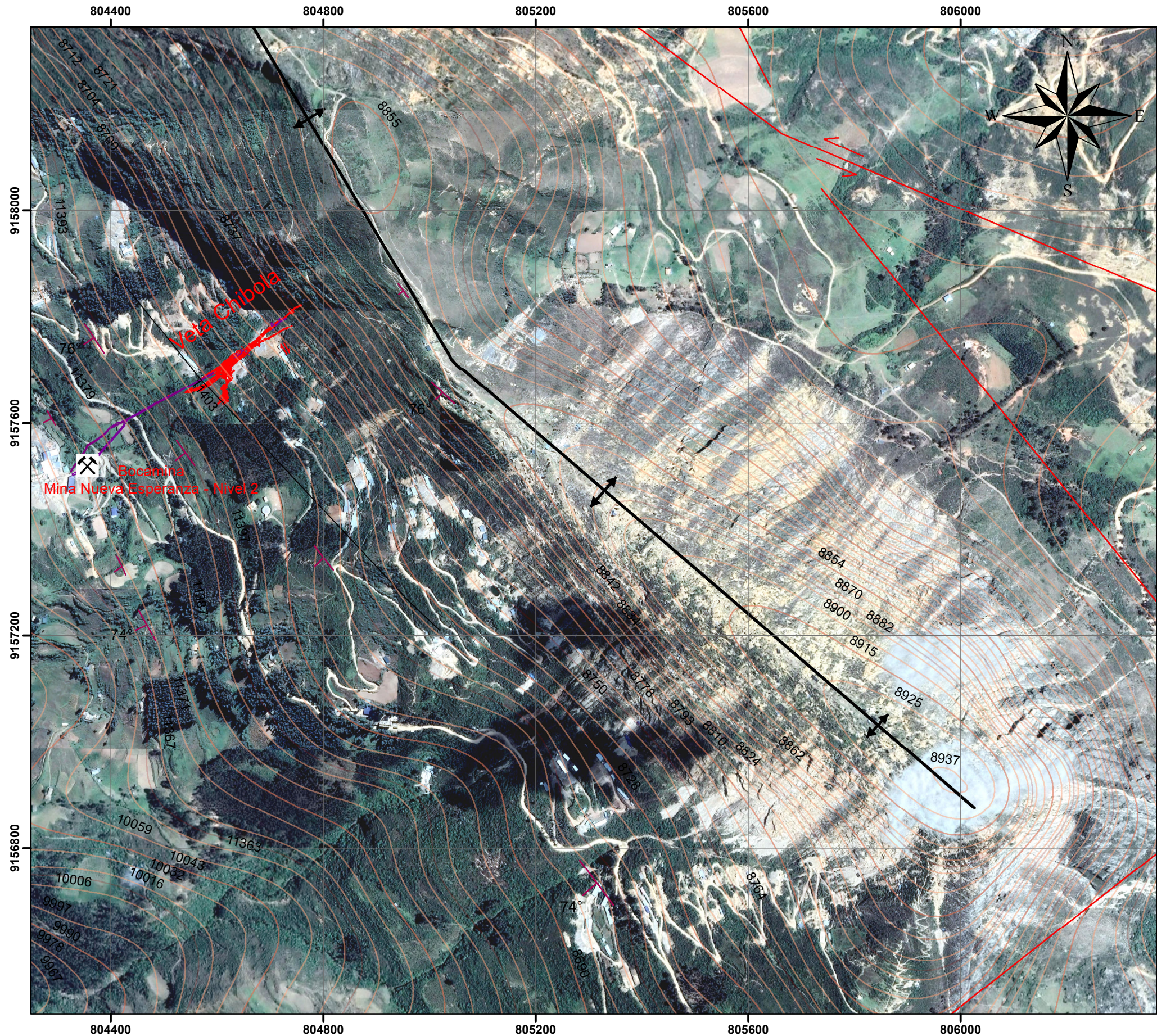
REALIZADO POR: Bach. LUCANO CHUÁN DEYSI LIBETH

ASESOR: Dr. Ing. QUISPE MAMANI CRISPÍN ZENÓN

DPTO: CAJAMARCA PROV: CAJABAMBA DIST: CACHACHI

ESCALA: 1/6000 FECHA: 17/10/2022

P-1



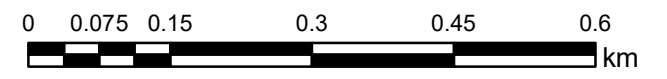
LEYENDA

- Mina Nueva Esperanza - Nivel 2
- Falla Algamarca
- Falla la Cruz
- Falla Santo Cristo
- Galería Principal
- Veta Chibola
- ANTICLINAL
- Curvas Mayores
- Curvas menores

SISTEMA DE COORDENADAS PROYECTADAS UTM
 DATUM HORIZONTAL: WG84
 ZONA U HUSO :17 S

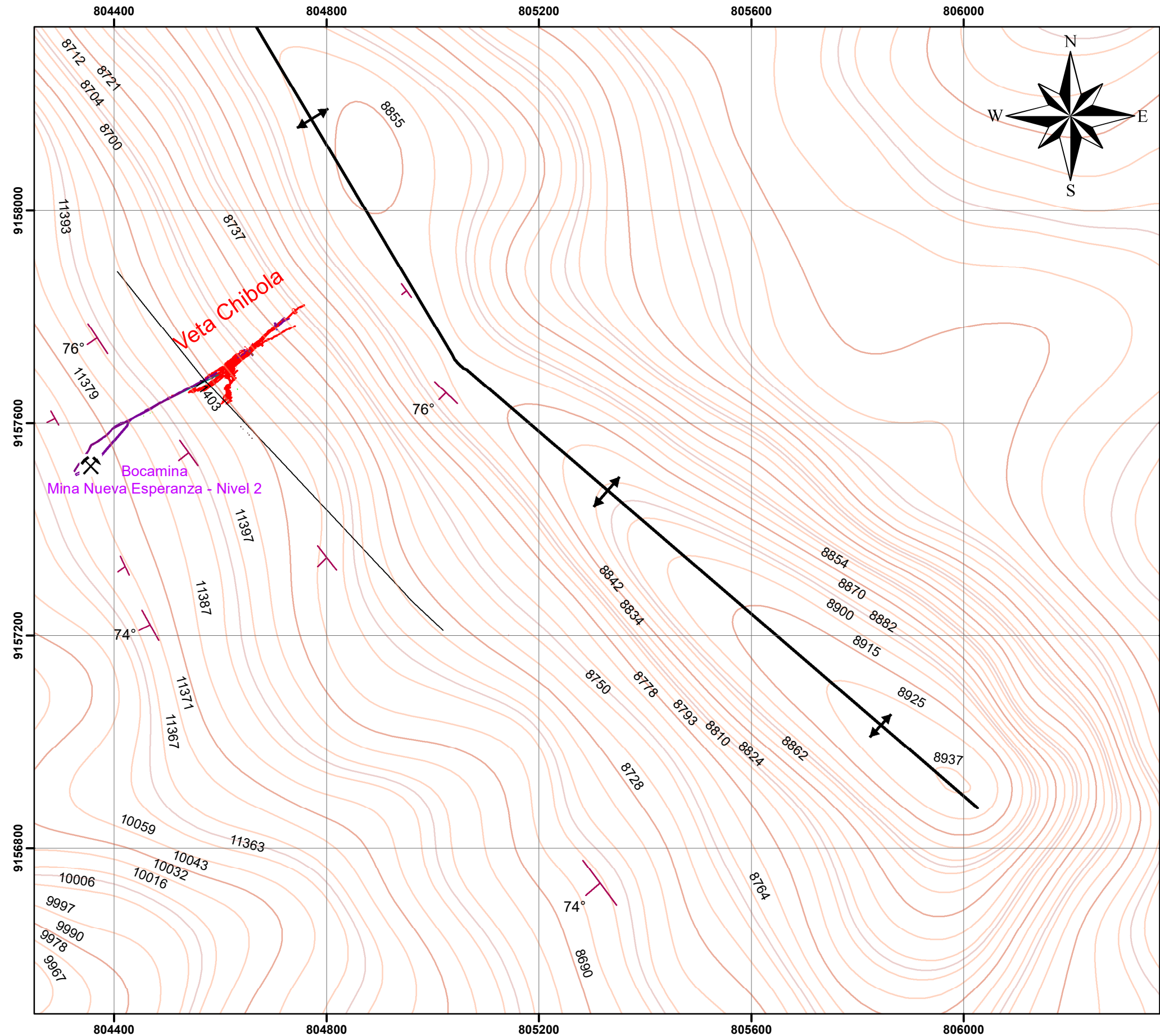
COORDENADAS

MINA NUEVA ESPERANZA - NIVEL 2	
N	9157520.256
E	804356.457
Z	3064.127



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA
 ZONIFICACIÓN Y RECONOCIMIENTO MINERALÓGICO EN LA
 VETA CHIBOLA, MINA NUEVA ESPERANZA-NIVEL2,
 EMPRESA HNS

	PLANO:	PLANO SATELITAL	P-2
	REALIZADO POR:	Bach. LUCANO CHUÁN DEYSI LIBETH	
	ASESOR:	Dr. Ing. QUISPE MAMANI CRISPÍN ZENÓN	
	DPTO:	CAJAMARCA	
	PROV:	CAJABAMBA	
	DIST:	CACHACHI	
	ESCALA:	1/8000	FECHA: 17/10/2022

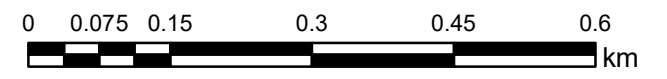


LEYENDA

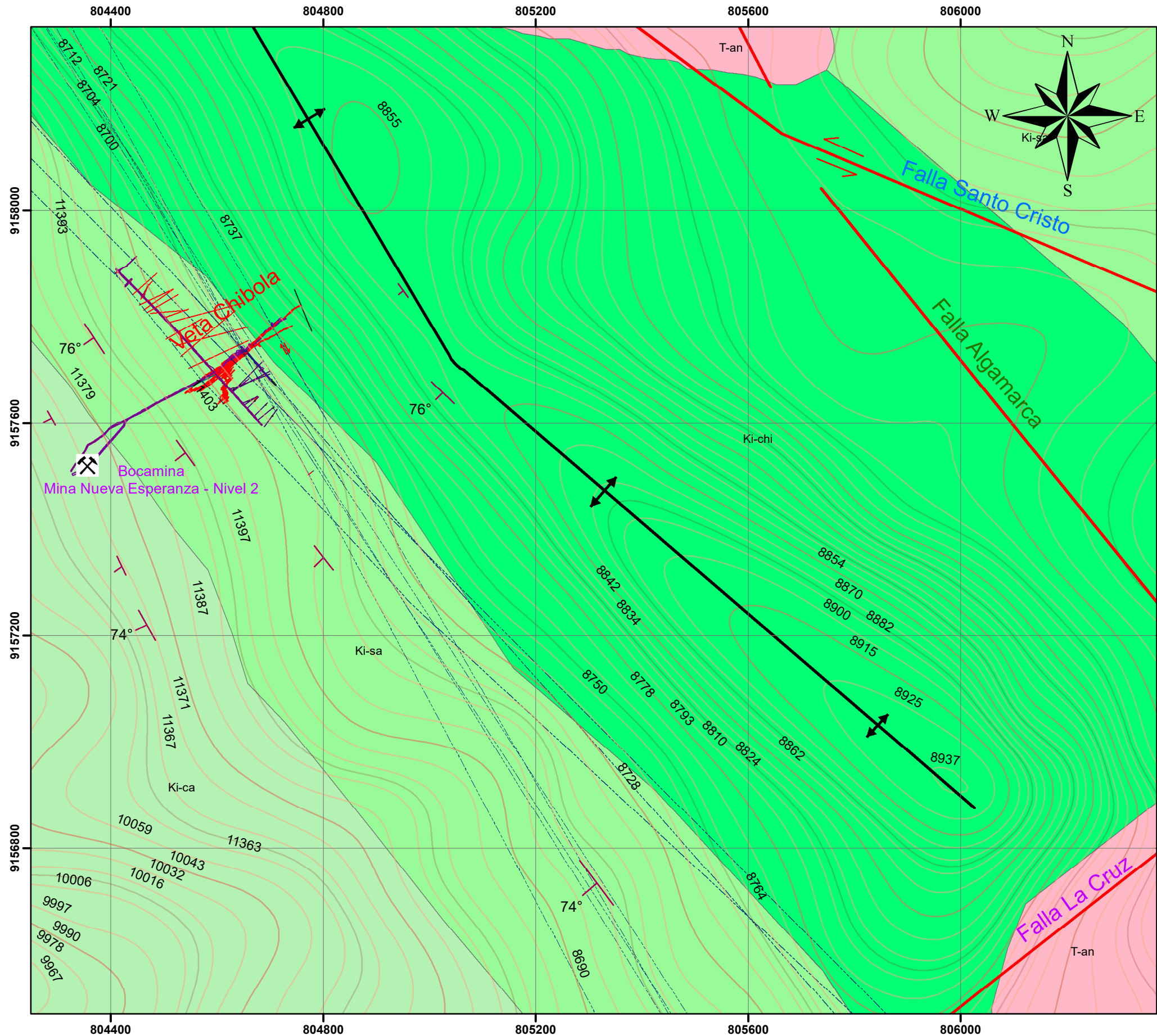
- Mina Nueva Esperanza - Nivel 2
- Galeria Principal
- Veta Chibola
- ANTICLINAL
- Curvas Mayores
- Curvas menores

SISTEMA DE COORDENADAS PROYECTADAS UTM
 DATUM HORIZONTAL: WG84
 ZONA U HUSO :17 S

COORDENADAS	
MINA NUEVA ESPERANZA - NIVEL 2	
N	9157520.256
E	804356.457
Z	3064.127



	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA		
	ZONIFICACIÓN Y RECONOCIMIENTO MINERALÓGICO EN LA VETA CHIBOLA, MINA NUEVA ESPERANZA-NIVEL2, EMPRESA HNS		
	PLANO:	PLANO TOPOGRÁFICO	
	REALIZADO POR:	Bach. LUCANO CHUÁN DEYSI LIBETH	
	ASESOR:	Dr. Ing. QUISPE MAMANI CRISPÍN ZENÓN	
DPTO:	PROV:	DIST:	P-3
CAJAMARCA	CAJABAMBA	CACHACHI	
ESCALA:	FECHA:		
1/8000	17/10/2022		



LEYENDA

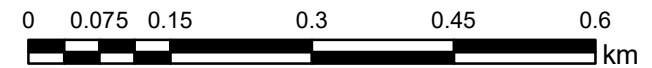
- Mina Nueva Esperanza - Nivel 2
- Falla Algamarca
- Falla la Cruz
- Falla Santo Cristo
- Galeria Principal
- Veta Chibola
- ANTICLINAL
- Curvas Mayores
- Curvas menores
- Fallas secundarias
- Vetas secundarias
- Contacto Interior Ki Chi - Ki. Sa

GEOLOGIA

- Ki-ca
- Ki-chi
- Ki-sa
- T-an

SISTEMA DE COORDENADAS PROYECTADAS UTM
 DATUM HORIZONTAL: WG84
 ZONA U HUSO :17 S

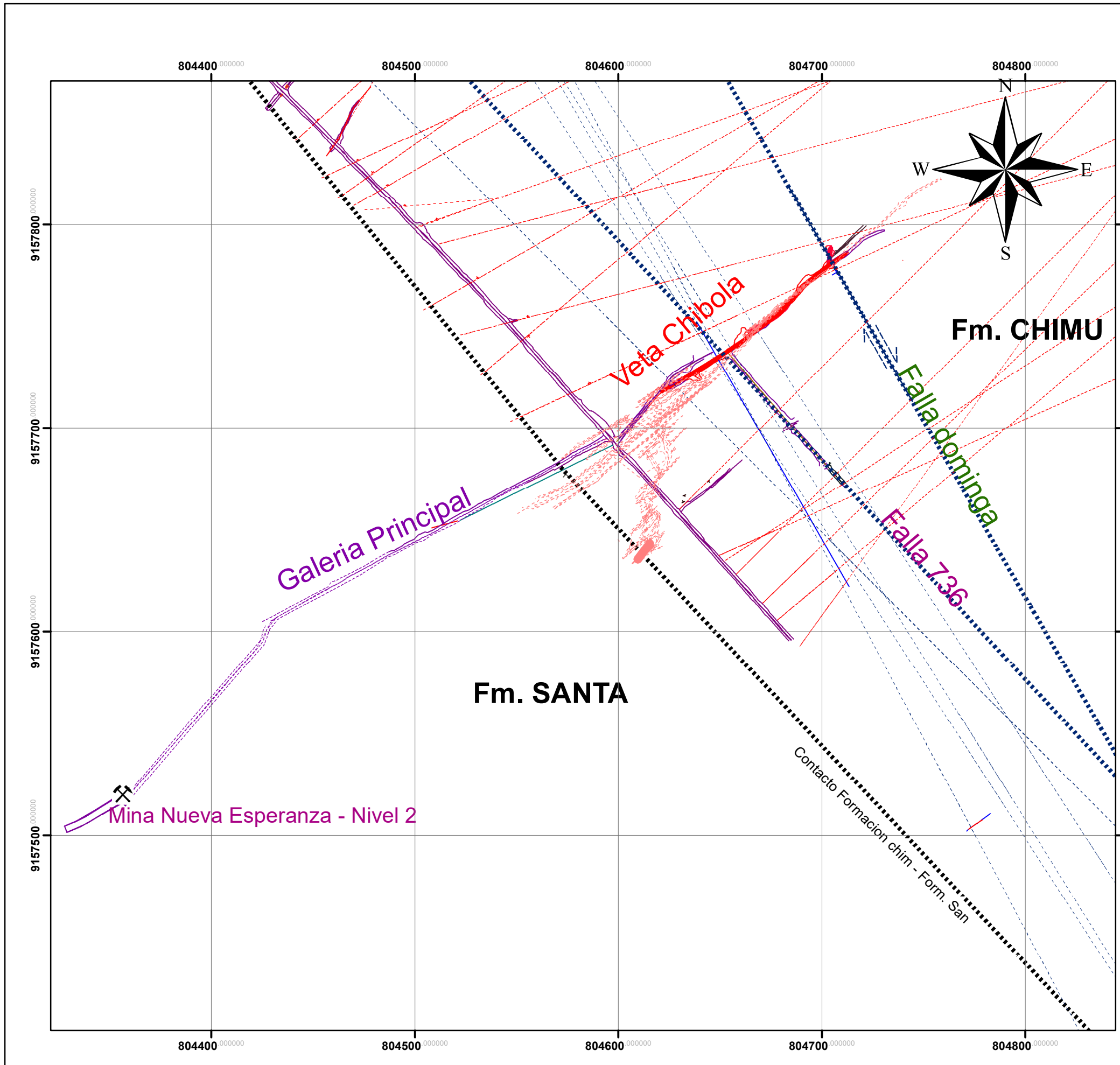
COORDENADAS	
MINA NUEVA ESPERANZA - NIVEL 2	
N	9157520.256
E	804356.457
Z	3064.127



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA
 ZONIFICACION Y RECONOCIMIENTO MINERALOGICO EN LA
 VETA CHIBOLA, MINA NUEVA ESPERANZA-NIVEL2,
 EMPRESA HNS

PLANO:	PLANO GEOLOGICO-ESTRUCTURAL				
REALIZADO POR:	Bach. LUCANO CHUAN DEYSI LIZBETH				
ASESOR:	Dr. Ing. QUISPE MAMANI CRISPIN ZENON				
DPTO:	CAJAMARCA	PROV:	CAJABAMBA	DIST:	CACHACHI
ESCALA:	1/8000	FECHA:	17/10/2022		

P-4

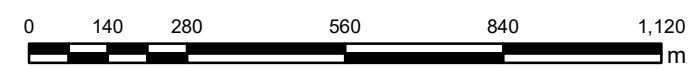


LEYENDA

- Bocamina - Nivel 2
- Sub-niveles
- Veta Chibola
- Falla Dominga
- Fallas Secundarias
- vetas secundarias
- Galeria Principal
- Contacto Interior Ki Chi - Ki. Sa

SISTEMA DE COORDENADAS PROYECTADAS UTM
 DATUM HORIZONTAL: WG84
 ZONA U HUSO :17 S

COORDENADAS	
MINA NUEVA ESPERANZA - NIVEL 2	
N	9157520.256
E	804356.457
Z	3064.127



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA ZONIFICACIÓN Y RECONOCIMIENTO MINERALÓGICO EN LA VETA CHIBOLA, MINA NUEVA ESPERANZA-NIVEL2, EMPRESA HNS			P-5
PLANO: PLANO CONTROL ESTRUCTURAL- VETA CHIBOLA			
REALIZADO POR: Bach. LUCANO CHUÁN DEYSI LIBETH			
ASESOR: Dr. Ing. QUISPE MAMANI CRISPÍN ZENÓN			
DPTO: CAJAMARCA	PROV: CAJABAMBA	DIST: CACHACHI	
ESCALA: 1/2000		FECHA: 17/10/2022	

ZONIFICACIÓN DE LA VETA CHIBOLA

SE VISTA EN PERFIL

NW

3120 msnm

zona de oxidos

GOETHITA
JAROSITA

HEMATITA

3024 msnm

zona mixta

ACANTITA
COVELINA
BORNITA

2995 msnm

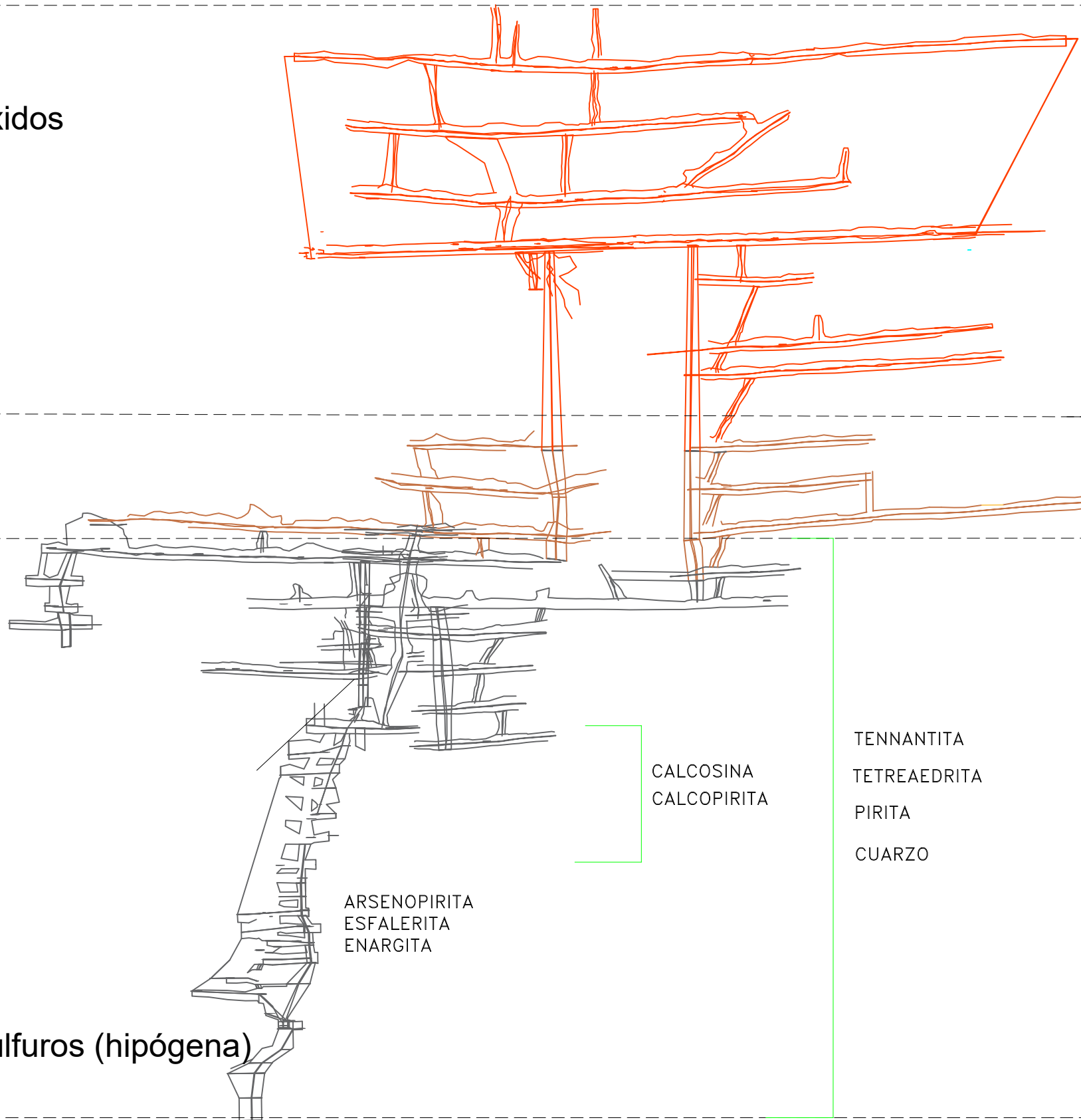
CALCOSINA
CALCOPIRITA


TENNANTITA
TETREAEDRITA
PIRITA
CUARZO

ARSENOPIRITA
ESFALERITA
ENARGITA

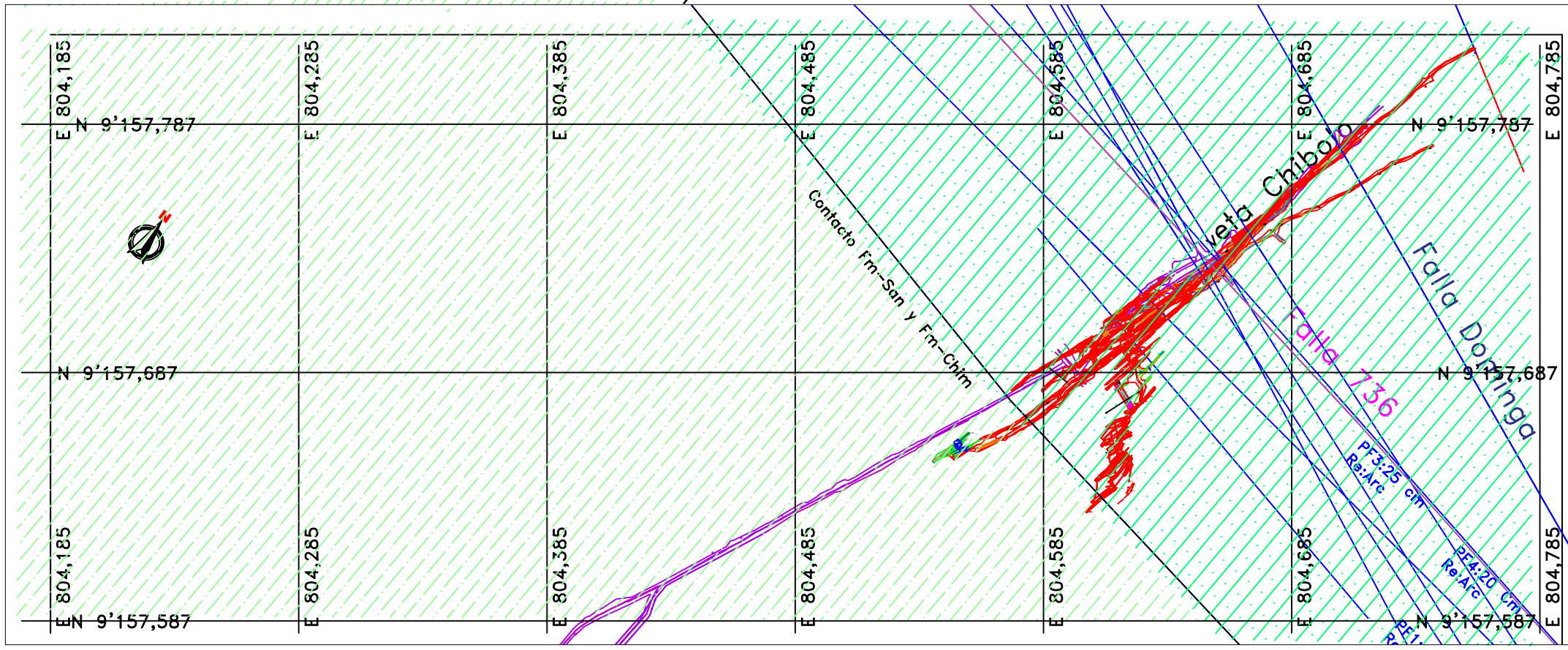
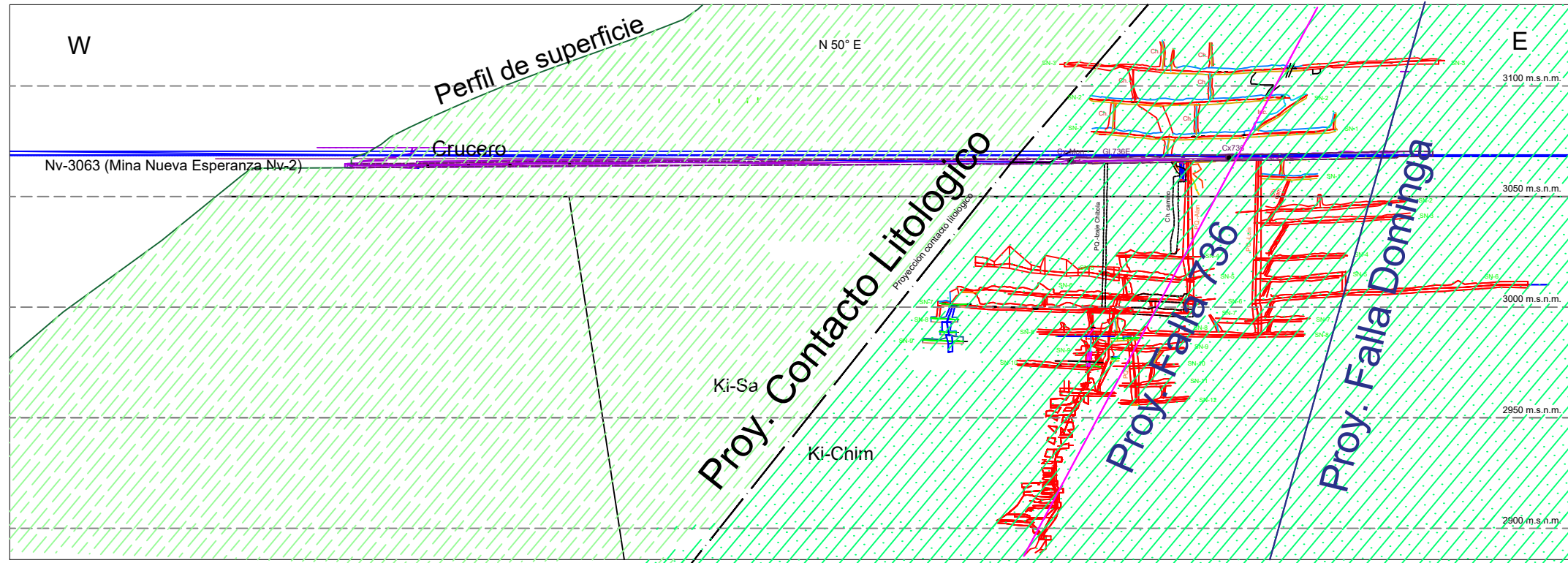
zona de sulfuros (hipógena)

2875 msnm



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA ZONIFICACIÓN Y RECONOCIMIENTO MINERALÓGICO EN LA VETA CHIBOLA, MINA NUEVA ESPERANZA-NIVEL2, EMPRESA HNS		
	PLANO:	ZONIFICACIÓN MINEALÓGICA
	REALIZADO POR:	Bach. LUCANO CHUÁN DEYSI LIBETH
ASESOR:	Dr. Ing. QUISPE MAMANI CRISPIN ZENÓN	
DPTO:	PROV:	DIST:
CAJAMARCA	CAJABAMBA	CACHACHI
ESCALA:	1/2000	FECHA:
		17/10/2022

P-6



LEYENDA

- Contacto litologico
- Falla Dominga
- Falla 736
- Veta Chibola
- Galeria Principal
- Fallas Secundarias

GEOLOGÍA

- Ki-Fm Santa
- Ki-Fm Chimu

SISTEMA DE COORDENADAS PROYECTADAS UTM
 DATUM HORIZONTAL: WG84
 ZONA U HUSO :17 S

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA ZONIFICACION Y RECONOCIMIENTO MINERALÓGICO EN LA VETA CHIBOLA, MINA NUEVA ESPERANZA-NIVEL2, EMPRESA HNS		
PLANO:	PERFIL LONGITUDINAL	
REALIZADO POR:	Bach. LUCANO CHUÁN DEYSI I LIZBETH	
ASESOR:	Dr. Ing. QUISPE MAMANI CRISPÍN ZENÓN	
DPTO:	PROV:	DIST:
CAJAMARCA	CAJABAMBA	CACHACHI
ESCALA:	1/1000	FECHA:
		17/10/2022

P-7