



# UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

## FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y METALÚRGICA

### ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



### CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE LA BRECHA

### HIDROTHERMAL CUERPO MESA - MINA MILAGROS - ANCASH

### TESIS

### PRESENTADA POR:

**Bach. WILLY ARNOLD MIRANDA SORIANO**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO GEÓLOGO**

**PUNO – PERÚ**

**2023**



NOMBRE DEL TRABAJO

**CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE LA B  
RECHA HIDROTERMAL CUERPO MESA -  
MINA MILAGROS - ANCASH**

AUTOR

**WILLY ARNOLD MIRANDA SORIANO**

RECUENTO DE PALABRAS

**23060 Words**

RECUENTO DE CARACTERES

**126440 Characters**

RECUENTO DE PÁGINAS

**121 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**11.0MB**

FECHA DE ENTREGA

**May 11, 2023 7:50 AM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**May 11, 2023 7:51 AM GMT-5**

### ● 6% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos

- 6% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 2% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

### ● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 15 palabras)



Firmado digitalmente por GONZALES  
ALLAGA Roger FAU 20145496170  
soft  
Motivo: Soy el autor del documento  
Fecha: 11.05.2023 11:53:50 -05:00



Firmado digitalmente por  
BENAVENTE FERNANDEZ Sofia  
Lourdes FAU 20145496170 soft  
Motivo: Soy el autor del documento  
Fecha: 16.05.2023 14:52:48 -05:00



## **DEDICATORIA**

A mi amada esposa que camina a mi lado y brinda cariño y fuerza para lograr mis metas, a mi hija hermosa que con su sonrisa mitiga mi cansancio y me da motivos para ser una mejor persona. A mis padres Ricardo Miranda y Hildegar Soriano que me brindaron, guía, apoyo y cariño durante toda mi vida profesional y personal; y a mis hermanos que amo desde el fondo de mi corazón.

**Willy Arnold Miranda Soriano**



## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por haberme dado la fuerza y fortuna de tener una familia hermosa que me apoya y guía, la sabiduría para elegir esta carrera tan gratificante, a mis amigos que estuvieron en los momentos indicados y con los consejos exactos para realizar esta tesis.

A toda mi familia que me apoyo y empujo a ser mejor cada día, a mi esposa Zulma Riquelme que estudia, trabaja y vela por mi familia dándome paz y fuerza para seguir adelante, a mi hija Marjorie a la que debo la mayor de mis felicidades con un abrazo y una palabra de amor; a mi padre que con su ejemplo me motiva día a día a ser grande con sus palabras “todo se puede” que me motivaron en mis días más difíciles, a mi madre que siempre tiene las palabras exactas en el momento necesario y sé que estará conmigo enseñándome a ser como un ave fénix, los amo.

Al Ing. Iván Bermejo que desde el momento que ingrese a trabajar con él me dio su amistad y los mejores consejos, enseñanzas de esta hermosa carrera; siempre con un carisma que motiva a ser mejor a sus compañeros y una buena parrilla cuando se podía, pasamos buenos y malos momentos, pero siempre nos respaldamos y salimos airoso de cada una de nuestras batallas, muchas gracias, Ingeniero Iván. Al Ing. Erick Calizaya que no solo es un compañero es un amigo en el trabajo y en mi vida, se encuentran a pocas personas en las que puedes confiar y abrirse como un gran amigo y un gran colega, sus conocimientos ayudaron a complementar esta tesis y reconozco su valor en mi vida profesional y personal, gracias, amigo Erick.

A Minera Shuntur SAC con su representante Doctor Rubén Nieto, que me motivó y ayudó con los permisos necesarios para realizar esta tesis; y también con sus palabras de aliento que expresaban que quería que yo sea un ingeniero grande y crezca en mi vida profesional.

A mi alma mater, Universidad Nacional Del Altiplano que fue la cuna de mi saber y fue siempre un orgullo en mi vida profesional, a mis docentes que me formaron y apoyaron.

A mi asesor M.Sc. Roger Gonzales Aliaga que me apoyó y guió en la realización de esta tesis, gracias por su paciencia y sabiduría y sobre todo por las palabras de aliento que me motivaron a culminar esta tesis.

**Willy Arnold Miranda Soriano**



# ÍNDICE GENERAL

Pág.

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTOS**

**ÍNDICE GENERAL**

**ÍNDICE DE FIGURAS**

**ÍNDICE DE TABLAS**

**ÍNDICE DE ACRÓNIMOS**

**RESUMEN..... 14**

**ABSTRACT..... 15**

## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

**1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... 17**

1.1.1 Problema General ..... 17

1.1.2 Problemas Específicos ..... 17

**1.2 ANTECEDENTES ..... 18**

**1.3 JUSTIFICACIÓN..... 21**

1.3.1 Justificación teórica ..... 21

1.3.2 Justificación Práctica ..... 22

**1.4 OBJETIVOS ..... 22**

1.4.1 Objetivo general ..... 22

1.4.2 Objetivos específicos ..... 22

**1.5 HIPÓTESIS..... 22**

1.5.1 Hipótesis general ..... 22

1.5.2 Hipótesis específicas..... 23



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

<b>2.1</b>	<b>BRECHAS.....</b>	<b>24</b>
2.1.1	Elementos de una brecha .....	24
2.1.1	Tipos de brechas .....	25
2.1.2	Origen de las brechas.....	30
2.1.3	Parámetros que controlan generación de brechas hidrotermales:.....	31
2.1.4	Relación de brechas y mineralización .....	31
<b>2.2</b>	<b>GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....</b>	<b>32</b>
2.1.5	Tipos de régimen de esfuerzos .....	33
2.1.6	Clases de falla .....	33
2.1.7	Análisis Estructural.....	34
2.1.8	Análisis Descriptivo .....	35
2.1.9	Análisis Dinámico .....	35
<b>2.3</b>	<b>GEOLOGÍA ECONÓMICA .....</b>	<b>36</b>
2.1.10	Unidades estratigráficas.....	36
2.1.11	Evolución tectónica .....	38
2.1.12	Contexto metalogénico .....	40

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

<b>3.1</b>	<b>CARTOGRAFIADO GEOLÓGICO DEL CUERPO MESA .....</b>	<b>42</b>
<b>3.2</b>	<b>PROCESO DE EXPLORACIÓN EN INTERIOR MINA. ....</b>	<b>42</b>
<b>3.3</b>	<b>MUESTREO GEOQUÍMICO .....</b>	<b>46</b>
3.3.1	Muestreo geoquímico de BLASHOLE.....	46
3.3.2	Muestreo para estudios microscópicos .....	50



<b>3.4</b>	<b>TRABAJO DE POST CAMPO .....</b>	<b>50</b>
3.4.1	Determinación geológica .....	51

## **CAPÍTULO IV**

### **CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO**

<b>4.1</b>	<b>UBICACIÓN.....</b>	<b>52</b>
<b>4.2</b>	<b>ACCESIBILIDAD.....</b>	<b>52</b>
<b>4.3</b>	<b>GEOLOGÍA LOCAL.....</b>	<b>54</b>
4.3.1	Diorita hornbléndica .....	54
4.3.2	Andesita .....	55
4.3.3	Brecha hidrotermal .....	55
4.3.4	Depósitos Cuaternarios (Q) .....	55

## **CAPÍTULO V**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

<b>5.1</b>	<b>LITOLOGÍA, GEOLOGIA ESTRUCTURAL Y GEOQUÍMICA DEL CUERPO MESA.....</b>	<b>58</b>
5.1.1	Cartografiado geológico del nivel 3,440 .....	58
5.1.2	Cartografiado geológico del nivel 3,480 .....	62
5.1.3	Cartografiado geológico del nivel 3,540 .....	65
5.1.4	Cartografiado Estructural Nivel 3,440.....	68
5.1.5	Cartografiado Estructural Nivel 3,480.....	71
5.1.6	Cartografiado Estructural Nivel 3,540.....	73
5.1.7	Muestreo geoquímico. ....	75
5.1.8	Análisis geoquímico de muestras en el nivel 3,440.....	75
5.1.9	Análisis geoquímico de muestras en el nivel 3,480.....	78
5.1.10	Análisis geoquímico de muestras en el nivel 3,540.....	81



5.1.11	Análisis de Interpolación Inverso a la Distancia (IDW) del nivel 3,440.....	84
5.1.12	Análisis de Interpolación Inverso a la Distancia (IDW) del nivel 3,480.....	86
5.1.13	Análisis de Interpolación Inverso a la Distancia (IDW) del nivel 3,540.....	89
<b>5.2</b>	<b>CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y METALOGÉNESIS DEL CUERPO</b>	
	<b>MESA.....</b>	<b>92</b>
5.2.1	Análisis poblacional de datos estructurales .....	92
5.2.2	Análisis estructural de la compresión y estructuras permeables a la mineralización de la brecha hidrotermal .....	92
5.2.3	Análisis estructural del área de estudio 3D .....	93
5.2.4	Análisis estructural del área de estudio con influencia de la falla inversa. ....	94
5.2.5	Análisis estructural del área de estudio con influencia de fallas compresivas e inversas .....	95
5.2.6	Vista del área de estudio 3D .....	96
5.2.7	Análisis como resultado de la influencia en la mineralización .....	97
5.2.8	Metalogénesis geológica y génesis de la mineralización (Origen y génesis de la mineralización en el área de estudio) .....	98
5.2.9	Genesis y emplazamiento de la brecha hidrotermal a partir del análisis geológico estructural .....	98
5.2.10	Estudios mineragráficos y de inclusiones fluidas.....	99
<b>5.3</b>	<b>MODELAMIENTO GEOLÓGICO Y DOMINIOS ESTRUCTURALES.....</b>	<b>115</b>
5.3.1	Proyección de labores subterráneas 3D .....	115
5.3.2	Georreferenciación de mapas 2D para proyección en 3D .....	116
5.3.3	Creación de polígonos 3D a partir de datos 2D.....	117
5.3.4	Generación de envolvente litológica de la brecha hidrotermal. ....	118
5.3.5	Interpolación de fallas en 3D.....	119





5.3.6 Interpretación de los dominios geológicos estructurales del sistema mineralizado	120
5.3.7 Incorporación y proyección de base de datos estructural en 3D .....	120
5.3.8 Proyección de blastholes, con interceptos geoquímicos.....	121
5.3.9 Análisis geoquímico e interpolación geoquímica 3D.....	122
5.3.10 Mineralización y Análisis Geoquímico 3d .....	123
5.3.11 Análisis estructural del emplazamiento y origen de la mineralización .....	128
<b>VI. CONCLUSIONES .....</b>	<b>130</b>
<b>VII. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>131</b>
<b>VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>132</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>136</b>

**Área:** Ingeniería y Tecnología

**Tema:** Geología, Minas y Metalurgia

**Fecha de sustentación:** 22/05/2023



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Relaciones entre clastos y matriz de una brecha. ....	25
<b>Figura 2.</b> Contacto de una brecha con la roca caja, según Lanizca (1988).....	28
<b>Figura 3.</b> Clasificación de brechas. Según Cooke & Andrew (2000).....	29
<b>Figura 4.</b> Ambientes de formación de Brechas. Según Corbett & Leach (1998) .....	30
<b>Figura 5.</b> Estadios de formación de brechas. Según Atkinson (2007).....	31
<b>Figura 6.</b> Regímenes tectónicos puros en función de la orientación de los ejes de esfuerzos. .....	33
<b>Figura 7.</b> Esquema de los diferentes tipos de fallas de acuerdo con el desplazamiento real. Tomado de Mercier & Vergely (2001).....	34
<b>Figura 8.</b> Tipos de fallas. Tomado de Anderson (1951) .....	36
<b>Figura 9.</b> Plano Geológico regional 1:50,000. Fuente INGEMMET.....	38
<b>Figura 10.</b> Plano tectónico de zona de estudio. Fuente INGEMMET. ....	40
<b>Figura 11.</b> Plano Metalogénico de zona de estudio. Fuente INGEMMET.....	41
<b>Figura 12.</b> Cores DDH en cámara diamantina. ....	43
<b>Figura 13.</b> Se tiene la topografía del Nv 540. ....	44
<b>Figura 14.</b> Mapeo geológico-estructural del Nv540. ....	44
<b>Figura 15.</b> Secciones del Nivel 440 para muestreo blashole. ....	45
<b>Figura 16.</b> Se representa la sección de taladros exploratorios programada. ....	45
<b>Figura 17.</b> Secciones de taladros exploratorios en planta a partir de las labores exploratorias de este nivel.....	46
<b>Figura 18.</b> Sección de taladros exploratorios en perfil. ....	47
<b>Figura 19.</b> Máquina SPIDER inicio de toma de muestra.....	47
<b>Figura 20.</b> Muestrero sacando bandeja con muestra.....	48
<b>Figura 21.</b> Muestrero cuarteando y recolectando muestra.....	48



<b>Figura 22.</b> Codificando de muestra.....	49
<b>Figura 23.</b> Toma de muestras de mano.....	50
<b>Figura 24.</b> Plano de Ubicación y Accesibilidad.....	53
<b>Figura 25.</b> Columna Estratigráfica.....	56
<b>Figura 26.</b> Mapa geológico local de la zona de estudio.....	57
<b>Figura 27.</b> Muestra de mano A Nivel 3440 .....	59
<b>Figura 28.</b> Brecha hidrotermal con matriz de cuarzo granates. ....	60
<b>Figura 29.</b> Mapa geológico nivel 3,440 .....	61
<b>Figura 30.</b> Muestra de mano Nivel 3,480. ....	63
<b>Figura 31.</b> Clasto de diorita hornbléndica alterado con albitización. ....	63
<b>Figura 32.</b> Mapa geológico nivel 3,480. ....	64
<b>Figura 33.</b> Brecha Hidrotermal del Nivel 3,540. ....	66
<b>Figura 34.</b> Brecha hidrotermal de alta ley.....	66
<b>Figura 35.</b> Mapa geológico nivel 3,540. ....	67
<b>Figura 36.</b> Venillas de cuarzo en el Nivel 3,440.....	69
<b>Figura 37.</b> Falla Zorro en el nivel 3,440. ....	69
<b>Figura 38.</b> Mapa estructural - Nivel 3,440.....	70
<b>Figura 39.</b> Toma de datos en falla Zorro del Nivel 3,480.....	71
<b>Figura 40.</b> Mapa estructural - Nivel 3,480.....	72
<b>Figura 41.</b> Falla Zorro en el Nivel 3,540. ....	73
<b>Figura 42.</b> Mapa estructural - Nivel 3,540.....	74
<b>Figura 43.</b> Muestreo geoquímico, sección 39 con taladro de exploración. ....	76
<b>Figura 44.</b> Mapa de muestras geoquímicas nivel 3,440.....	77
<b>Figura 45.</b> Revisión de secciones de exploración Nivel 3,480. ....	79
<b>Figura 46.</b> Mapa de muestras geoquímicas nivel 3,480.....	80



<b>Figura 47.</b> Levantamiento de sondajes blashole de muestras geoquímicas. Nivel 3540. ....	82
<b>Figura 48.</b> Mapa de muestras geoquímicas nivel 3,540.....	83
<b>Figura 49.</b> Análisis de interpolación IDW de población para el nivel 3,440.....	84
<b>Figura 50.</b> Mapa de Cu% IDW 3D - Nivel 3,440. ....	85
<b>Figura 51.</b> Análisis de interpolación IDW de población para el nivel 3,480.....	86
<b>Figura 52.</b> Mapa de Cu% IDW 3D - Nivel 3,480. ....	88
<b>Figura 53.</b> Análisis de interpolación IDW de población para el nivel 3,540.....	89
<b>Figura 54.</b> Mapa de Cu% IDW 3D - Nivel 3,540. ....	91
<b>Figura 55.</b> Análisis poblacional de datos estructurales. ....	92
<b>Figura 56.</b> Análisis estructural de la compresión y estructuras permeables. ....	93
<b>Figura 57.</b> Análisis estructural del área de estudio 3D. ....	94
<b>Figura 58.</b> Análisis estructural del área de estudio con influencia de la falla inversa. ....	95
<b>Figura 59.</b> Análisis estructural del área de estudio con influencia de fallas compresivas e inversas. ....	96
<b>Figura 60.</b> Stereonet con vista del área de estudio 3D.....	97
<b>Figura 61.</b> Análisis como resultado de la influencia en la mineralización. ....	97
<b>Figura 62.</b> Origen y génesis de la mineralización en el área de estudio. ....	98
<b>Figura 63.</b> Genesis y emplazamiento de la brecha hidrotermal a partir del análisis geológico estructural. ....	99
<b>Figura 64.</b> Muestra MZ-01-22. ....	100
<b>Figura 65.</b> Fotomicroscopía MZ-01-22. ....	102
<b>Figura 66.</b> Muestra MZ-01-22. ....	103
<b>Figura 67.</b> Fotomicrografías muestra MZ-01-22. ....	105
<b>Figura 68.</b> Fotomicrografías de inclusiones fluidas MZ-01-22. ....	106
<b>Figura 69.</b> Variogramas MZ-01-22.....	107



<b>Figura 70.</b> Muestra MZ-02-22. ....	108
<b>Figura 71.</b> Fotomicrografías muestra MZ-02-22. ....	110
<b>Figura 72.</b> Muestra MZ-02-22. ....	111
<b>Figura 73.</b> Fotomicrografías muestra MZ-02-22. ....	112
<b>Figura 74.</b> Fotomicrografías de inclusiones fluidas, muestra MZ-02-22. ....	113
<b>Figura 75.</b> Variogramas MZ-02-22.....	114
<b>Figura 76.</b> Proyección de labores 3D.....	115
<b>Figura 77.</b> Georreferenciación de planos 2D .....	117
<b>Figura 78.</b> Creación de polígonos 3D a partir de datos 2D.....	118
<b>Figura 79.</b> Generación de envolventes.....	119
<b>Figura 80.</b> Interpolación de fallas en 3D.....	119
<b>Figura 81.</b> Interpretación de dominios geológicos estructurales. ....	120
<b>Figura 82.</b> Incorporación y proyección de base de datos estructural en 3D. ....	121
<b>Figura 83.</b> Proyección de blastholes, con interceptos geoquímicos. ....	122
<b>Figura 84.</b> Análisis geoquímico e interpolación geoquímica 3D.....	122
<b>Figura 85.</b> Rango de colores de Cu%, nivel 3,540. ....	123
<b>Figura 86.</b> Análisis geoquímico e interpolación geoquímica 3D.....	123
<b>Figura 87.</b> Rango de colores de Cu%, nivel 3,480. ....	124
<b>Figura 88.</b> Mineralización y análisis geoquímico del nivel 3,480.....	124
<b>Figura 89.</b> Rango de colores de Cu%, nivel 3,440. ....	125
<b>Figura 90.</b> Mineralización y análisis geoquímico del nivel 3,440.....	126
<b>Figura 91.</b> Interpretación geoquímica y mineralización económica. ....	127
<b>Figura 92.</b> Influencia estructural en la mineralización de la brecha hidrotermal. ....	128
<b>Figura 93.</b> Análisis estructural del emplazamiento y origen de la mineralización. ....	129



## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
<b>Tabla 1.</b> Clasificación de brechas, según Brokes (2001).....	29
<b>Tabla 2.</b> Accesibilidad .....	52
<b>Tabla 3.</b> Descripción Microscópica MZ-01-22.....	100
<b>Tabla 4.</b> Paragénesis MZ-01-22.....	101
<b>Tabla 5.</b> Descripción microscópica Mz-01-22.....	103
<b>Tabla 6.</b> Análisis Microtermométrico de Temperatura de Homogeneización y Salinidad..	107
<b>Tabla 7.</b> Descripción microscópica MZ-02-22 .....	108
<b>Tabla 8.</b> Paragénesis de muestra MZ-02-22. ....	109
<b>Tabla 9.</b> Análisis estructural del emplazamiento y origen de la mineralización. ....	111
<b>Tabla 10.</b> Análisis Microtermométrico de Temperatura de Homogeneización y Salinidad. .....	114



## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

<b>NOMBRE</b>	<b>ABREV.</b>
Actinolita	act
Albita	alb
Andesita	ANF
Andesita Porfiritica	ANP
Arsenopirita	apy
Brecha Hidrotermal	BxH
Calcita	cac
Cloritas	CLOS
Cobre	Cu
Cuarzo	cz
Diópsido	di
Diorita	Dio
Esfalerita	ef
Goethita	Gt
Granates	GRTs
Hematita	hem
Hornblenda	hor
Jarosita	jar
Marcasita	mrc
Molibdenita	mo
Óxidos	OXs
Óxidos de cobre	CuOx
Óxidos de hierro	FeOx
Pirita	py
Piroxeno	PXs
Pirrotita	po
Plata	Ag
Sulfatos	SFTs
Sulfuros	SULS
Turmalina	tur



## RESUMEN

La Mina Milagros ubicada en la región norte del Perú, en el distrito de Pira, provincia de Huaraz y departamento de Ancash, engloba la brecha hidrotermal del cuerpo Mesa, que está asociada a mineralización de cobre. El objetivo de esta tesis es la caracterización geológica y metalogénesis de la brecha hidrotermal del cuerpo Mesa, para esto se utilizó la técnica de investigación cuantitativa y tipo de investigación descriptiva, en el cual se hizo el cartografiado geológico a escala 1/100 de los niveles 3540, 3480 y 3440; estos niveles presentan tres diferentes litotípos, categorizados como: andesita porfirítica, brecha hidrotermal y diorita hornbléndica, en donde la andesita encajona la mineralización. También se realizó el análisis geoquímico de 37500 muestras de blashole cuyo resultado demostró, que la mineralización de Cu (calcopirita) está relacionada a la ocurrencia de Ag (plata), la cual presenta acumulaciones económicas de alta, media y baja ley asociadas a fallas normales e inversas, aquí la falla Zorro actúa como feeder principal. El modelamiento geológico tridimensional del cuerpo Mesa nos muestra sectores de alta ley (mayor a 1%), media (0.8%-1.0%) y baja ley (0.5% - 0.8%) de Cu% que ayudan al blending para llegar a un cut-off de 1.00% Cu, así también nos indica una orientación del cuerpo Mesa de 320° a 340°NE y un buzamiento de 60°S. Los rangos de temperatura de las inclusiones fluidas estuvieron entre los 280 y 320°C lo que indica un yacimiento mesotermal; todos estos datos caracterizan a la brecha como mesotermal con control estructural de las fallas Este Oeste y las fallas inversas Norte Sur.

**Palabras claves:** Brecha hidrotermal, Caracterización geológica y mineralización.





## ABSTRACT

The Milagros Mine located in the northern region of Peru, in the district of Pira, province of Huaraz and department of Ancash, encompasses the hydrothermal breccia of the Mesa body, which is associated with copper mineralization. The objective of this thesis is the geological characterization and metallogenesis of the hydrothermal breccia of the Mesa body, for this the quantitative investigation technique and descriptive type of investigation were used, in which the geological mapping was made at a scale of 1/100 of the levels. 3540, 3480 and 3440; These levels present three different lithotypes, categorized as: porphyritic andesite, hydrothermal breccia and hornblende diorite, where andesite encloses the mineralization. The geochemical analysis of 37,500 blasthole samples was also carried out, the result of which showed that the Cu (chalcopyrite) mineralization is related to the occurrence of Ag (silver), which presents economic accumulations of high, medium and low grade associated with normal faults. and inversely, here the Zorro fault acts as the main feeder. The three-dimensional geological modeling of the Mesa body shows sectors of high grade (greater than 1.0%), medium (0.8% -1.0%) and low grade (0.5% - 0.8%) of Cu% that help blending to reach a cut-off of 1.00% Cu, thus also indicating an orientation of the Mesa body of 320° to 340°NE and a dip of 60°S. The temperature ranges of the fluid inclusions were between 280 and 320°C, which indicates a mesothermal deposit; All these data characterize the breccia as mesothermal with structural control of the East West faults and the North South thrust faults.

**Keywords:** Hydrothermal breccia, Geological characterization and mineralization.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

La Mina Milagros en el centro poblado de Pira en Ancash, que circunscribe la brecha hidrotermal Cuerpo Mesa, requiere una caracterización geológica de la estructura mineralizada, esto, con el objeto de identificar las características geológicas y su asociación con la ocurrencia de Cobre (Cu); para lo cual se utilizó la geoquímica y se estableció un modelo geológico del cuerpo.

Son varios los estudios existentes en el área, los cuales en su mayoría están en estado confidencialidad, estos informes contienen información económica e información geológica regional, por lo cual se planteó este trabajo y complementar aspectos importantes para la comunidad universitaria. La zona de estudio se encuentra dentro de un contexto geológico dominado por rocas volcánicas del grupo Calipuy (Oligo-Miocénica) y a su vez, con algunos afloramientos de intrusivos asociados al Plutón de Pira. La evolución de eventos magmáticos está bien expuesta en las labores subterráneas de la mina Milagros, en la cual se aprecia la presencia de una brecha hidrotermal con mineralización de Cu-Ag, esta aflora también en superficie y contiene mineralización de óxidos de Cu, la cual tiene ocurre con aglomerados volcánicos del Calipuy.

Esta investigación consta de cinco capítulos, de los cuales el primero muestra el planteamiento del problema, hipótesis, objetivos y los antecedentes. El segundo capítulo contiene la revisión de la bibliografía y el contexto geológico regional de la zona de estudio. El tercer capítulo presenta los materiales y métodos seguidos, en donde primero se hizo la recopilación de la bibliografía, la fase de campo, laboratorio y finalmente gabinete en donde se escribió la tesis. En el cuarto capítulo muestra la caracterización general de la zona de estudio, en donde podemos encontrar la ubicación geopolítica y geología local. El quinto capítulo contiene los resultados obtenidos en esta investigación, como: cartografiado



geológico detallado del cuerpo Mesa, la geoquímica, los estudios petrográficos, mineralógicos, inclusiones fluidas, relaciones de las zonas económicas de alta ley con la petrología, alteración, metalogénesis y modelo geológico del cuerpo Mesa.

## **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La exploración y explotación de Brechas Hidrotermales no son muy conocidas al tener características únicas entre los yacimientos. En la zona de estudio se tiene proyectos de exploración en brechas hidrotermales con contenido de Cobre y Plata los cuales necesitan tener una caracterización geológica que ayude a ajustar los targets de exploración, lo que a su vez ayudara a conseguir nuevos recursos minerales que aumenten las reservas minerales de Minera Shuntur SAC.

Los trabajos de exploración geológica de yacimientos cupríferos y de plata en el país ha incrementado en los últimos años, esto por el valor que tiene en el mercado mundial el cual también ha aumentado considerablemente; entonces es necesario caracterizar y generar modelos geológicos que nos ayuden a realizar estos trabajos de exploración con más eficiencia con el fin de minimizar gastos en la exploración y explotación del yacimiento.

De acuerdo con ello nos planteamos la siguiente interrogante:

¿Qué características geológicas presenta la brecha cuerpo Mesa de mina Milagros - Ancash?

### **1.1.1 Problema General**

¿Qué características geológicas presenta la brecha del cuerpo Mesa de la mina Milagros - Pira - Huaraz?

### **1.1.2 Problemas Específicos**

¿Cuál es la relación del mapeo geológico, geológico estructural y geoquímico del cuerpo Mesa de mina Milagros - Pira - Huaraz?

¿Qué características geológicas y metalogenéticas tiene el cuerpo Mesa de la mina Milagros - Pira - Huaraz?



¿Cómo es el modelo geológico y dominio estructural del cuerpo Mesa de la mina Milagros - Pira - Huaraz?

## 1.2 ANTECEDENTES

La mina Adriana fue intensamente trabajada desde la década de los 70. En el año 1987 La Sociedad Minera Adriana de Huaraz desarrolló y tuvo producción de concentrados de plata, zinc y cobre de esta mina. En 1991, BISA realiza un reconocimiento geológico en el área de operaciones a cielo abierto de la mina Adriana (Zona de Milagros). En 1994 el Ing. Isaac Chacón realiza un análisis geo-económico preliminar de la mina Adriana. En octubre de 1997 L y C Mining Service lleva a cabo una evaluación geo-económica del prospecto Adriana concluyendo que el potencial del prospecto es de 85MT @ 1.3% Cu y 45.5 g/t Ag. Dicho trabajo fue complementado en 1998 por otro informe que indica que la mineralización de Adriana comprende dos tipos de depósitos: Las brechas hidrotermales de Paolo-Milagros y el Skarn de Sagitario.

Numerosas compañías han visitado el prospecto con objetivo de evaluar el potencial de la misma para objetivos de exploración grandes, sin resultados positivos, dentro de ellas Cominco en 1998 y Teck en el 2000 visitaron la propiedad y declinaron su interés.

Entre diciembre del 2001 a febrero del 2002, la compañía Adriana ejecutó un programa de perforación con fines de exploración cuyo objetivo fue consolidar la evaluación geoeconómica del distrito y delinear los recursos de la mina Adriana. Se efectuaron un total de 8 sondajes con un total de 1847.15 m. en las áreas de Sagitario, Shuntur Chico, Milagros y Zorro. En la actualidad la mina Adriana opera a pequeña escala con mineral producido de Sagitario y de Milagros que es tratado en una planta de 300 toneladas por día.

Anderson & Grujic (2014) discuten la relación entre la formación de brechas hidrotermales y la evolución tectónica de la región de Los Himalayas. Según los autores, las brechas hidrotermales se forman como resultado de la circulación de fluidos hidrotermales



a través de fallas y fracturas en la roca. Estos fluidos pueden disolver y depositar minerales, formando una matriz cementante que une los fragmentos de roca.

Arehart & Channer (2013) discuten la formación de brechas hidrotermales en la región de Alta Floresta, Brasil. Según los autores, las brechas hidrotermales se forman como resultado de la actividad hidrotermal que ocurre en la zona de mineralización. Estas brechas pueden contener minerales de oro, plata y otros metales, lo que las convierte en un objetivo importante para la exploración y la explotación de recursos minerales.

Bissig *et al.* (2014) discuten la formación de brechas hidrotermales en la región de Yanacocha, Perú. Según los autores, las brechas hidrotermales se forman como resultado de la circulación de fluidos hidrotermales a través de fracturas y fallas en la roca. Estos fluidos pueden disolver y depositar minerales, formando una matriz cementante que une los fragmentos de roca.

Bowersox *et al.* (2007) discuten la relación entre las brechas hidrotermales y los depósitos de oro en la región de Cripple Creek, Colorado. Según los autores, las brechas hidrotermales se forman como resultado de la actividad hidrotermal que ocurre en la zona de mineralización. Estas brechas pueden contener minerales de oro y otros metales, lo que las convierte en un objetivo importante para la exploración y la explotación de recursos minerales.

Cooke *et al.* (2005) discuten la formación de brechas hidrotermales en la región de La Candelaria, Chile. Según los autores, las brechas hidrotermales se forman como resultado de la circulación de fluidos hidrotermales a través de fracturas y fallas en la roca. Estos fluidos pueden disolver y depositar minerales, formando una matriz cementante que une los fragmentos de roca.

Corbett & Leach (1998) discuten la relación entre las brechas hidrotermales y los depósitos de oro en la región de Carlin, Nevada. Según los autores, las brechas hidrotermales



se forman como resultado de la actividad hidrotermal que ocurre en la zona de mineralización. Estas brechas pueden contener minerales de oro y otros metales, lo que las convierte en un objetivo importante para la exploración y la explotación de recursos minerales.

Einaudi *et al.* (2003) discuten la formación de brechas hidrotermales asociadas con la mineralización de cobre en la región de Butte, Montana. Según los autores, las brechas hidrotermales se forman como resultado de la circulación de fluidos hidrotermales a través de fracturas y fallas en la roca. Estos fluidos pueden disolver y depositar minerales, formando una matriz cementante que une los fragmentos de roca. En el caso de la región de Butte, los fluidos hidrotermales estuvieron enriquecidos en cobre, lo que resultó en la formación de depósitos de sulfuro de cobre.

Groves *et al.* (2003) discuten la formación de brechas hidrotermales en la región de Cadia, Australia. Según los autores, las brechas hidrotermales se forman como resultado de la actividad hidrotermal que ocurre en la zona de mineralización. Estas brechas pueden contener minerales de oro y otros metales, lo que las convierte en un objetivo importante para la exploración y la explotación de recursos minerales.

Heinrich & Mernagh (2005) discuten la formación de brechas hidrotermales en la región de Olympic Dam, Australia. Según los autores, las brechas hidrotermales se forman como resultado de la circulación de fluidos hidrotermales a través de fracturas y fallas en la roca. Estos fluidos pueden disolver y depositar minerales, formando una matriz cementante que une los fragmentos de roca. En el caso de Olympic Dam, los fluidos hidrotermales estuvieron enriquecidos en cobre, oro, plata y uranio.

Inan & Schumann (2012) discuten la formación de brechas hidrotermales en la región de Balya, Turquía. Según los autores, las brechas hidrotermales se forman como resultado de la actividad hidrotermal que ocurre en la zona de mineralización. Estas brechas pueden



contener minerales de plomo, zinc, cobre y otros metales, lo que las convierte en un objetivo importante para la exploración y la explotación de recursos minerales.

Sillitoe (2010) discute la formación de brechas hidrotermales en la región de Yanacocha, Perú. Según el autor, las brechas hidrotermales se forman como resultado de la circulación de fluidos hidrotermales a través de fracturas y fallas en la roca. Estos fluidos pueden disolver y depositar minerales, formando una matriz cementante que une los fragmentos de roca. En la región de Yanacocha, las brechas hidrotermales están asociadas con depósitos de oro de alta ley.

Sillitoe & Hedenquist (2003) discuten la relación entre las brechas hidrotermales y la formación de depósitos de oro en la región de Yanacocha, Perú. Según los autores, las brechas hidrotermales se forman como resultado de la actividad hidrotermal que ocurre en la zona de mineralización. Estas brechas pueden contener minerales de oro y otros metales, lo que las convierte en un objetivo importante para la exploración y la minería.

## **1.3 JUSTIFICACIÓN**

### **1.3.1 Justificación teórica**

La inversión en proyectos de exploración y producción en el país de yacimientos ricos en cobre, plata y zinc ha aumentado en estos años, al ser estos metales muy requeridos en los mercados nacionales e internacionales, los cuales son utilizados en las diferentes industrias, y por esto se requiere hacer estudios detallados de caracterización que ayuden a identificar nuevas zonas de exploración como es el caso del cuerpo Mesa con ocurrencia de brechas hidrotermales ricas en estos metales. Los resultados de la caracterización serán de uso público y estarán ajustados a los nuevos conocimientos relacionados a temas de exploración.



### **1.3.2 Justificación Práctica**

En la brecha hidrotermal del cuerpo Mesa de la Mina Milagros no se realizaron estudios geológicos de caracterización del yacimiento y su correlación con las alteraciones, litología, petrología y geoquímica, ayudara a realizar trabajos de exploración futura en sectores con geología similar y así expandir el tiempo de vida de Minera Shuntur en los trabajos de minado y exploración geológica.

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 Objetivo general**

Identificar las características geológicas y metalogénesis de la brecha hidrotermal del cuerpo Mesa de la mina Milagros asociada a la mineralización de cobre.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Relacionar los mapeos geológicos, geológico estructural y geoquímico del cuerpo Mesa de la mina Milagros - Pira - Huaraz.
- Realizar la caracterización geológica y metalogénesis de la brecha hidrotermal del cuerpo Mesa de la mina Milagros - Pira - Huaraz.
- Realizar el modelo geológico y los dominios estructurales de la brecha hidrotermal del cuerpo Mesa de la mina Milagros - Pira - Huaraz.

## **1.5 HIPÓTESIS**

### **1.5.1 Hipótesis general**

La caracterización geológica y metalogénesis de la brecha hidrotermal del cuerpo Mesa de la mina Milagros permite entender la mineralización económica, origen y respectivo control geológico de la ocurrencia de cobre.





### 1.5.2 Hipótesis específicas

- Relacionando el mapeo geológico, geológico estructural y geoquímico del cuerpo Mesa se puede conocer el modo de ocurrencia geológica de la brecha hidrotermal del cuerpo Mesa de la mina Milagros - Pira - Huaraz.
- La caracterización geológica y metalogenética permite definir el origen de la brecha hidrotermal del cuerpo Mesa de la mina Milagros - Pira – Huaraz.
- El modelo geológico y los dominios estructurales definen las características tridimensionales de: orientación, inclinación y distribución de zonas de explotación económica de la brecha hidrotermal del cuerpo Mesa de la mina Milagros - Pira - Huaraz.

## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1 BRECHAS

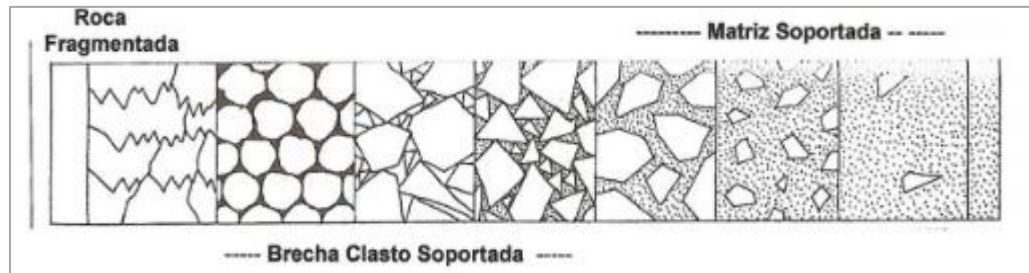
Comúnmente se conoce a una brecha, como una roca constituida por fragmentos líticos que se encuentran englobados por una matriz y cuyo cemento en el caso de las asociadas a mineralización pueden ser minerales hidrotermales incluyendo a los minerales económicos (Ej. marmatita, calcopirita, etc.). La brecha es una roca compuesta aproximadamente en un 50 % de fragmentos angulares de roca de tamaño superior a 2 milímetros unidos por un cemento natural (Tarbuck & Lutgens, 2005)

##### 2.1.1 Elementos de una brecha

Según, Soto (2006) los elementos para descripción de una brecha son, ver figura 1:

- **Clastos.** Son fragmentos de roca caja o del cuerpo intrusivo. Su morfología varia de clastos, angulosos, redondeados, sub redondeados- angulosos. Pueden ser monomícticos (litología uniforme) o polimícticos (litología variable).
- **Matriz.** Son clastos de roca/ cristales comúnmente triturados que forman una especie de harina de roca, ésta puede ser alterada por fluidos hidrotermales a cemento compuesto de minerales hidrotermales depositados en espacios abiertos locales.
- **Cemento.** Es aquel material geológico que une los clastos y la matriz, este puede ser sílice, óxidos de hierro o minerales secundarios.
- Puede presentar textura: bandeada, laminada, masiva.
- Espacios abiertos locales

- Se generan por procesos extensionales (dilatación), puede considerarse como un componente de la matriz.
- Relación de Contactos  
Contactos de brechas se pueden desarrollar a niveles de corteza profunda entre un cuerpo intrusivo y roca caja, y en niveles superiores.



*Figura 1.* Relaciones entre clastos y matriz de una brecha.

### 2.1.1 Tipos de brechas

Según, Seedorf (1975) las brechas se pueden clasificar, como:

- **Brechas ígneas cementadas**, las cuales tienen matrices ígneas.
- **Brechas con relleno de espacios abiertos**, las cuales están cementadas por fluidos hidrotermales; hidrotermalismo magmático rellenando espacio abiertos de las brechas.
- **Brechas con matriz de polvo de roca**, estas se encuentran débilmente cementadas con polvo de roca.
- **Brechas heterolíticas**, con un subordinado componente juvenil con soporte de matriz. Heterolíticas, matriz de polvo de roca, interacción directa de magma y una Fuente externa de agua, freatomagmática.
- **Brechas ricas con fragmentos juveniles** predominantemente en clastos, explosive, presencia de agujeros hacia la superficie.



- **Brechas de falla**, se presenta como cuerpos tabulares de brechas con fragmentos angulares de roca en una matriz de roca fragmentada con matriz pulverizada.
  - En cuanto a la brecha que más ocurren en la naturaleza son ígneas, magmática-hidrotermal, freáticas y de falla.
  - Una publicación, descripción detallada y una clasificación de brechas relacionadas a mineralización lo hizo Sillitoe (1985), e indica 5 tipos principales de brechas, con algunos subtipos, a saber:
- **Brechas magmático - hidrotermales**
  - Chimeneas de brechas
  - Tipo pórfido (cuerpos de brecha asociados a sistemas porfíricos)
- **Brechas hidro magmáticas**
- **Freáticas**
  - Depósitos epitermales
  - Depósitos tipo pórfido
  - Kuroko (sulfuros masivos)
- **Freatomagmáticas**
- **Sistemas maar - diatrema**
  - Depósitos tipo pórfido y epitermales
- **Brechas magmáticas**
- **Brechas intrusivas**
- **Brechas tectónicas**
  - Fracturamiento frágil en fallas. Otra clasificación de brechas lo hicieron Corbett & Leach (1998), esta incluye aquellas estructuras, como:
- **Brechas sedimentarias**: se forman por la compactación de sedimentos, que pueden ser de diferentes tamaños y composiciones. Las brechas sedimentarias



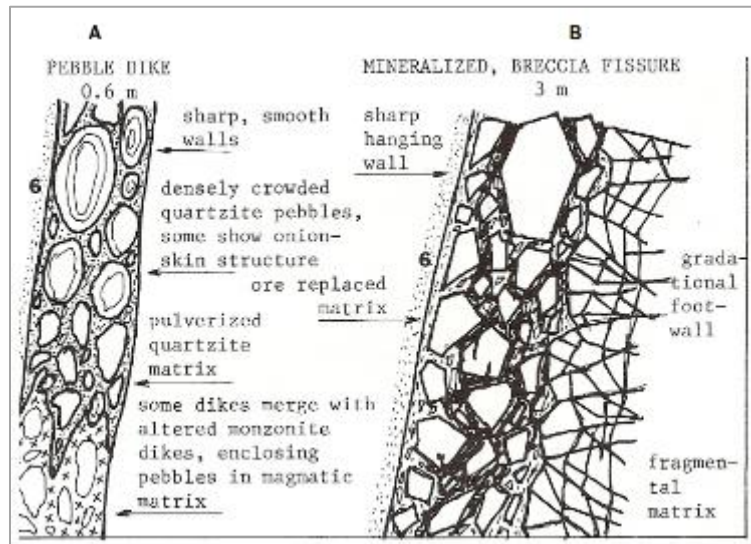
se clasifican según el tamaño de los fragmentos que las componen, como brechas de grava, de arena y de arcilla.

- **Brechas hidrotermales:** se forman a partir de la acción de fluidos hidrotermales que circulan en fracturas y fallas de la roca. Los fluidos hidrotermales pueden disolver y depositar minerales en las fracturas, formando una matriz cementante que une los fragmentos de roca.
- **Brechas volcánicas:** se forman por la acumulación de fragmentos de roca volcánica, como ceniza y lava, que se depositan y se consolidan en un depósito de brechas volcánicas. Estas brechas se clasifican según la textura y composición de los fragmentos, como brechas de lava, de tufo y de ignimbrita.
- **Brechas impactitas:** se forman por el impacto de meteoritos o cometas sobre la superficie terrestre, que producen ondas de choque que fragmentan y deforman la roca. Las brechas impactitas se clasifican según la estructura y composición de los fragmentos, como brechas suevitas, de impacto y de fusión.
- **Brechas de falla:** se forman en zonas de falla geológica, donde las rocas se fragmentan y se desplazan a lo largo de la falla. Estas brechas se clasifican según la geometría y la composición de los fragmentos, como brechas de desgarre, de empuje y de deslizamiento. Clasificación de brechas

De acuerdo a una comparación hecha por Sillitoe (1985), las brechas se pueden clasificar, por sus siguientes elementos, ver figura 2:

- **Matriz**
- **Cemento**
- **Fragmentos**

- **Redondeamiento**
- **Traslación, rotación y transporte**
- **Tamaño de clastos**
- **Alteración**
- **Cuerpo de brecha (geometría, tamaño del cuerpo.**

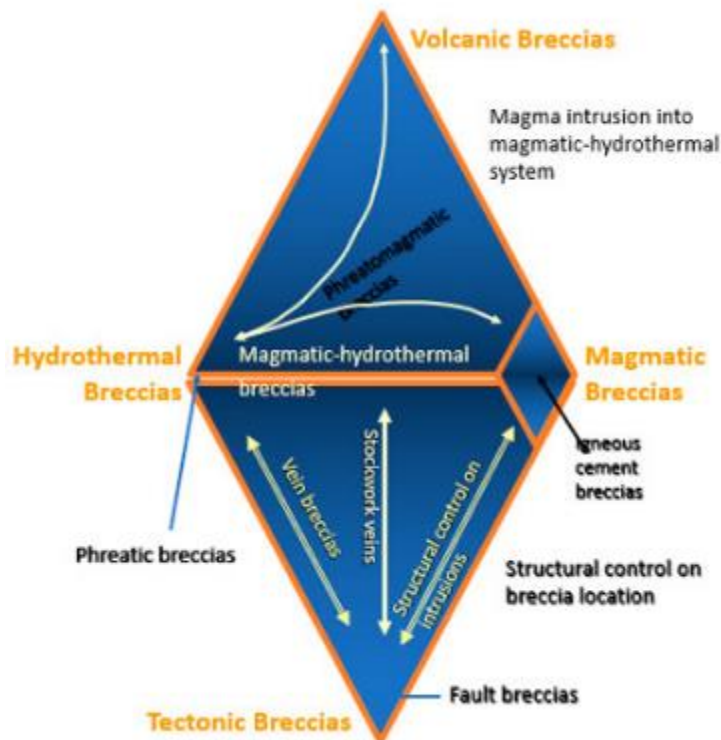


**Figura 2.** Contacto de una brecha con la roca caja, según Lanizca (1988).

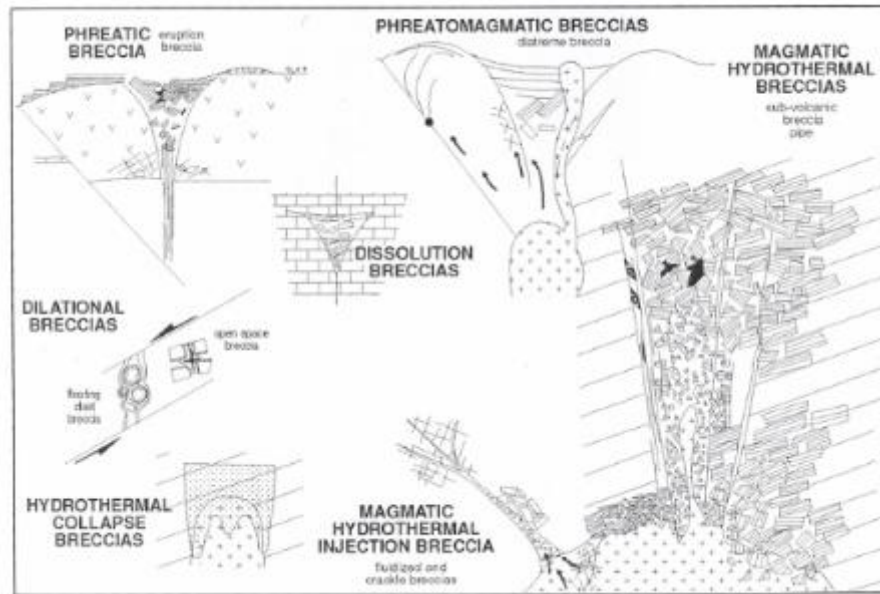
**Tabla 1.**  
*Clasificación de brechas, según Brokes (2001).*

**Breccia Classification Summary**

Diagram Code	Breccia Category	Energy Source	Mobile Phase	Geometry	Diameter (m)	Fragment form	Rock flour matrix	Juvenile component	Other features	Surface connection	Alteration (temporally associated with brecciation)
1	Magmatic-hydrothermal	Magma (directly)	Magmatic volatiles	Single or multiple subvertical pipes	up to 2,000	Angular-subrounded, locally rounded	Lack in common (<50%)	None	Sheeted contacts, shingle breccia, exfoliated fragments	None	Sericite, tourmaline, K-silicate
2	Phreatic	Magma (through circulating groundwater)	Groundwater	Pipe-like, irregular, pebble dikes	up to ~500	Angular to rounded	Commonly present (<50%)	None	Exfoliated fragments, sinter fragments	None	Explosion crater, breccia apron, hydrothermal activity
3	Magmatic-phreatic	Magma (indirectly)	Groundwater	Diatreme	up to ~3,000	Subrounded to rounded	Present (>90%)	None	No juvenile clasts, well-rock blocks, base surge deposits, accretionary lapilli	Moor, tuff ring, domes	Minor
4	Phreatomagmatic	Magma (directly)	Groundwater	Diatreme	1,000 - 3,000	Subrounded to rounded	Present (>90%)	Tuff matrix, cognate lithics	Well-rock blocks, base surge deposits, locally exfoliated fragments, accretionary lapilli	Moor, tuff ring, domes	Minor
5	Magmatic	Magma (directly)	Magmatic volatiles	Diatreme, volcanic vent	500 - 5,000	Subrounded to rounded	Present	Tuff matrix, pumice, cognate lithics	Well-rock blocks, locally exfoliated fragments	Pyroclastic fall & flow deposits, domes	Minor
6	Intrusion	Intrusion	Magma	Irregular necks	up to ~100	Angular	Absent	None	Intrusive rock matrix	None	Variable (minor)
7	Tectonic	Regional tectonism	N/A	Sheep tabular bodies	up to ~50	Angular to subrounded	Present (>100%)	None	Slickensides, gouge	None	Variable (minor)



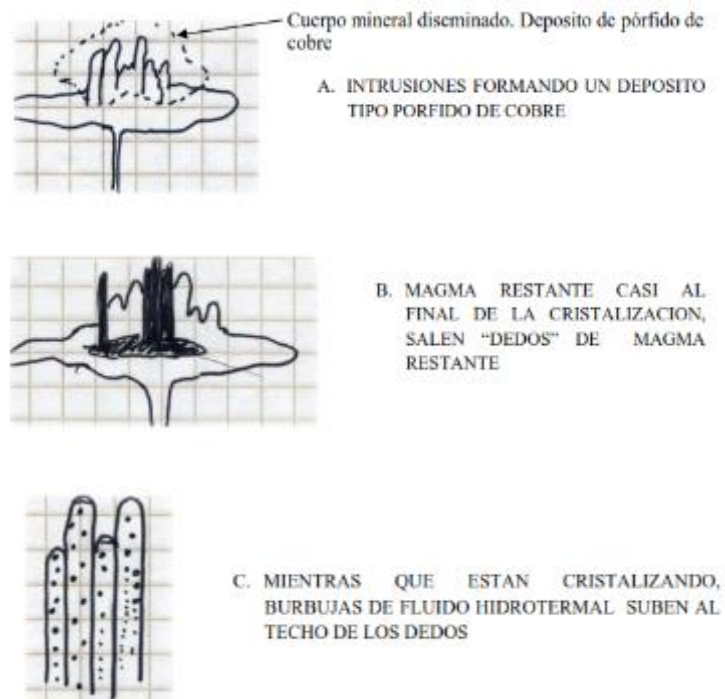
**Figura 3.** Clasificación de brechas. Según Cooke & Andrew (2000).



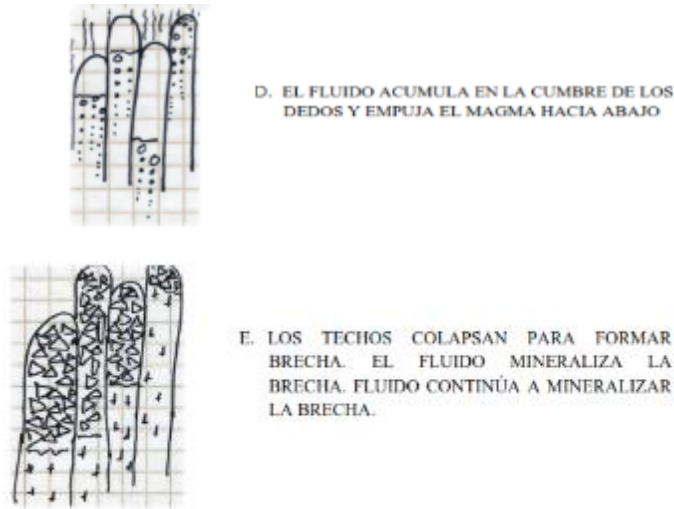
**Figura 4.** Ambientes de formación de Brechas. Según Corbett & Leach (1998)

### 2.1.2 Origen de las brechas

Según Atkinson (2007), los estadios de formación de una brecha son cinco, los cuales se muestran en las figuras siguientes, ver figura 5.







*Figura 5.* Estadios de formación de brechas. Según Atkinson (2007).

### 2.1.3 Parámetros que controlan generación de brechas hidrotermales:

- Composición inicial del magma.
- Profundidad de emplazamiento del intrusivo.
- Porcentaje inicial de agua en el magma.
- Porcentaje de fundido en el magma inicial
- Resistencia a la tensión de la roca de caja.
- Dimensión vertical de las fracturas (profundidad y largo de las fracturas)

### 2.1.4 Relación de brechas y mineralización

La mayor parte de los yacimientos metálicos en ambientes de arco magmático están asociados genéticamente con rocas brechoides. Tales rocas son recurrentes en sistemas de pórfidos cupríferos, yacimientos hidrotermales de baja y alta sulfuración, así como en depósitos de oro diseminado alojados en rocas sedimentarias. Hay una enorme variedad de clases de brechas, que están íntimamente relacionadas entre sí, y que cambian radicalmente al ser cartografiadas en el terreno; su identificación de campo constituye una importante herramienta para el geólogo de exploración (Lobo-Guerrero, 1999).



Los cuerpos de brecha son comunes en sistemas de tipo pórfido y varían desde cuerpos estériles o de baja ley adyacentes a los intrusivos graníticos hasta constituir la porción económicamente dominante de estos sistemas, como en el yacimiento (Maksaev, 2007).

La segunda ebullición provoca la liberación de energía mecánica durante el emplazamiento y la cristalización de magmas félsicos hidratados a poca profundidad. Esta liberación de energía se ve manifestada en los yacimientos de tipo pórfido, en donde las partes marginales de los cuerpos intrusivos porfíricos y la roca de caja que los alberga, aparecen intensamente fracturados, y en los numerosos cuerpos de brecha que también aparecen (Burnham, 1985). Se estima que la segunda ebullición sería la mayor causa del Fracturamiento en estos sistemas (Burnham, 1985). La distribución de los tubos de brecha y la presencia de minerales de alteración tales como: cuarzo cristalizado y amorfo, turmalina, epidota, sericita, clorita, piritita, sulfuros etc. nos indican que hay relación con un sistema pórfido (Carhuapoma, 2019).

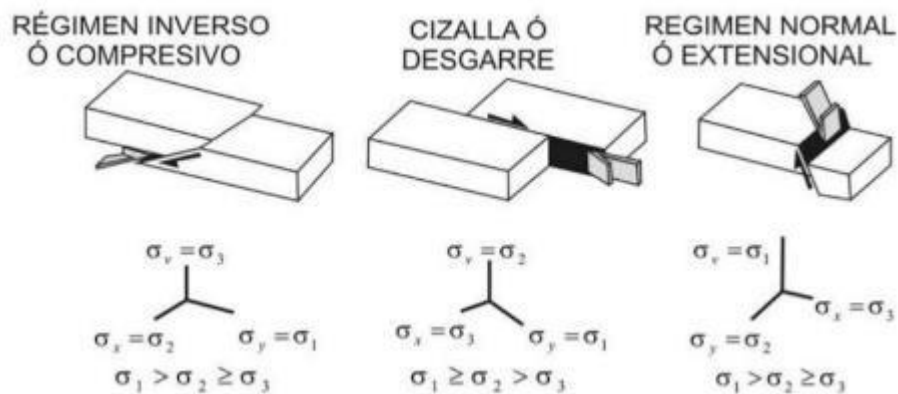
## **2.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL**

El brechamiento de las rocas está estrechamente relacionado al metamorfismo dinámico, entonces, resulta de fundamental importancia comenzar con la geología estructural a nivel distrital, para poder definir las macrotendencias estructurales que explican el patrón estructural propio del sector que interesa, ya que de lo contrario puede resultar difícil comprenderlo y poder definir adecuadamente los distintos dominios estructurales propios del sector (Flores & Karzulovic, 2023). El análisis estructural junto con los regímenes de esfuerzos procura representar la orientación espacial de las diferentes estructuras geológicas, con el objeto de entender los mecanismos de deformación en el área

de estudio y también pudiéndose definir una distribución de esfuerzos que originan las tensiones.

### 2.1.5 Tipos de régimen de esfuerzos

Los movimientos y deformaciones en la corteza terrestre se generan por una serie de fuerzas primarias que son transmitidas a lo largo de miles de kilómetros. El resultado del balance de estos esfuerzos en una zona determinada controla la dinámica deformacional frágil de dicha área. En función de la orientación de los ejes principales y la relación existente entre sus magnitudes relativas podemos describir el régimen tectónico (ver figura 6), según tres tipos puros con casos intermedios (Muñoz & De Vicente, 2005).

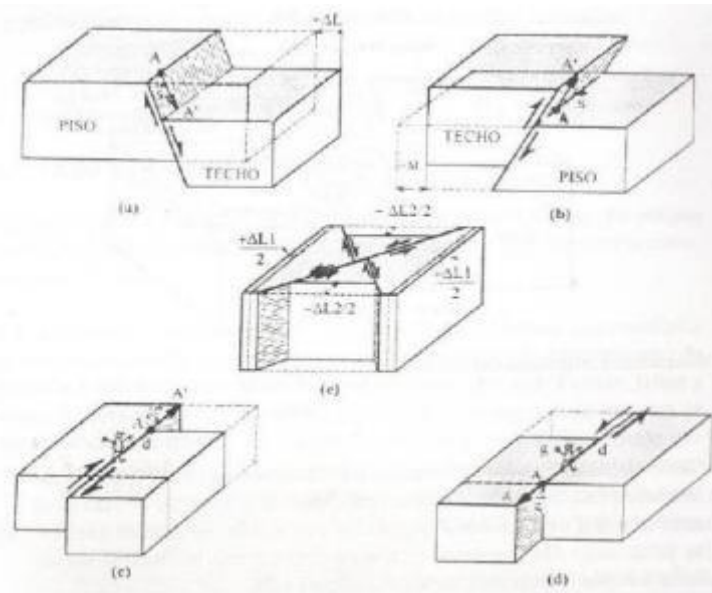


**Figura 6.** Regímenes tectónicos puros en función de la orientación de los ejes de esfuerzos.

Fuente: Tomado de (Muñoz & De Vicente, 2005)

### 2.1.6 Clases de falla

Mercier & Vergely (2001) mencionan que “Existen numerosas clasificaciones de fallas”. A continuación, se analiza una; la cual se considera fundamental puesto que se basa en el deslizamiento de los bloques separados por la falla”, ver figura 7.



**Figura 7.** Esquema de los diferentes tipos de fallas de acuerdo con el desplazamiento real. Tomado de Mercier & Vergely (2001)

De la figura 07, se puede observar: una falla normal (a), presenta un deslizamiento hacia abajo del techo con respecto al piso, y se produce un alargamiento horizontal ( $+\Delta L$ ) del material. Una falla inversa (b) presenta un deslizamiento del techo hacia arriba con relación al piso, y se produce una reducción horizontal ( $-\Delta L$ ) del material. Mientras que las fallas con deslizamiento horizontal son fallas de rumbo. Una falla de rumbo es lateral dextral (c) es si el observador, parado frente a la dirección de la falla, observa que el bloque de su derecha se desliza hacia él. Una falla de rumbo lateral siniestral (d), si el bloque de su izquierda se desliza hacia él. Cuando las fallas de rumbo dextral y siniestral se asocian en un sistema de fallamiento, (e), produce a la vez un alargamiento y una reducción horizontal sin que exista un aumento ni una reducción vertical del material (Mercier & Vergely, 2001).

### 2.1.7 Análisis Estructural

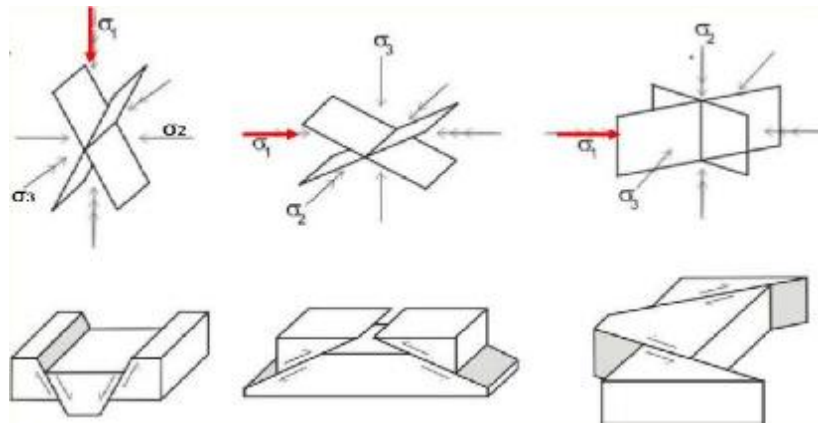
Para Davis, et al (1996) “El análisis estructural de detalle, tiene particular énfasis en el análisis del esfuerzo; aquí se toma en consideración estas dos principales perspectivas fundamentales en las cuales se basa el análisis estructural”.

### 2.1.8 Análisis Descriptivo

Cada estructura está compuesta por elementos estructurales que deben ser identificados y descritos para permitirnos llevar a cabo un completo análisis descriptivo (componentes físicos y geométricos) cuyo fundamento es el mapeo geológico, el cual revela la naturaleza entre los cuerpos de roca, ayudándonos a reconstruir la historia secuencial de eventos mayores; siendo de vital importancia en la confección de blocks diagramas tridimensionales para apreciar la arquitectura geométrica de los cuerpos rocosos bajo investigación, constituyendo una base para la interpretación de la historia estructural y tectónica de un área (Davis *et al.*, 1996).

### 2.1.9 Análisis Dinámico

Basándose en el criterio de fracturación de Mohr Coulomb, Anderson (1951) establece que, como norma general, las fallas aparecen según dos familias conjugadas que se cortan formando un diedro agudo y otro obtuso; las estrías situadas sobre ellas son perpendiculares a la línea de intersección de los planos. ¡En la bisectriz de los diedros agudo y obtuso se sitúan los ejes de compresión máxima ( $\sigma_1$ ) y mínima ( $\sigma_3$ ), respectivamente; en la línea de intersección de las dos familias de planos se halla el eje intermedio ( $\sigma_2$ ). La teoría predice que se formaran fallas normales allí donde el esfuerzo vertical sea el esfuerzo máximo, fallas inversas donde el esfuerzo vertical sea el mínimo y fallas de rumbo donde el esfuerzo vertical sea el intermedio, ver figura 8.



**Figura 8.** Tipos de fallas. Tomado de Anderson (1951)

## 2.3 GEOLOGÍA ECONÓMICA

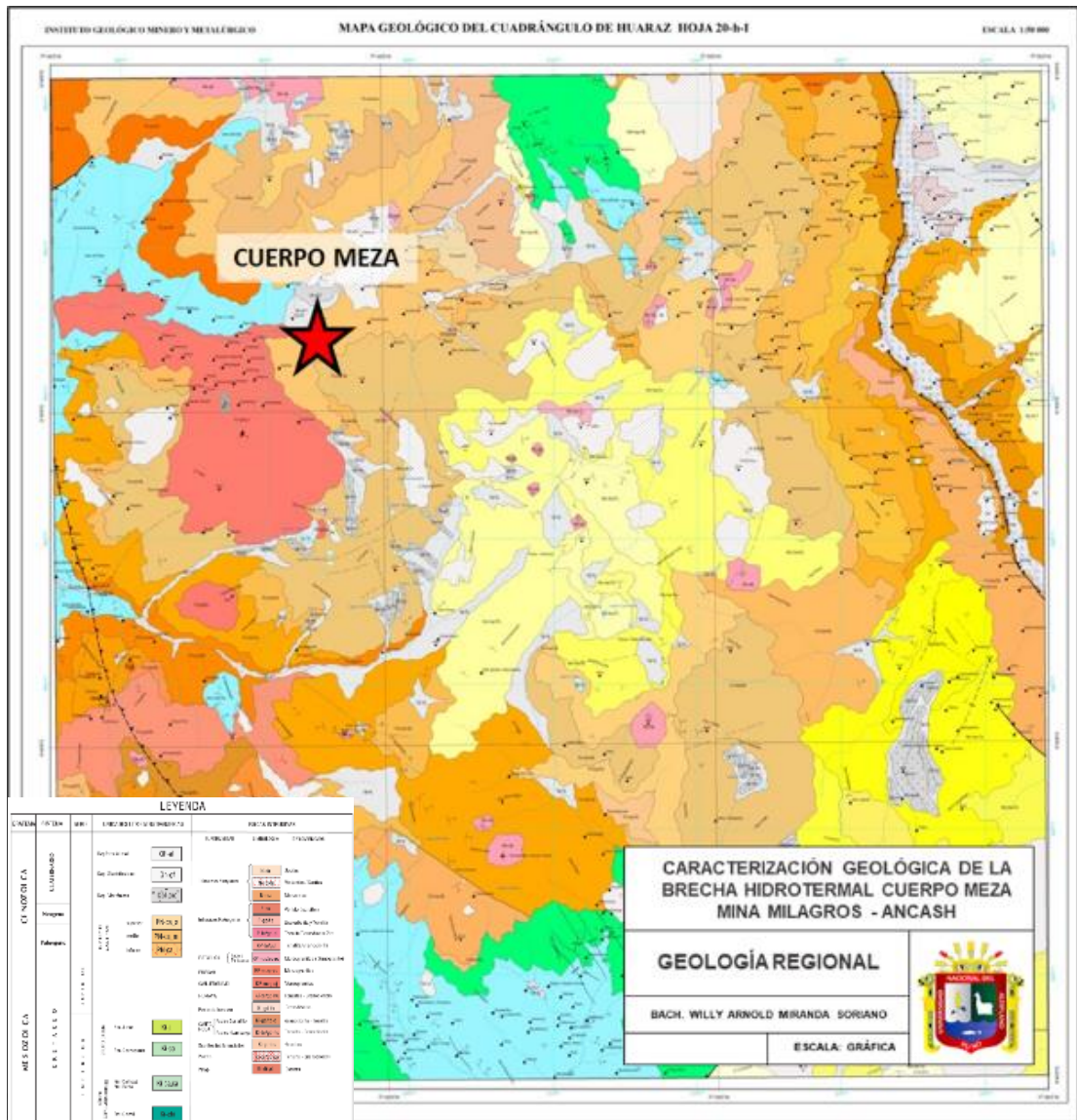
A lo largo de la Cordillera Negra, existen un gran número de yacimientos metálicos emplazados en las rocas volcánicas y sedimentarias, intruidas por cuerpos intrusivos batolíticos, intrusivos tipo stock y/o intrusivos sub volcánicos menores. La gran mayoría de yacimientos, son polimetálicos: Cu, Zn, Pb, Ag algunas veces con presencia de Au, la mineralización ocurre en vetas, cuerpos de brecha, y skarn. Entre las inmediaciones de Cotaparaco – Aija – Recuay - Ticapampa y Carhuaz, históricamente se han explorado y/o trabajado aproximadamente 80 pequeñas a medianas minas. En las últimas décadas se han descubierto minas de Au relacionadas a las cuarcitas Chimu y Santa, epitermales con diseminación de Au en el volcánico Calipuy, como es el caso de la mina Pierina y yacimientos tipo pórfidos de Cu – Mo relacionados a cuerpos intrusivos tonalíticos, como el pórfido Ancash. Como ejemplos de los diferentes yacimientos que se puede hacer referencia algunos de ellos (Cobbing *et al.* 1996).

### 2.1.10 Unidades estratigráficas

Las unidades estratigráficas cercanas al área de exploración lo conforman principalmente formaciones calcáreas-clásticas del Jurásico-Cretáceo, los volcánicos del Grupo Calipuy. La facies sedimentaria que aflora en la Cordillera Occidental. Así mismo, esta presenta las areniscas cuarzosas intercaladas con lutitas de la formación



Chimú. Finalmente, sobre yaciendo estas unidades estratigráficas, se tienen a los depósitos de flujos de lava andesíticas del grupo Calipuy. En el cuadrángulo de Huaraz, afloran rocas intrusivas correspondientes al Plutón de Pira. Su litología dominante, consiste en granodioritas, afectando a secuencias sedimentarias del Jurásico-Cretáceo de las formaciones Chicama y Chimú. El sistema magmático de las zonas de Milagros y Jupehuacanca forma parte de la Superunidad Pativilca (Oligoceno) con una composición tonalita a granodiorita, rocas intrusivas correspondientes al Batolito de la Costa. Así mismo, pulsos intrusivos de composición intermedia post volcanismo efusivo asociados al arco magmático del grupo Calipuy, las cuales consisten de dioritas y tonalitas, intrusivos relacionados al sistema hidrotermal de Cu-Ag, ver figura 9 (Cobbing *et al.* 1996).



**Figura 9.** Plano Geológico regional 1:50,000. Fuente INGEMMET.

### 2.1.11 Evolución tectónica

La evolución tectónica de la Mina Milagros que engloba la brecha hidrotermal cuerpo Mesa está influenciada por la actividad geológica que se registró en la Cordillera Blanca de los Andes peruanos; región que ha experimentado una compleja evolución tectónica a lo largo de su historia geológica.

La formación de la Mina Milagros se relaciona con el Batolito de Santa Cruz, una unidad plutónica de edad cretácica tardía a paleógena temprana que se desarrolló en un ambiente tectónico de subducción. El Batolito de Santa Cruz es una intrusión



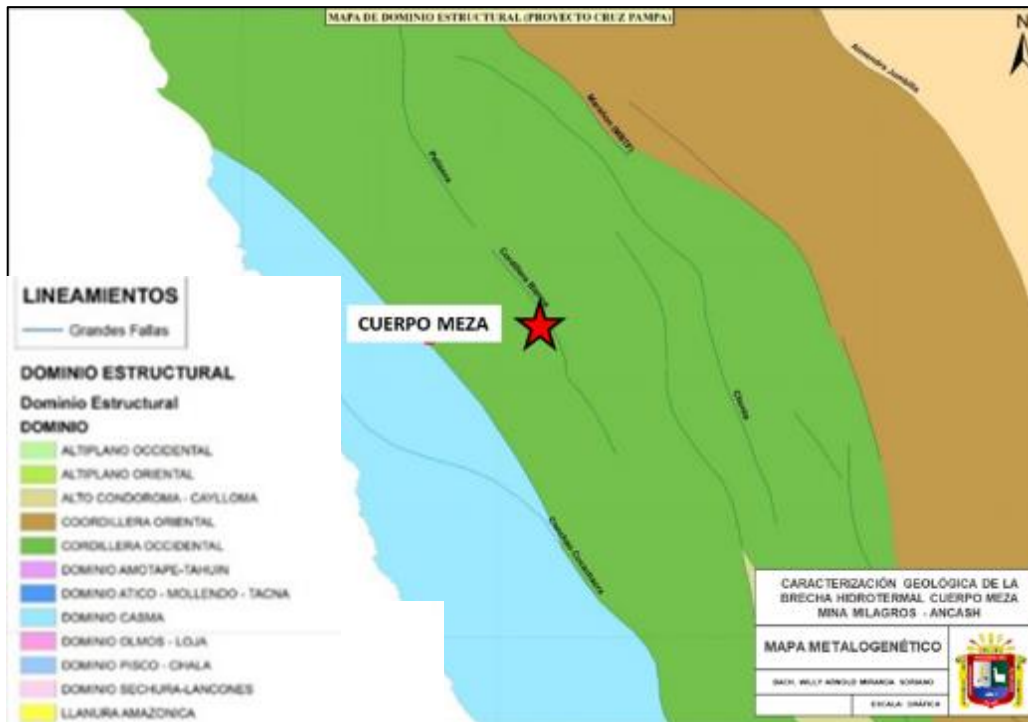


de gran volumen que se emplazó durante la fase inicial de la deformación andina, y que está compuesto principalmente por granodiorita, monzogranito y diorita.

La mineralización de la Mina Milagros está relacionada con la actividad magmática que dio origen al Batolito de Santa Cruz, la cual generó fluidos hidrotermales que interactuaron con las rocas circundantes y generaron la mineralización. Además, la actividad tectónica que afectó a la Cordillera Blanca y a la región de Huaraz, incluyendo la deformación y el levantamiento de los Andes, también influyó en la evolución tectónica de la Minera Shuntur.

En resumen, la evolución tectónica de la Mina Milagros se relaciona con la actividad magmática que dio origen al Batolito de Santa Cruz y con la actividad tectónica que afectó a la región de Huaraz y a la Cordillera Blanca en general. Estos procesos generaron estructuras mineralizadas como vetas y brechas hidrotermales, cuerpos de reemplazamiento y zonas de alteración hidrotermal, que son las principales fuentes de mineralización en la mina.

La zona de estudio se encuentra en el dominio de la Cordillera Occidental (Dominios estructurales\_INGEMMET). A su vez, este dominio se encuentra separado del dominio Casma por el corredor estructural Conchao-Cocachacra de rumbo andino. El dominio de la Cordillera Occidental corresponde a la antigua cuenca occidental peruana que comenzó a individualizarse en el Jurásico inferior con el inicio del arco volcánico Chocolate (190-170 Ma) y el relleno sedimentario con carbonatos, turbiditas y sílico-clásticos hasta el Cretáceo. El Batolito Costero (107-37 Ma.) es una intrusión múltiple y compleja formada predominantemente por tonalitas y granodioritas que ocupan el núcleo de la Cordillera Occidental en una longitud de 1600 Km y más de 65 Km de ancho. Además, los grandes batolitos de la Cordillera Occidental del Perú, Ver figura 10.

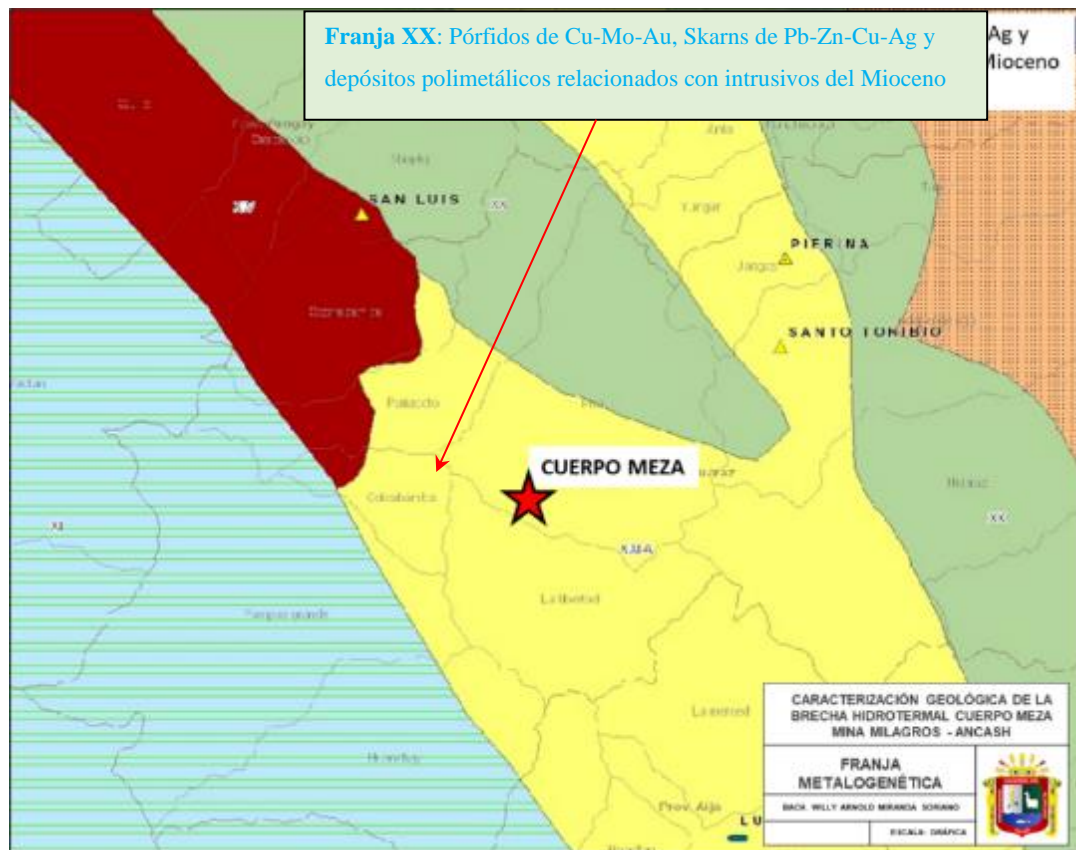


**Figura 10.** Plano tectónico de zona de estudio. Fuente INGEMMET.

### 2.1.12 Contexto metalogénico

La franja Metalogénica (XX-1a) de los depósitos epitermales de Au alojados en volcánicos del Mioceno circunscribe al área de estudio (Fig.4). Sin embargo, la zona Milagros se caracteriza por un sistema de brecha hidrotermal de Cu-Ag y la zona de Jupehuacanca se caracteriza por un posible potencial sistema pórfido de Cu-Mo, asociación polimetálica que corresponde a la franja Metalogénica (XX) de los depósitos de Pórfidos de Cu-Mo-Au, Skarns de Pb-Zn-Cu-Ag y depósitos polimetálicos relacionados con intrusivos del Mioceno. Dentro del contexto de la época metalogénica, los yacimientos polimetálicos están relacionadas a la subducción de la plaza de Nazca bajo la sudamericana, hacia finales del Cretáceo superior. El avance de la subducción hacia el Este origino en primer término, el emplazamiento de los yacimientos de cobre (región Intercordillerana Sur); luego los de la provincia polimetálica pertenecientes al Mioceno medio (+/- 15 m.a). Cerca al prospecto existen algunos proyectos tales como: proyecto San Luis, la

cual comprende un sistema de vetas epitermales de oro y plata de alta ley. Otro proyecto polimetálico de Cu-Mo como los Latinos, se encuentra a 20km hacia el Este. Mientras otros dos proyectos auríferos llamados Virahuanca y Adriana, se encuentran a 40 km hacia el NW y SE, respectivamente (según Franjas Metalogenéticas del Perú INGEMMET) Ver figura 11.



**Figura 11.** Plano Metalogenético de zona de estudio. Fuente INGEMMET.



## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.1 CARTOGRAFIADO GEOLÓGICO DEL CUERPO MESA**

Se realizó la recopilación de información y clasificación bibliográfica relacionados a la zona de estudio; luego se revisó de trabajos anteriores realizados en la zona de estudio, tales como: informes, mapas geológicos y mapas topográficos. Durante esta etapa, también descargo de imágenes satelitales de mediana resolución y finalmente se elaboraron los planos topográficos (la escala de trabajo fue para interior mina de 1/100), formatos para la toma de datos y se establecieron puntos y sectores de muestreo geoquímico, aquí también se ubicaron puntos para obtención de muestras petrográficas y minerográficas.

#### **3.2 PROCESO DE EXPLORACIÓN EN INTERIOR MINA.**

Se tomaron las muestras de cores diamantinos de forma sistemática y selectiva en los sondajes en las campañas perforación en el cual se hizo tomando en cuenta el tipo de yacimiento para ser analizado geoquímicamente (para esta tesis se obviaron los datos de sondajes diamantinos por motivos de confidencialidad de la empresa). Los resultados de la geoquímica de los sondajes diamantinos del yacimiento que van a cotas menores al nivel 3540 dieron resultados favorables por lo que se programó nuevas campañas de sondeo diamantino, laboreo y muestreo geoquímico de taladros exploratorios.

Los siguientes pasos sirvieron en la exploración del cuerpo Mesa los cuales se ejecutan paralela y gradualmente a medida que se va profundizando con labores de preparación, infraestructura y exploración; al terminar con la exploración de labores de un nivel se sigue a continuación con los mapeos geológicos y estructurales, la programación de taladros exploratorios a partir de la interpretación geológica y su respectivo muestreo:

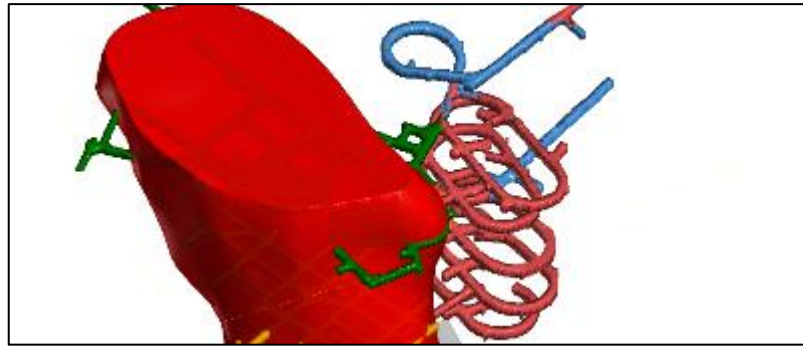
Los pasos a grandes rasgos son los siguientes:

- **Primero**, se programó y ejecutaron taladros DDH en dirección a la profundización del cuerpo Mesa luego estos se muestrean, ver figura 12.



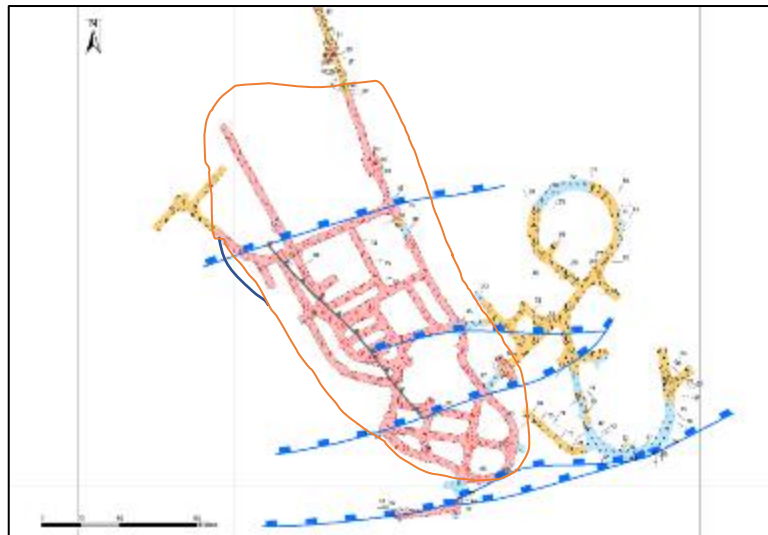
*Figura 12.* Cores DDH en cámara diamantina.

- **Segundo**, se continua con las labores de profundización con una rampa paralela al cuerpo mineralizado a menos de 50 metros del inicio del cuerpo Mesa para poder preparar las zonas de acumulación, labores de ventilación con chimeneas, labores de servicios para agua, aire, electricidad, posas de bombeo y cámaras de acumulación de mineral y desmonte, así como de otras infraestructuras necesarias para la profundización como son las cámaras de bodegas, salvataje y subestaciones.
- **Tercero**, se programa el crucero principal de cada nivel del cual saldrán las labores de exploración como ventanas hacia el sur explorando el cuerpo Mesa hasta llegar a los contactos con caja en donde se completa las labores con ventanas perpendiculares que servirán para programar los taladros exploratorios y además servirán como preparación del cuerpo Mesa para un futuro minado, ver figura 13.



*Figura 13.* Se tiene la topografía del Nv 540.

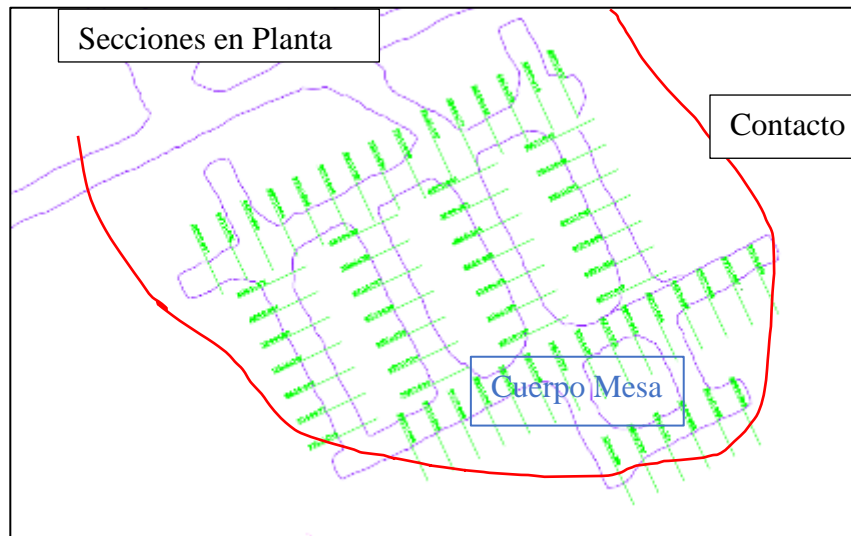
- **Cuarto**, en cada labor avanzada se realiza el cartografiado geológico al detalle en una escala de 1:200 identificando la litología, estructural y datos de imbricación de clastos para el posterior análisis.



*Figura 14.* Mapeo geológico-estructural del Nv540.

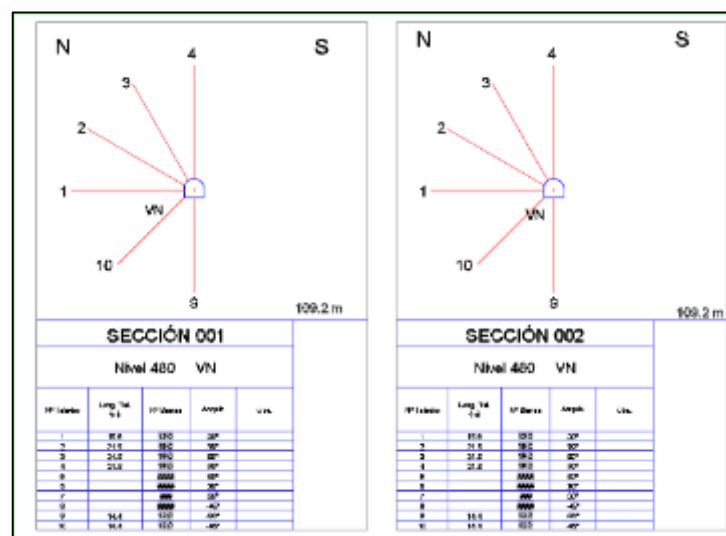
- **Quinto**, en cada nivel se programan los taladros exploratorios que servirán para el muestreo geoquímico con el método de BLASHOLE adaptado a las necesidades de taladros largos en minería subterránea; estos taladros exploratorios se programan en las distintas ventanas de exploración y en las ventanas de preparación para completar los taladros exploratorios del nivel. Cada una de estas secciones es marcada por topografía en las labores en donde

se detalla la dirección de las secciones para evitar errores a la hora de la perforación, ver figura 15.



**Figura 15.** Secciones del Nivel 440 para muestreo blashole.

En cada sección se programan los taladros en abanico dependiendo de la necesidad de exploración, en donde se tiene la dirección de la sección, gráficamente la dirección de los taladros y su numeración, en que ventana se encuentra programada la sección, los metros totales a explorar en la sección, un cuadro en donde se resume el ángulo de exploración del taladro, los metros necesarios del taladro y el número de barras a explorar, ver figura 16.



**Figura 16.** Se representa la sección de taladros exploratorios programada.

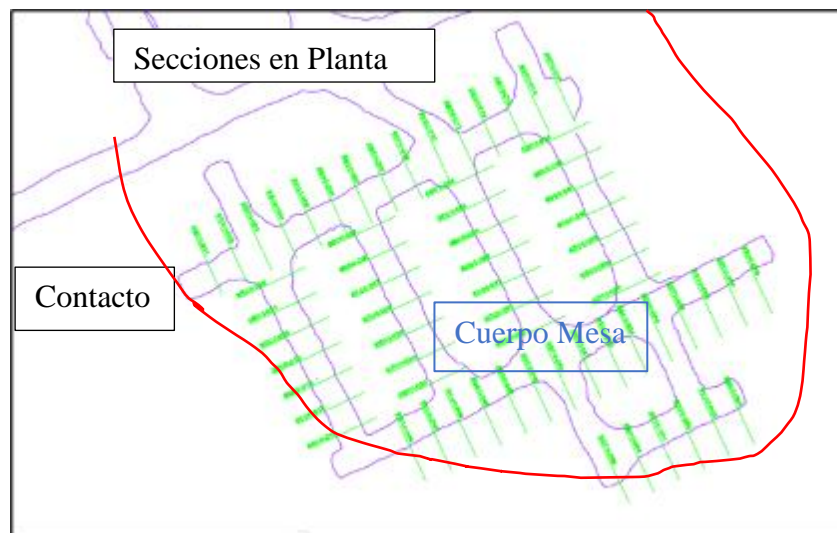
En cada taladro el muestrero calificado para este tipo de muestreo toma muestras de cada barra haciendo el respectivo cuarteo, lo que dio como resultado la geoquímica en todo el taladro con muestras cada 1.20 metros; topografía levanta los taladros luego de su culminación en campo para su posterior procesamiento en gabinete.

### 3.3 MUESTREO GEOQUÍMICO

Se procedió a ejecutar diferentes tipos de muestreo para determinar las leyes geoquímicas y así obtener la interpretación del yacimiento, también muestras de mano para los estudios pertinentes necesarios para la interpretación mineragráficos y de inclusiones fluidas.

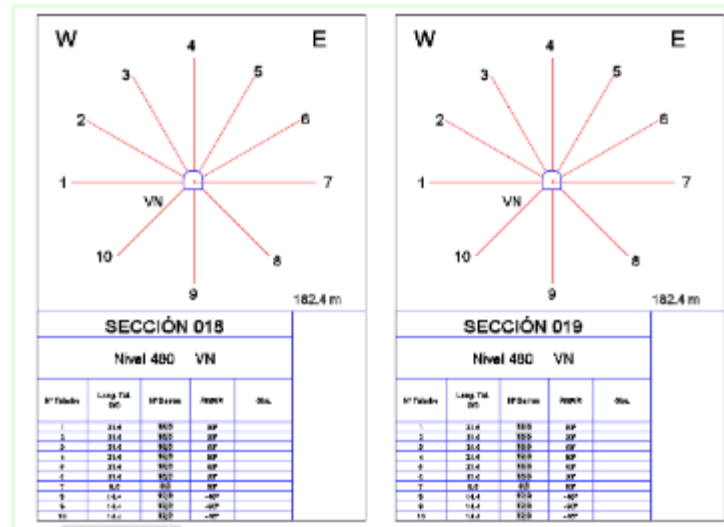
#### 3.3.1 Muestreo geoquímico de BLASHOLE

Se toman muestreo de taladros exploratorios con el método BLASHOLE adaptado a minería subterránea con un método sistemático en secciones cada 3.9 metros y en taladros de abanico, ver figura 17 y 18.



**Figura 17.** Secciones de taladros exploratorios en planta a partir de las labores exploratorias de este nivel.





**Figura 18.** Sección de taladros exploratorios en perfil.

La máquina exploratoria SPIDER se posiciona en la línea de sección en donde inicia con la perforación de los sondajes, esta máquina tiene la capacidad de perforar 18 barras de acero en positivo y 14 barras en negativo, cada barra mide 1.20 metros por lo que nos da en positivo una exploración máxima de 21.6 metros y en negativo 14.4 metros; cada barra perforada genera una muestra geoquímica. Se perfora el primer taladro con la primera barra en donde el muestrero coloca en el retorno una bandeja de plástico en donde se acumulan los detritos y finos salidos de la muestra hasta terminar la barra perforada, ver figura 19.



**Figura 19.** Máquina SPIDER inicio de toma de muestra.

Nivel 3440, ventana de exploración. Se instala la máquina SPIDER que perfora un sondaje de exploración posicionada en una sección programada, se perforan los sondajes de forma radial de acuerdo a la dirección necesaria para amarrar con las otras secciones, ver figura 20.



**Figura 20.** Muestrero sacando bandeja con muestra.

Seguidamente el muestrero recoge la bandeja y coloca otra para continuar con la siguiente barra de perforación en donde se reinicia el proceso de sondaje exploratorio. Después de terminar con la perforación de 1.20m, ver figura 21.



**Figura 21.** Muestrero cuarteando y recolectando muestra.

El muestrero continúa con el cuarteo de la muestra en la bandeja, se recolecta del total de lama y detritos una muestra representativa que es colocada posteriormente en una bolsa de muestreo; se lava la bandeja minuciosamente y se prepara para la siguiente muestra, ver figura 22.



**Figura 22.** Codificando de muestra.

Seguidamente el muestrero continua con el codificado de la muestra poniendo un tiquete de muestreo en la bolsa y posteriormente amarrado con una rafia; esta muestra es codificada en el talonario de muestreo en donde se ponen los diferentes datos necesarios para la correcta identificación de la muestra, paralelamente se anota en el cuaderno de muestrero un resumen de las muestras tomadas resaltando la ubicación exacta de mina, nivel, labor y por los elementos químicos que serán analizados. Las siguientes muestras son tomadas sistemáticamente dependiendo de las necesidades para realizar un modelamiento correcto y una buena estimación de recursos. Posteriormente se trabaja en gabinete los resultados geoquímicos y topográficos de los sondajes para trabajarlos con el software de estimación y ArcGis 10.8.

### 3.3.2 Muestreo para estudios microscópicos

Se recolectaron muestras de los diferentes niveles estudiados, los cuales fueron posteriormente enviados a hacer estudios mineralógicos, petrográficos y de inclusiones fluidas, ver figura 23.



*Figura 23.* Toma de muestras de mano.

### 3.4 TRABAJO DE POST CAMPO

Los trabajos de post campo fueron de gabinete en donde se realizó la digitalización de los cartografiados geológicos en la base de datos ArcGIS para luego unirlos a los mapeos de nivel y unificar la información, se procede a la generación de secciones cada 15 metros al cuerpo, estas secciones se interpretan para generar el modelo geológico de la mina teniendo en cuenta la litología, estructural, alteraciones y geoquímica luego se procede a digitalizar las secciones interpretadas para cargarlas en el software de estimación y generar el modelo geológico del yacimiento.

Se procede a interpretar y correlacionar la geoquímica de todo el yacimiento incluyendo muestreos de taladros exploratorios, de producción, sistemáticos y de sondajes lo que nos genera un modelo geoquímico.



### 3.4.1 Determinación geológica

- **Generación de mapas geológicos.** Usando una base topográfica a escala de 1/100 se realiza el mapeo geológico de los niveles 3,540; 3,480 y 3,440.
- **Generación de planos estructurales.** Al realizar el mapeo geológico se toman datos estructurales de fallas, estructuras mineralizadas, discontinuidades de imbricación de clastos.
- **Generación de planos geoquímicos.** Utilizando la data geoquímica detallada en el Capítulo III Muestreo geoquímico de blasthole se generaron los planos geoquímicos de los diferentes niveles a estudiar.
- **Generación de planos IVD.** Con la geoquímica se realiza el análisis por niveles del Inverso a la Distancia para encontrar las relaciones geoquímicas.
- **Generación del modelo geológico.** Utilizando los datos de cartografiado geológico, estructurales, geoquímicos y de interpretación se realizó el modelo geológico del cuerpo Mesa.
- **Generación del modelo de bloques.** Con la base geoquímica se realizó el modelo de bloques utilizando un software de estimación.
- **Generación del modelo estructural.** Con la interpretación geológica, mapeos estructurales y de puntos estructurales se realiza la interpretación del cuerpo Mesa reconociendo claramente los dominios estructurales.

## CAPÍTULO IV

### CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

#### 4.1 UBICACIÓN

La Mina Milagros, está ubicada en la región norte del Perú en el distrito de Pira, provincia de Huaraz y departamento de Ancash. Está estratégicamente ubicada en el flanco oeste de la cordillera negra de los Andes en la hoja de Huaraz (20h). Se encuentra entre las siguientes altitudes, desde los 3600 m.s.n.m hasta los 4100 m.s.n.m.

Las coordenadas UTM de la propiedad en el centro de la concesión son: 8941000N – 200,000E (Lat: 9.56°S Long: 77.73°W). Las propiedades (concesión) de la compañía Minera Adriana V. de Huaraz cubren una extensión de 6,129.762 has en 16 denuncios abarcando los distritos de Pira, La Libertad y Colcabamba en la provincia de Huaraz, departamento de Ancash. (Tabla 1 y Fig. 2)

#### 4.2 ACCESIBILIDAD

A esta zona se accede, partiendo desde la ciudad de Lima, recorriendo la Panamericana Norte hasta el desvío de Pativilca y luego seguir el camino hasta la ciudad de Huaraz. A partir de esta ciudad, se continua el recorrido hacia la localidad de Yupash y de ahí, hacia el distrito de Pira, lugar donde se desarrolla las actividades de exploración y explotación. La tabla 2 muestra el recorrido, el tipo de vía, la distancia y el tiempo en camioneta 4x4, ver tabla 02, ver figura 24.

**Tabla 2.**  
*Accesibilidad*

RUTA	VÍA	DISTANCIA Km	TIEMPO
Lima-Casma- Yupash	Carretera asfaltada	480	8 horas
Yupash-Pira- Shuntur	Carretera afirmada	11	0.30" min
Total		491	9 horas

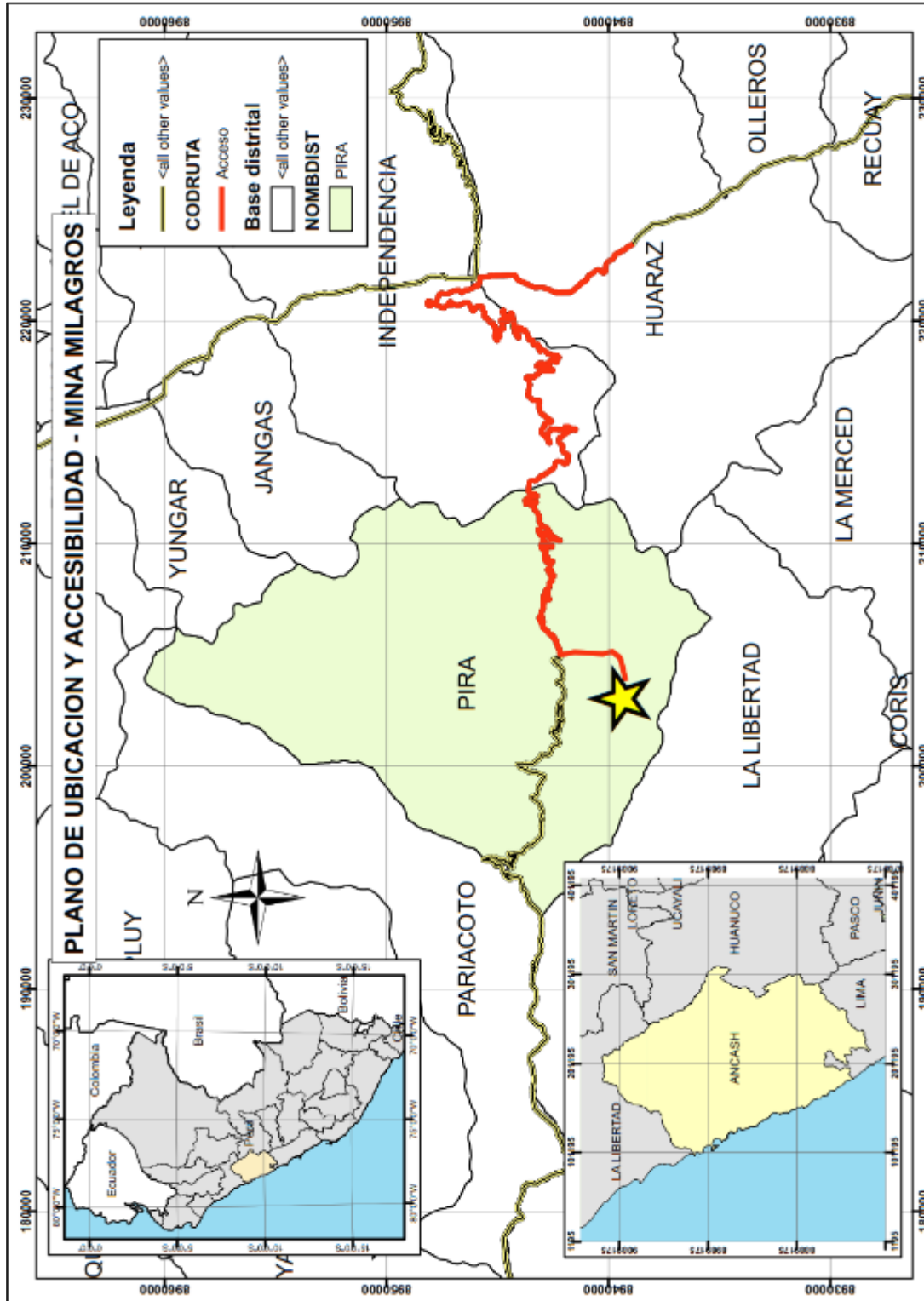


Figura 24. Plano de Ubicación y Accesibilidad.

### 4.3 GEOLOGÍA LOCAL

La zona de estudio se enmarca en la unidad estratigráfica Grupo Calipuy, donde ocurre la facie volcánica que está conformada por andesitas porfíricas.

El cuerpo de Mesa, hacia el Sur Oeste de mina Milagros (mina principal y más antigua), contiene en superficie una diorita con fenocristales de hornblenda bien desarrollados, de color gris oscuro a negra con tintes verdosos por alteración propilítica. Presenta silicificación moderada hacia el contacto con el cuerpo Mesa y fracturamiento moderado en los contactos; en la zona de Shuntur Chico esta diorita se presenta como diques de composición diorítica hipabisal.

La geología del cuerpo Mesa se circunscribe por tres unidades litológicas, hacia la base se encuentra una roca ígnea intrusiva de composición diorita (Oligoceno superior) denominada Stock Pira por el nombre del poblado más cercano. Seguidamente se encuentra una secuencia de rocas sedimentarias de tipo caliza y areniscas, con una orientación Este – Oeste (Jurásico superior) con un buzamiento de 30° - 60° al sur, que corresponden al Grupo Chicama, aquí forma el metalotecto en la mina Sagitario (calizas y areniscas). Finalmente, en mayor parte del sector se observa una roca ígnea extrusiva – volcánica, constituida por derrames lávicos de composición andesítica de diferentes texturas (Cenozoico) que son parte del Grupo Calipuy. En la mina señor de los Milagros el grupo Calipuy se presenta brechado a consecuencia de un magmatismo local y un fluido hidrotermal generador de la mineralización. En ciertos sectores de la mina no existe mineralización, pero se encuentran rocas alteradas por fluido hidrotermal el cual forma de acuerdo a la litología skarn y brechas, calizas y andesitas.

#### 4.3.1 Diorita hornbléndica

Esta roca intrusiva es asumida como el Stock Pira por su composición, y consta de un pulso de diorita hornbléndica, el cual se encuentra instruyendo a un primer episodio volcánico de andesita porfírica “purpura” del Grupo Calipuy, este intrusivo





arrastra xenolitos de basamento (calizas y areniscas). Este pulso tiene un amplio dominio litológico en la zona de Milagros y se caracteriza por una matriz compuesta principalmente de plagioclasas de textura seriada con fenocristales (mm a cm) de hornblenda. Así mismo, durante su emplazamiento se produce la formación de una brecha magmática de contacto.

#### **4.3.2 Andesita**

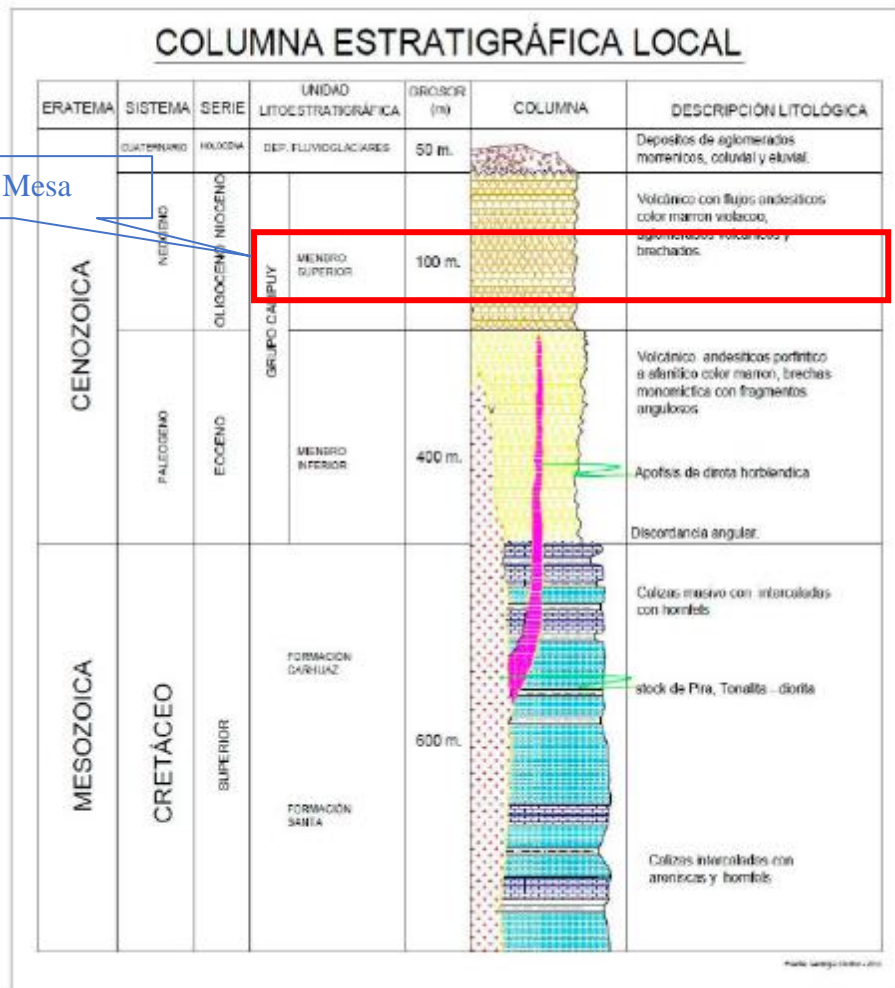
En la mina Milagros las andesitas del Grupo Calipuy tienen textura porfirítica a afanítica, cuyos colores son marrón violáceo, con alteración propílica, venillas de cuarzo epidota generando halos de alteraciones puntuales y disseminación fina de pirrotita y pirita. Presenta moderada fracturación, así mismo engloba posiblemente brechas andesíticas monomíticas y emplazamientos de apófisis de intrusivos con disseminación de pirita.

#### **4.3.3 Brecha hidrotermal**

Esta brecha es matriz soportada de cuarzo, en algunos sectores presenta calcita con clastos de andesita porfirítica albitizados de tamaños centimétricos a métricos, con inclinación variable de 12 a 15°N.

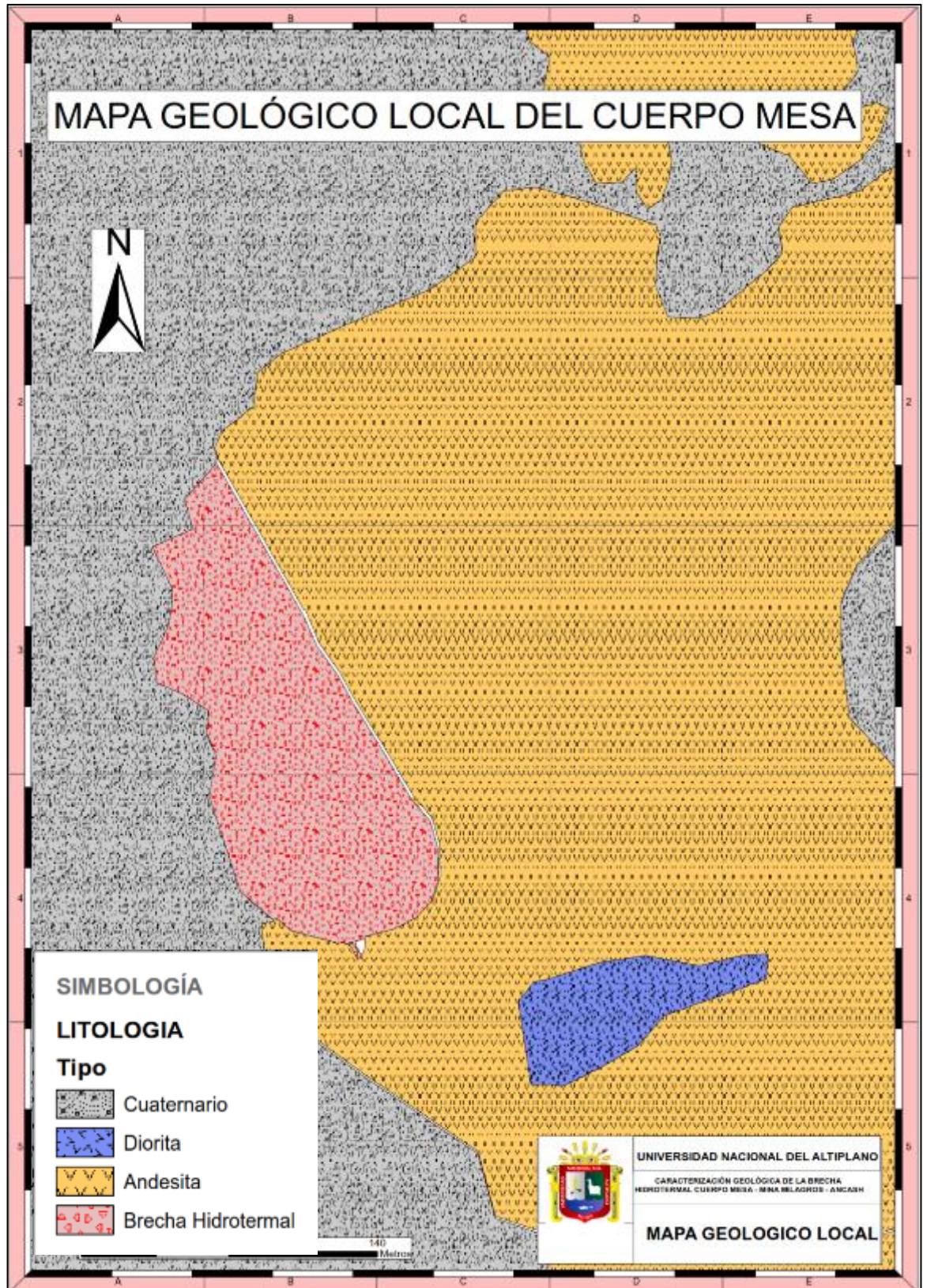
#### **4.3.4 Depósitos Cuaternarios (Q)**

Los depósitos de edad cuaternaria constan de materiales geológicos de origen coluvial, eluvial y aluvial, ver figura 25 y 26.



Cuerpo Mesa

Figura 25. Columna Estratigráfica.



*Figura 26.* Mapa geológico local de la zona de estudio.

## CAPÍTULO V

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 5.1 LITOLOGÍA, GEOLOGIA ESTRUCTURAL Y GEOQUÍMICA DEL CUERPO MESA

Los resultados que se muestran en las siguientes páginas se hicieron en tres niveles (3540, 3480 y 3440), que guardan características geológicas para explicar la ocurrencia de Cu en la zona de estudio.

##### 5.1.1 Cartografiado geológico del nivel 3,440

Este nivel muestra 02 litotipos, siendo estos los que están directamente vinculados a la mineralización por su nivel de receptividad frente a fluidos hidrotermales, el cual ocurrió mediante el emplazamiento de estructuras permeables (fallas). Se determinó que la mineralización, presenta una orientación con tendencia de 320°NE y las estructuras permeables que dieron origen a la mineralización de la Brecha Hidrotermal (BXH), tienen una tendencia promedio de 65°NE.

La BXH matriz soportada, se encuentra constituida por fragmentos con formas angulosas a sub angulosas de andesita porfirítica, lo cual determina la distancia desde el origen del fluido (Fallas permeables); presenta matriz con cemento de cuarzo y sulfuros, la mineralización está vinculada a la matriz de la brecha, siendo esta la más importante en el sistema de mineralización. Los clastos subangulosos de andesita porfirítica contienen hornblendas, clastos albitizados fuertemente y silicificación moderada, mineralización de cp intercrecidas con po y mrm que se presenta en trazas. Algo que mencionar en este nivel, es la ocurrencia de granates (grosularias) hacia el norte del Cuerpo Mesa.

En la figura 27, se tiene una muestra de mano de brecha hidrotermal, tomada de un frente de exploración; en el cual se observa una brecha hidrotermal matriz soportada

de cuarzo, polvo de roca de fragmentos de andesita porfírica albitizados. Los clastos se encuentran angulosos a sub redondeados con fuerte albitización y fuerte silicificación de 7 cm, se tiene un ensamble mineralógico de pirrotita intercrecida con calcopirita en proporción y puntualmente marmatita, esta muestra es típica de la brecha hidrotermal de media a alta ley, también contiene cloritas en parches en contacto de clasto y matriz, ver figura 27.



**Figura 27.** Muestra de mano A Nivel 3440

En la figura 8, se muestra una brecha hidrotermal del cuerpo mesa, de un frente de exploración que corresponde a la transición entre la matriz de cuarzo y granate (ver figura 28); esta brecha es matriz soportada de cuarzo\_granates, clastos angulosos de 30 cm a 50 cm con fuerte albitización y silicificación moderada, que indica el alejamiento entre el feeder de la falla Zorro. El ensamble mineralógico en este nivel es de pirrotita intercrecida con calcopirita y eventualmente presenta marmatita de manera puntual; estas características de mineralización indican sectores de ley moderada a alta ley del cuerpo Mesa (zona norte); en los contactos entre la matriz y clastos se forman halos de clorita, ver figura 28 y 29.



***Figura 28.*** Brecha hidrotermal con matriz de cuarzo granates.

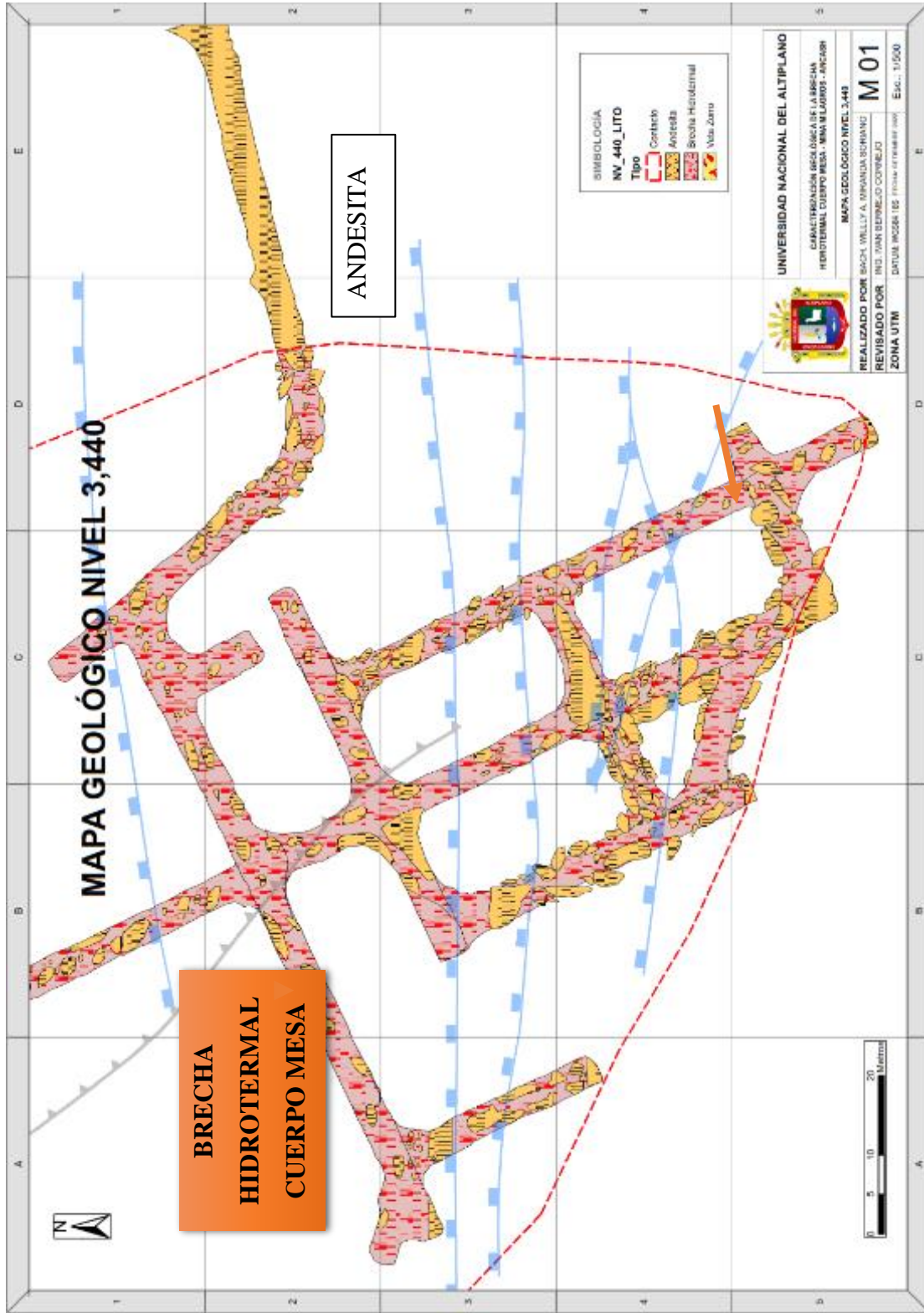


Figura 29. Mapa geológico nivel 3,440



### 5.1.2 Cartografiado geológico del nivel 3,480

Contiene 02 litotipos, que están directamente relacionados a la mineralización por su nivel de receptividad frente a fluidos hidrotermales, en este nivel se determinó que la mineralización presenta una tendencia de  $315^{\circ}\text{NE}$  y las estructuras permeables que dieron origen a la mineralización de una Brecha Hidrotermal (BXH), presentan una tendencia promedio de  $66^{\circ}\text{NE}$ . La BXH, se encuentra constituida por fragmentos de forma angulosas a sub angulosas; puntualmente se tienen en las zonas de mineral marginal clastos considerablemente grandes mayores a 5 metros los que diluyen el mineral y convierten estas zonas en no minables, estos clastos grandes presentan las alteraciones típicas con colores blancos por la propilitización y albitización de venillas de epidota y diópsido. Los tamaños de bloques determinan la distancia desde el origen del fluido; esta BXH, presenta matriz con cemento de cuarzo y sulfuros, la mineralización está vinculada a la matriz de la brecha, siendo esta la más importante en el sistema de mineralización, el cual contiene calcopirita y marmatita. En este nivel se observa que el incremento de plata está relacionado directamente con el incremento de cobre; en la conjunción de las fallas normales (sector sur oeste) se observa una zona de mineralización de alta ley de cobre ( $>2\%$ ) pegada a las fallas principales y sobre todo a Falla Zorro por donde se tiene un evento posterior a la mineralización, el cual contiene arsenopirita y marcacita como minerales principales, estos sectores son blendeados.

Las muestras de mano de brecha hidrotermal de un frente de preparación, en el cual la brecha hidrotermal de matriz soportada presenta cuarzo lechoso con fragmentos de andesita porfírica alterados con albitización como polvo de roca, los clastos son angulosos con fuerte albitización y fuerte silicificación de 05 a 07 cm. Se tiene un ensamble mineralógico de sulfuros masivos como calcopirita que tiene mayor ocurrencia que la pirrotita y puntualmente marmatita en parches; algo que caracteriza a



estos sectores es la silicificación intensa en los clastos, lo que indica la cercanía con el feeder, en cuanto a la mineralización este tipo de muestras es típica de la zona de alta ley, ver figura 30.



**Figura 30.** Muestra de mano Nivel 3,480.

En la siguiente figura se representa un clasto de diorita hornbléndica alterado, que hacia el centro genera halos gradacionales de albitización; en centro del clasto todavía se observa una roca más fresca con composición diorita hornbléndica. En este nivel se tienen venillas de hidrofracturamiento (cuarzo y diópsido) que cortan a la matriz de la brecha y clastos, lo que indica un evento posterior a la mineralización, también existen también venillas con sulfuros de calcopirita y pirrotita, parches de clorita como halo en el clasto, las leyes en estos sectores son bajas, ver figura 31.



**Figura 31.** Clasto de diorita hornbléndica alterado con albitización.

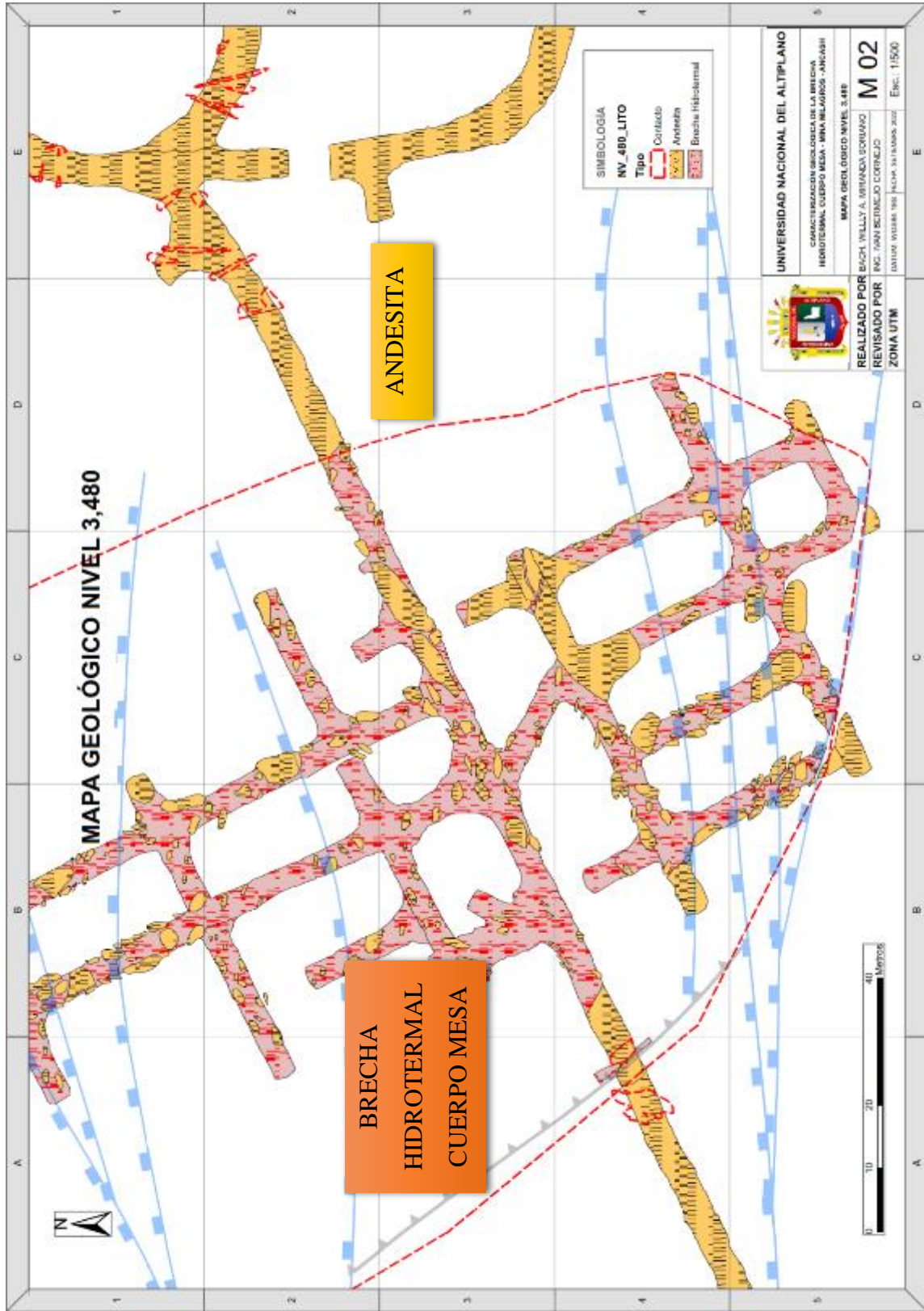


Figura 32. Mapa geológico nivel 3,480.



### 5.1.3 Cartografiado geológico del nivel 3,540

Este nivel presenta 03 litotipos la andesita porfírica, la diorita hornbléndica y la brecha hidrotermal; siendo dos de ellos que están directamente vinculados a la mineralización; esta presenta una tendencia de 320°NE y las estructuras permeables presentan una tendencia promedio de 65°NE. La BXH, se encuentra constituida por fragmentos de formas angulosas y puntualmente se encuentran clastos mayores a 4 metros (zona de baja ley), presenta matriz con cemento de cuarzo y sulfuros. En este nivel se tienen granates en la matriz en zonas de transición y en aquellos sectores alejados de la falla Zorro, la mineralización está vinculada a la matriz de la brecha en donde ocurren sulfuros secundarios y óxidos; la matriz tiene alto contenido de calcopirita lo que hace a esta una zona de alta ley. Existe como ganga pirrotita que se encuentra intercrecidas con la calcopirita y marmatita, también en este nivel se encuentra la relación geoquímica del cobre y la plata en donde a mayor cantidad de cobre se tiene mayor cantidad de plata. Al este de la zona mineralizada se observa ocurrencias de diorita hornbléndica la cual es encajonada por andesita porfírica; dentro del cuerpo Mesa también hay relictos de diorita, pero son puntuales y se relacionan a estructuras geológicas normales.

En la figura 33 se observan la brecha hidrotermal clasto soportada con matriz de cuarzo, polvo de roca de fragmentos de andesita porfírica de 10 cm a 2 cm con formas angulosas y alteradas con albitización – silisificación. En este nivel se observan también clastos mayores a 3 metros de diorita hornbléndica con formas angulosas con moderada albitización y moderada silicificación, se tiene un ensamble mineralógico en matriz de calcopirita intercrecida con pirrotita y puntualmente marmatita, esta muestra es típica de la brecha hidrotermal de alta ley. La brecha en este nivel tiene una potencia de 35 cm, el cual varía longitud en algunos tramos y tiene como roca caja a diorita hornbléndica, presenta fracturamientos paralelos a la falla Zorro, en la caja techo la diorita presenta mayor alteración. En la caja piso se encuentran xenolitos de andesitas

que son retrabajados, en el cual no se puede observar la presencia de hornblenda, esto para caracterizar a esta litología como una dorita, ver figura 33.



**Figura 33.** Brecha Hidrotermal del Nivel 3,540.

En la figura 34 se muestra la brecha hidrotermal del cuerpo Mesa de alta ley, matriz soportada de cuarzo, polvo de roca de andesita porfírica alterados con albitización (menores a 2 cm). Los clastos presentan formas sub angulosos con fuerte albitización y fuerte silicificación, se tiene un ensamble mineralógico de calcopirita intercrecidas con pirrotita-marmatita, los sectores con estas características mineralógicas son de alta ley. La marmatita se presenta diseminada de manera puntual y con tamaños menores a 2 mm, se presume que puede haber sido un evento singenético a la silicificación. Ver figura 34.



**Figura 34.** Brecha hidrotermal de alta ley.

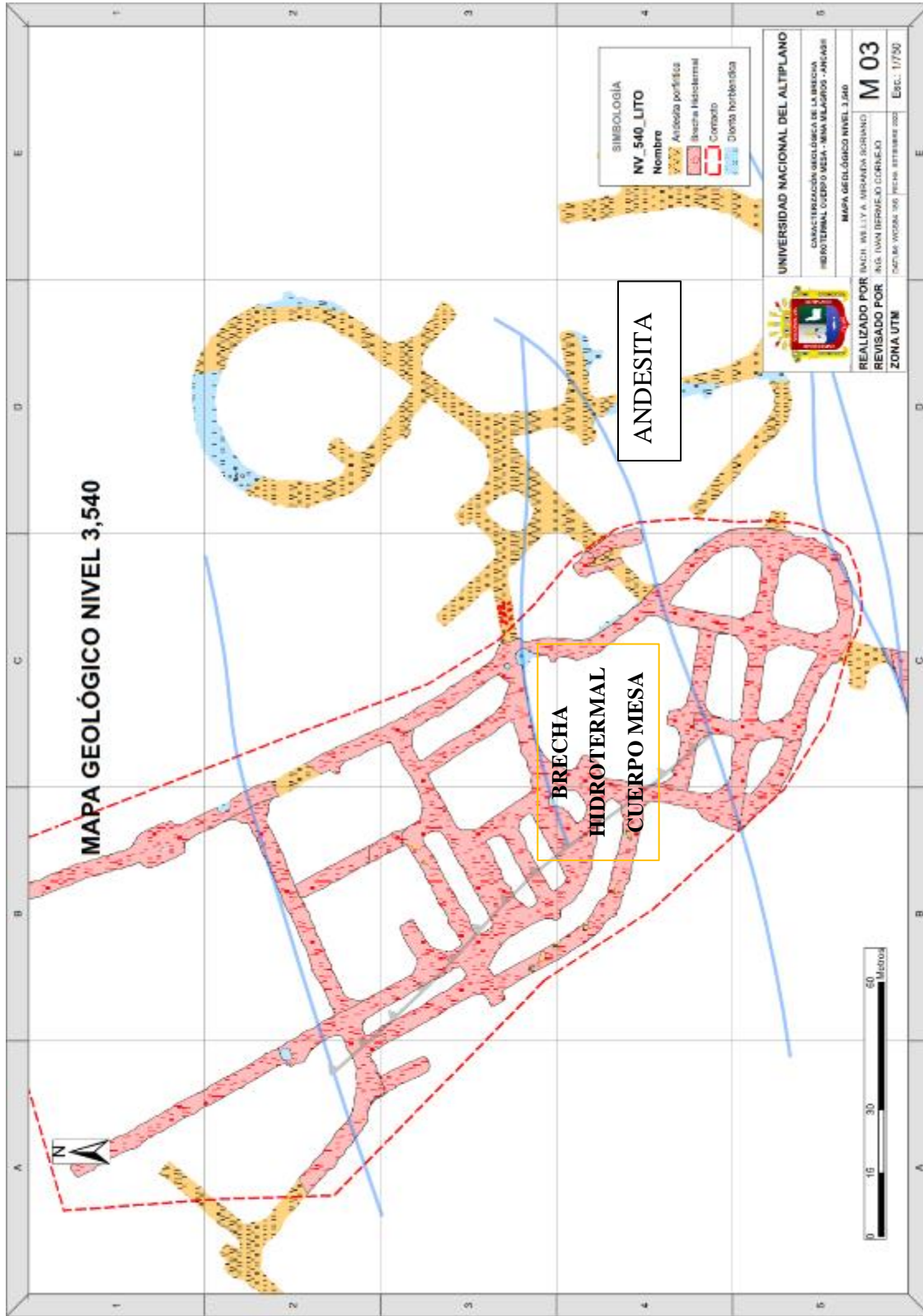


Figura 35. Mapa geológico nivel 3,540.

#### 5.1.4 Cartografiado Estructural Nivel 3,440

Para el cartografiado estructural en este nivel, se recolectaron datos en 3 ventanas de exploración y 3 ventanas de preparación 1 galería de contacto y 1 crucero (ver figura 24); en cuya interpretación estructural se ha determinado la influencia de 04 fallas normales (Nx) y 01 falla de tipo Inversa (Ix), la tendencia de las fallas normales mantiene un trend de  $80^{\circ}\text{NE}$  y la falla de tipo inversa de  $305^{\circ}\text{NE}$ ; todas cortan a brechas y andesitas. En este nivel se ha determinado, que la falla normal ubicada al Sur (Falla Zorro), es la principal y más permeable, la cual permitió la mineralización por emplazamiento de fluido hidrotermal, a partir de un hidrofracturamiento debido a la presión ejercida en la roca volcánica Andesita Porfírica (ANP), cabe resaltar que el fluido hidrotermal tuvo un ascenso por presión y temperatura, siendo las fracturas abiertas y/o permeables las que canalizaron el emplazamiento, dando origen a un cuerpo de brecha con dimensiones que varían entre  $\pm 200 / \pm 100$  metros. El cuerpo de Brecha, con matriz soportada, presenta características variables, sobre todo diferenciándose por el tipo y dimensión de los clastos, siendo más pequeños en los centros de origen (Cercanas las fallas Normales) y de tamaños mayores en las partes lejanas. En el proyecto las estructuras más importantes se encuentran enmarcadas por estas dos tendencias principalmente y el análisis estructural está enfocado a una estadística poblacional de las mismas recolectadas en este nivel, ver figura 24.

En la figura 36 se observan venillas de espesores milimétricos de cuarzo, paralelas, las cuales se encuentran rellenando fracturas en un clasto de andesita porfírica; estas venillas son producto de las fracturas hechas por el hidrofracturamiento sinéctico a la formación de la brecha hidrotermal. A partir de estas venillas se generan los halos de albitización en los clastos de andesita porfírica, que muestra en sectores

una textura tipo parches de clorita; perpendicularmente existen otras familias de venillas con la misma composición mineralógica, pero los espesores son menores a 1 milímetro.



**Figura 36.** Venillas de cuarzo en el Nivel 3,440.

En la figura 37 se muestra la falla Zorro tomada en una de las ventanas de exploración al sur del cuerpo Mesa, ésta tiene relleno de panizo con potencia de 10 centímetros y el cual ésta relleno con sulfuros (arsenopirita, marcacita, calcopirita y pirrotita). El ensamble que se observa dentro de la falla es un evento posterior a la mineralización ya que no influye en la mineralización de la brecha hidrotermal. Aquí ocurre un halo alrededor de la zona de falla que deja el resto de la brecha libre de “contaminantes” por arsénico; esta falla tiene una dirección de  $65^\circ$  e inclinación de  $70^\circ$  al Norte. La longitud de la falla alcanza más de 200 m en este nivel, el cual se corrobora por interceptos en el crucero principal y el cuerpo de brecha, ver figura 38.



**Figura 37.** Falla Zorro en el nivel 3,440.

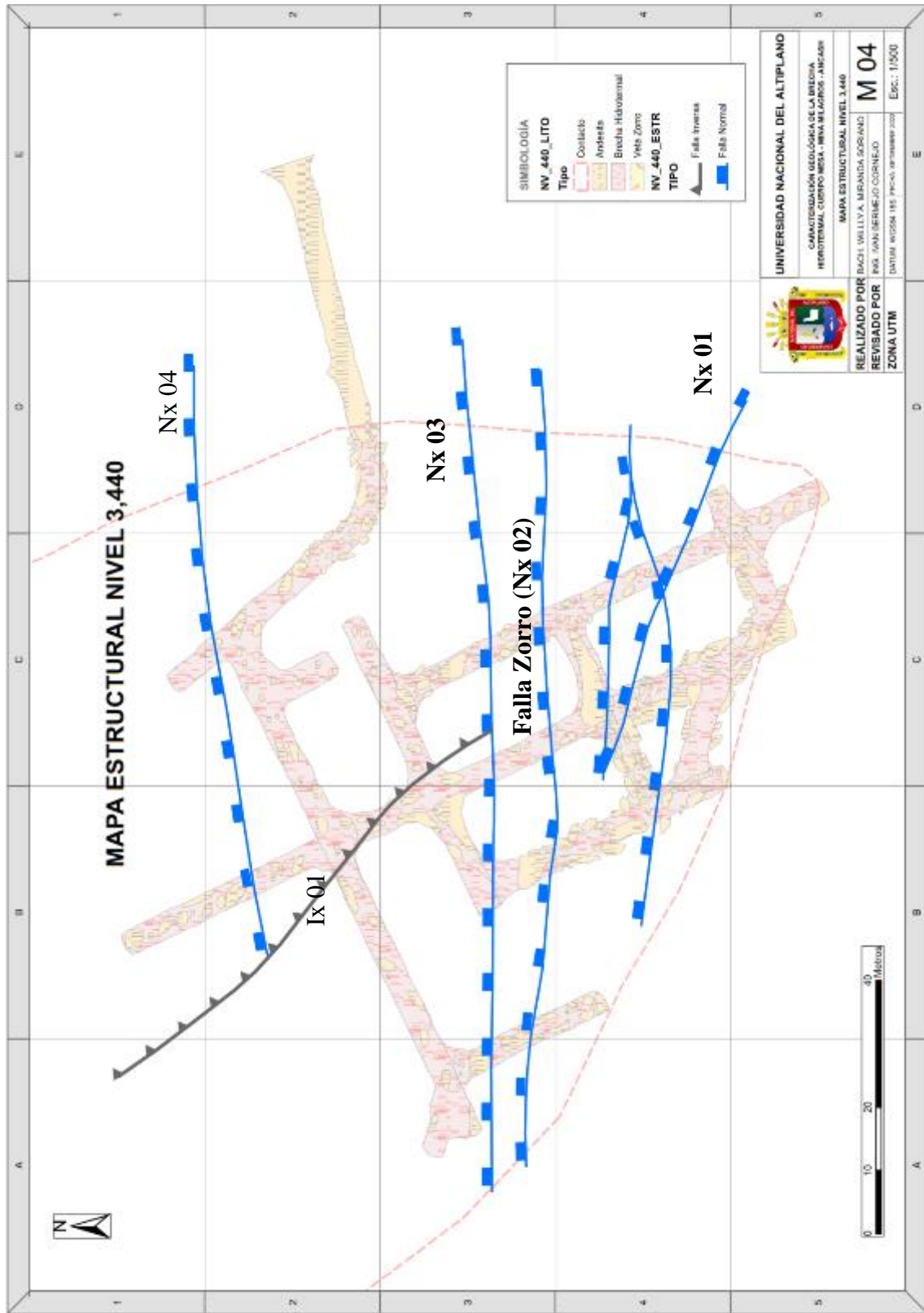


Figura 38. Mapa estructural - Nivel 3,440.



### 5.1.5 Cartografiado Estructural Nivel 3,480

Para el cartografiado estructural en este nivel, se recolectaron datos en las diferentes ventanas de este nivel (Rumbo y buzamiento), los cuales están incluidos en los ANEXOS. En el proceso de interpretación estructural en gabinete, se ha determinado la influencia de 04 fallas normales (Nx) y 01 falla de tipo Inversa (Ix), la tendencia de las fallas Normales mantiene un TREND de 65°NE y la falla de tipo Inversa de 320°NE, ver figura 26. Se ha determinado también que la falla normal ubicada al Sur (Falla Zorro), es la principal y más permeable a la mineralización por emplazamiento de fluido hidrotermal, el cual origina la brecha hidrotermal por hidrofracturamiento debido a la presión ejercida sobre la andesita porfirítica. El cuerpo de Brecha, con matriz soportada, presenta características variables, sobre todo diferenciándose por el tipo y dimensión de los clastos, siendo más pequeños en los centros de origen (Cercanas las fallas Normales) y de tamaños mayores en las partes lejanas. En el proyecto las estructuras más importantes se encuentran enmarcadas por estas dos tendencias principalmente y el análisis estructural está enfocado a una estadística poblacional de las mismas recolectadas en este nivel, ver figura 40.

Se muestra en la figura 39, toma de datos estructurales en la falla Zorro con una brújula de tipo Brunton azimutal, en el punto se tiene una potencia de falla de 55 cm con panizo y sulfuros. Con alto contenido metálico asociado a la calcopirita intercrecida con pirrotita, arsenopirita y marcacita.



**Figura 39.** Toma de datos en falla Zorro del Nivel 3,480.

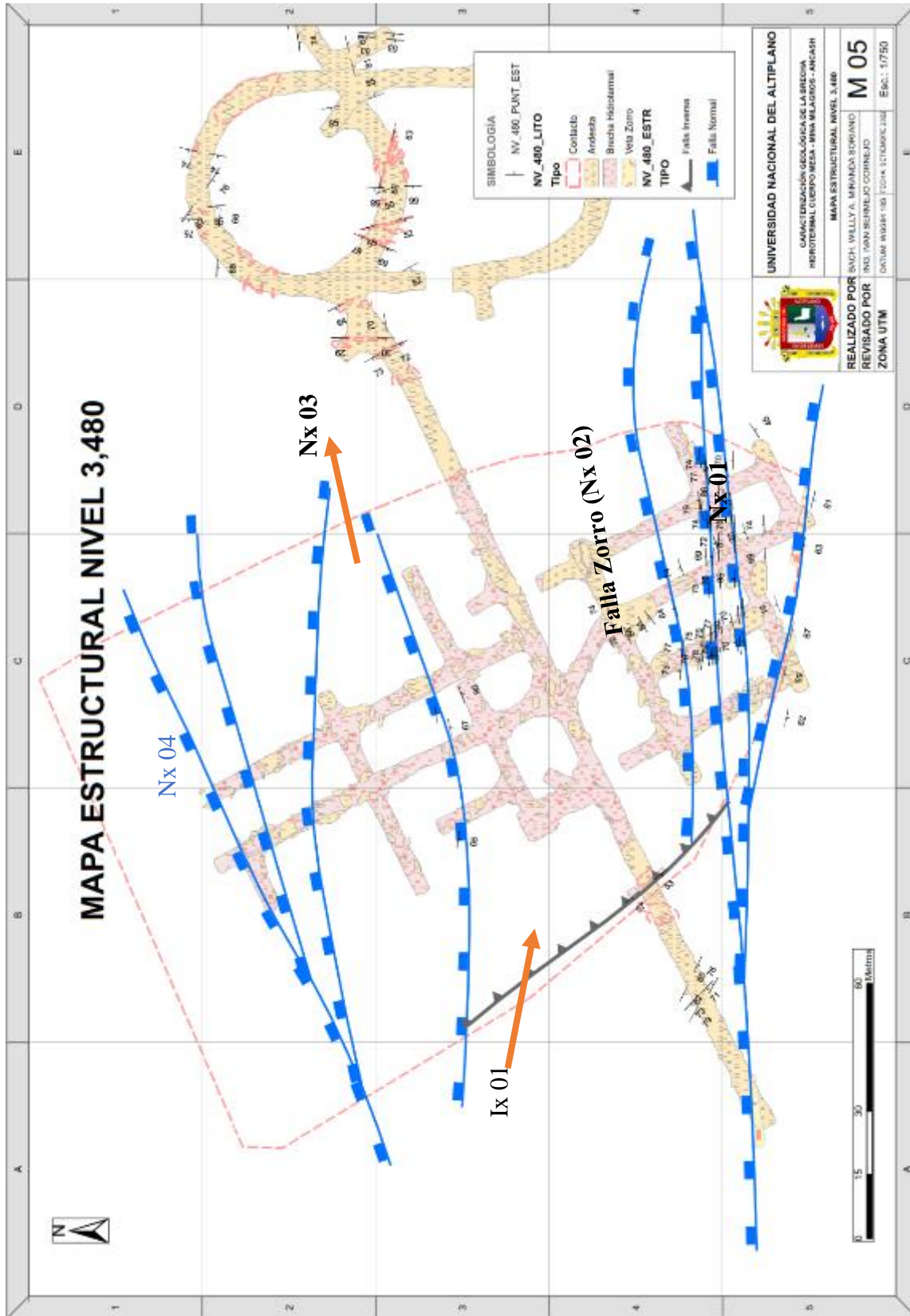


Figura 40. Mapa estructural - Nivel 3,480.

### 5.1.6 Cartografiado Estructural Nivel 3,540

Se recolectaron datos en las diferentes ventanas de este nivel (Rumbo y buzamiento), estos fueron procesados y se han determinado la influencia de 04 fallas normales (Nx) y 01 falla de tipo Inversa (Ix), la tendencia de las fallas Normales mantiene un TREND de 65°NE y la falla de tipo Inversa de 320°NE. Se ha determinado también que la falla normal ubicada al Sur (Falla Zorro), es la principal y más permeable. El cuerpo de Brecha, con matriz soportada, presenta características variables, sobre todo diferenciándose por el tipo y dimensión de los clastos, siendo más pequeños en los centros de origen (Cercanas las fallas Normales) y de tamaños mayores en las partes lejanas. En el proyecto las estructuras más importantes se encuentran enmarcadas por estas dos tendencias principalmente y el análisis estructural está enfocado a una estadística poblacional de las mismas recolectadas en este nivel.

En la figura 41, se expone la falla Zorro con relleno de panizo y calcita, esta se tiene una potencia de falla de 15 cm con panizo y sulfuros. Aquí el contenido metálico es alto y está asociado a la calcopirita intercrecida con pirrotita, arsenopirita y marcacita; al piso y techo se muestra la brecha hidrotermal mineraliza con alta ley de cobre, al estar en contacto con la falla Zorro que tiene arsenopirita como relleno, se tiene una zona de mineral alterado y no económico. Según datos de explotación se puede minar estos sectores, para tener un mínimo de contaminante en el procesamiento de planta. En esta zona la estructura geológica tiene una dirección de 75 ° de azimut y 55 ° de inclinación hacia el Norte, lo que demuestra inflexiones que tiene esta falla a lo largo de los diferentes niveles, como se muestra en la fotografía en el Nivel 3.540 de la figura 41.



**Figura 41.** Falla Zorro en el Nivel 3,540.

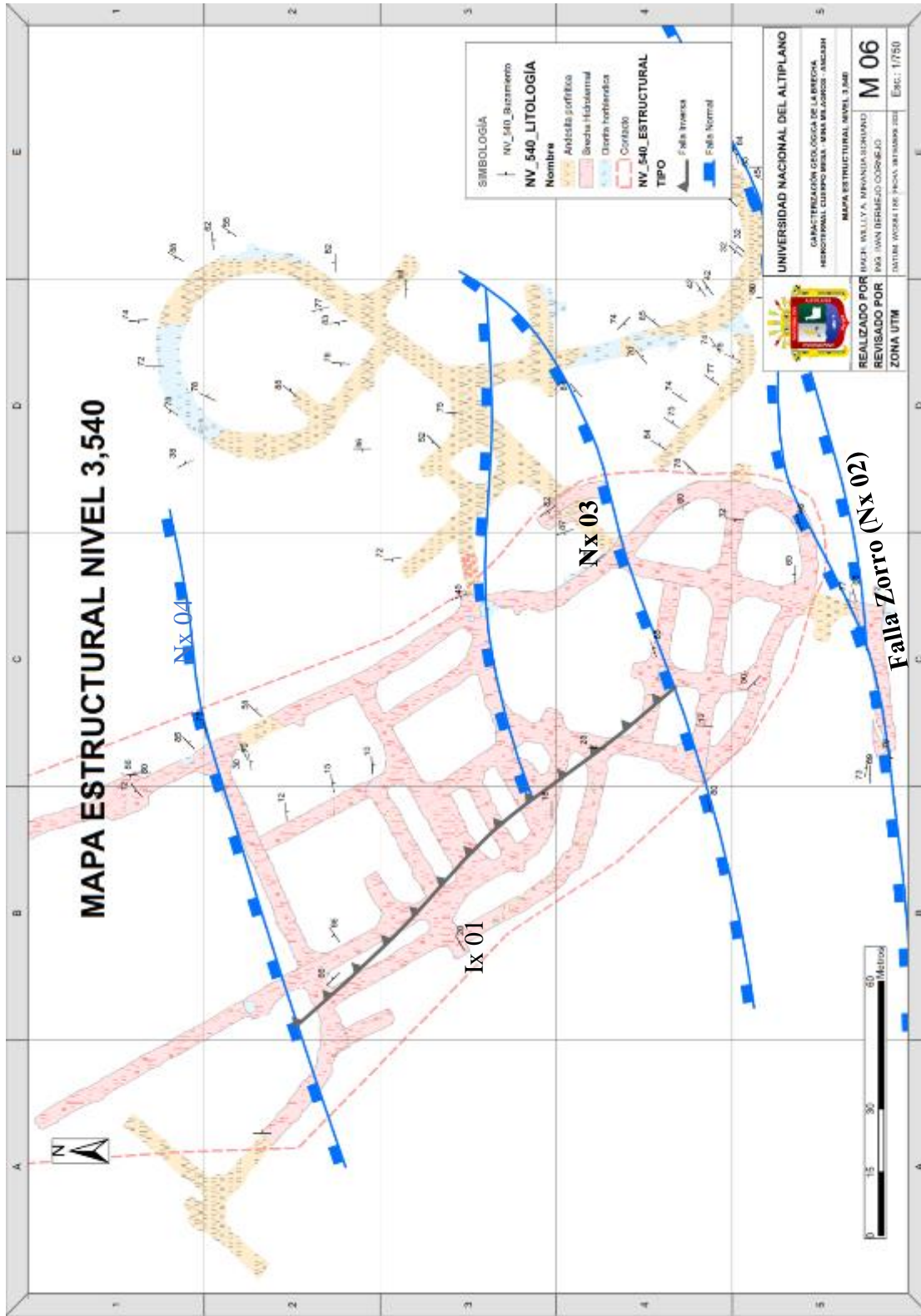


Figura 42. Mapa estructural - Nivel 3,540.



### **5.1.7 Muestreo geoquímico.**

El muestreo geoquímico se realizó en los tres niveles estudiados 3,440; 3,480 y 3,540 en donde se tomaron 37500 muestras de taladros exploratorios radiales en las labores de exploración y preparación de estos.

### **5.1.8 Análisis geoquímico de muestras en el nivel 3,440**

El análisis geoquímico de muestras en el nivel 3,440, se realizó en base a taladros largos (Blastholes), adaptados a minería subterránea, el alcance máximo de estos taladros el 21.5 metros de forma radial y como eje los límites de la bóveda de la labor subterránea, cada muestra está representada por un punto con coordenadas y con un espaciamiento de 1.2 metros entre cada muestra. Para el tipo de depósito y las necesidades del proyecto se determinó que los rangos económicos en contenido se mantienen como estándar 1.0%Cu (Cut-Off). En el mapa (figura 44) se aprecia los diferentes rangos que representan cada una de las muestras, utilizando un filtro gradacional con colores que están estandarizadas de acuerdo al cuadro en las leyendas del mapa, estos rangos representan los diferentes interceptos por cada sondaje y se aprecia sectores con alta concentración, que serán determinados como mineralizados con leyes económicas rentables para el proceso de explotación, cabe resaltar que los sectores con interceptos que representan leyes menores a las del estándar (1.0%Cu), se consideran también rentables para el proceso de blending para una explotación continua con la ley establecida como Cut-Off, ver figura 28. En la figura 43 se muestra la sección 39 marcada por topografía y la huella del sondaje exploratorio realizado días atrás en esta sección, de donde se toman los datos necesarios para la exploración de este nivel, ver figura 43.



**Figura 43.** Muestreo geoquímico, sección 39 con taladro de exploración.

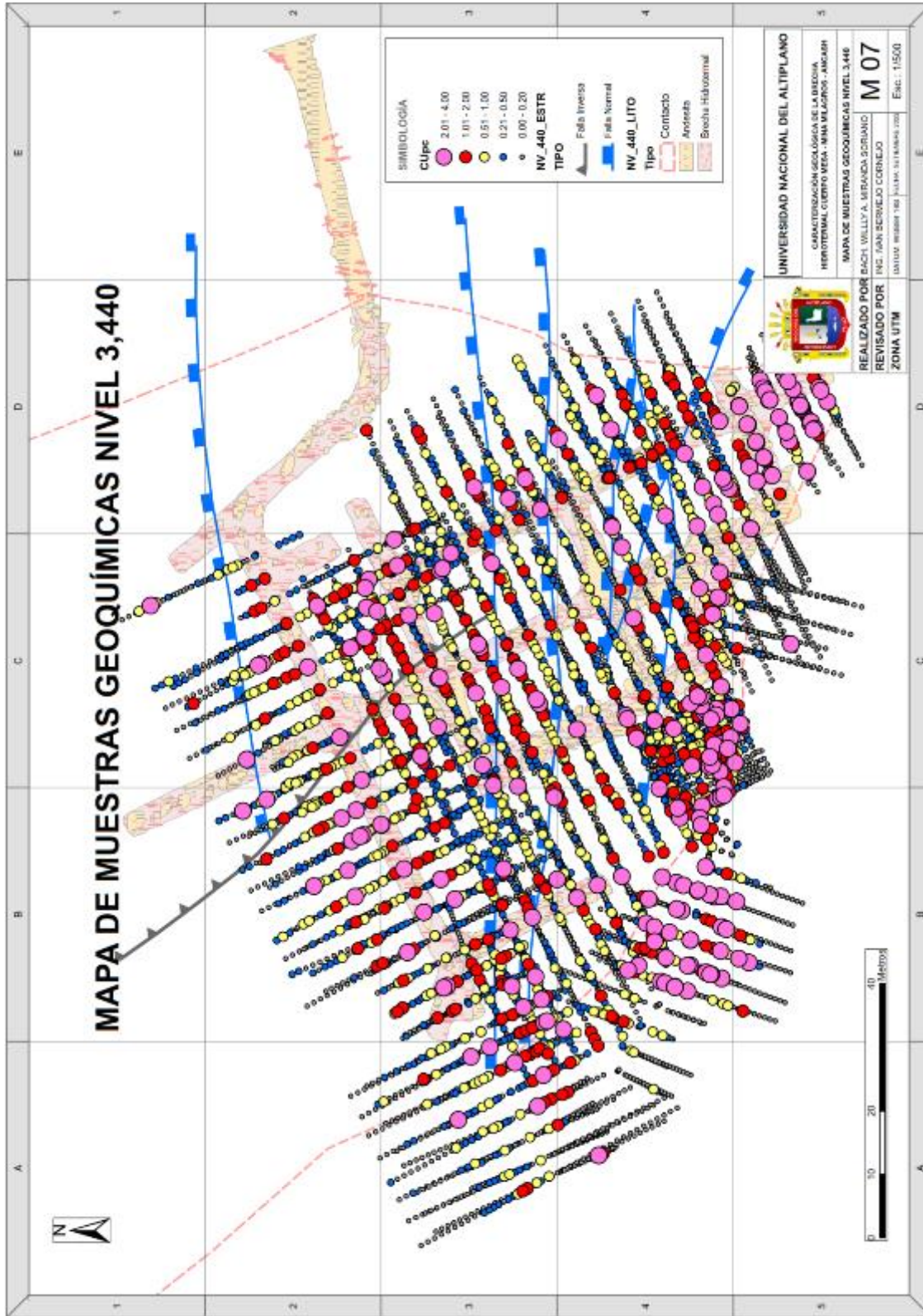


Figura 44. Mapa de muestras geoquímicas nivel 3,440.

### 5.1.9 Análisis geoquímico de muestras en el nivel 3,480

El análisis geoquímico de muestras en el nivel 3,480, se realizó a partir del procesamiento de resultados geoquímicos obtenidos de taladros largos (BLASTHOLES), estos fueron adaptados al tipo de minería que se aplica en Minera SHUNTUR (labores subterráneas). Las muestras procesadas se encuentran representadas por un punto con coordenadas (X, Y, Z) y a su vez representa un intercepto lineal de 1.2 metros; de acuerdo al sistema mineralizado y tipo de depósito, se ha determinado un rango económico minable de 1.0% Cu (Cut-Off). En el mapa se aprecia de forma visual la distribución espacial de las muestras, también se ha considerado un rango de colores estándar con dimensiones circulares en forma gradacional, que indica según su diámetro el tenor del intercepto. También podemos visualizar que la concentración de los interceptos económicos se encuentran distribuidos en los sectores Sur-Oeste del nivel 3,480, en algunas ventanas y cruceros la mineralización tiene una distribución dispersa; cabe resaltar que los sectores de gran acumulación son los que representan targets con potencial de explotación y en este estudio nos enfocaremos en ellos, ver figura 29. En figura (foto) se puede observar la huella de los blastholes.

En este nivel se tienen valores en intervalos entre 2.0% y 4.0% de Cu que están asociados directamente a la falla Zorro como feeder, al sur del cuerpo Mesa; aquí la falla actuó como trampa estructural en donde se emplazó la mineralización; se observa también que entre las fallas normales feeder de la mineralización, se tiene una zona de baja ley a marginal. Ya en el Norte del cuerpo se tiene otra acumulación de mineral de alta ley en la falla normal 4 con sus respectivos halos de influencia. En la figura 45, se verifica la desviación de los sondajes de manera visual en el campo (fotografía en el Nivel 3.480).





**Figura 45.** Revisión de secciones de exploración Nivel 3,480.

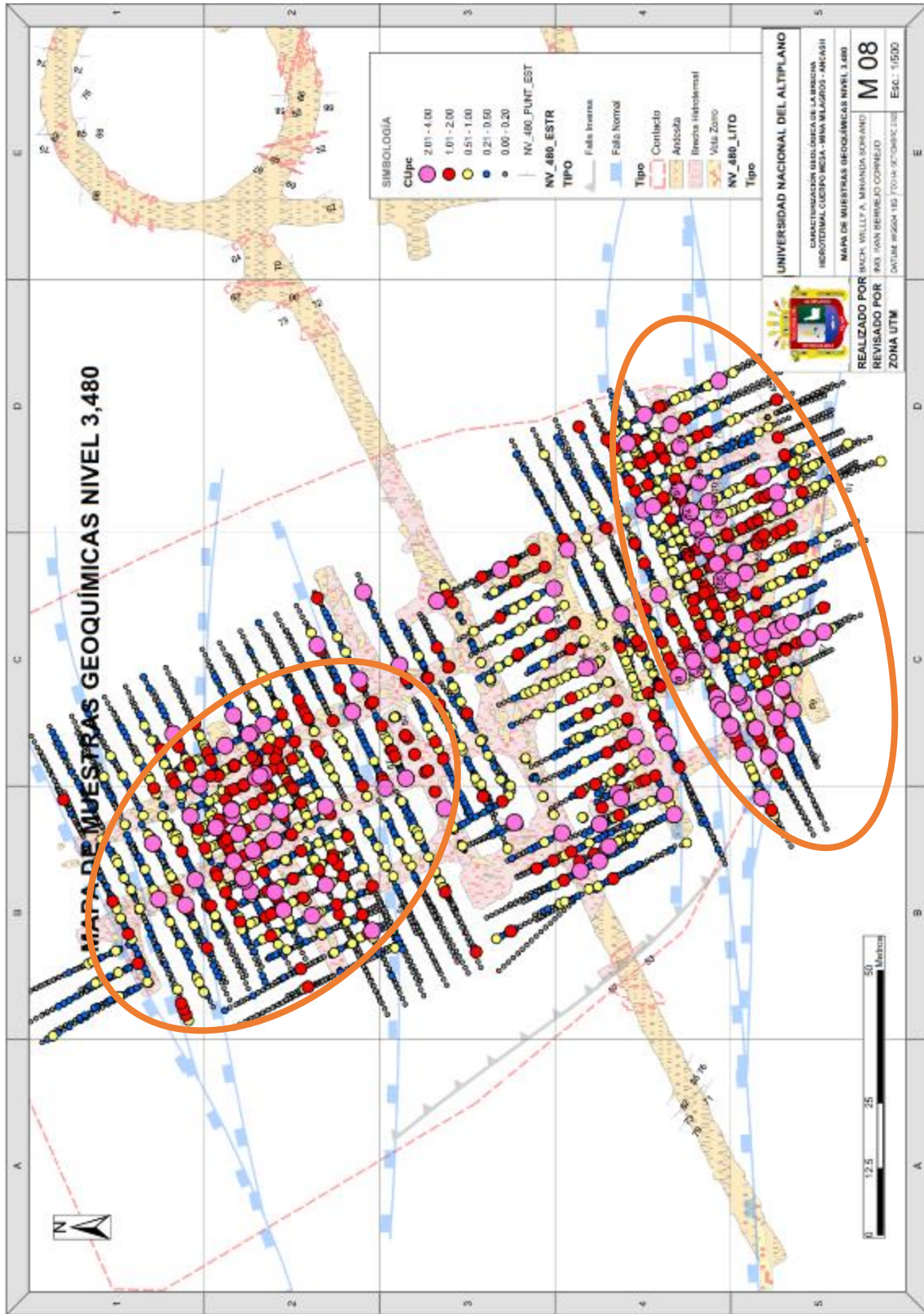


Figura 46. Mapa de muestras geoquímicas nivel 3,480



### 5.1.10 Análisis geoquímico de muestras en el nivel 3,540

Para el análisis en el nivel 3,540, se ha considerado el resultado del proceso de análisis de las muestras obtenidas a partir de la perforación de taladros largos en las diferentes ventanas y cruceros del nivel, estos taladros nos proporcionan información con valores numéricos que fueron procesados y validados. Este nivel como parte del mismo sistema mineralizado presenta características de mineralización similar al nivel 3,480 y por ende se ha determinado un Cut-Off minable de 1.0% de Cu. En el mapa se puede visualizar los sectores de acumulación y su distribución espacial, pero a diferencia del nivel anterior (3480) en este se puede identificar dos sectores de acumulación con interés y potencial de explotación, ubicados al sur y norte del nivel, ver figura 47. La falla Zorro en este nivel, controla la acumulación de mineral económico en donde se observan zonas con rangos de 2.00 a 4.00 % de Cu, al sur del cuerpo Mesa. Los cuerpos de alta ley siguen también una orientación Norte Sur de la falla inversa (Ix) como se observa en el mapa adjunto. La figura 47, se muestra el trabajo de topografía al levantar el collar y dirección de los sondajes exploratorios en este nivel, esto se amarra digitalmente a la geoquímica de sondajes BLASHOLE y se utiliza para la elaboración de todos los planos y modelos necesarios.



**Figura 47.** Levantamiento de sondajes blashole de muestras geoquímicas.  
Nivel 3540.

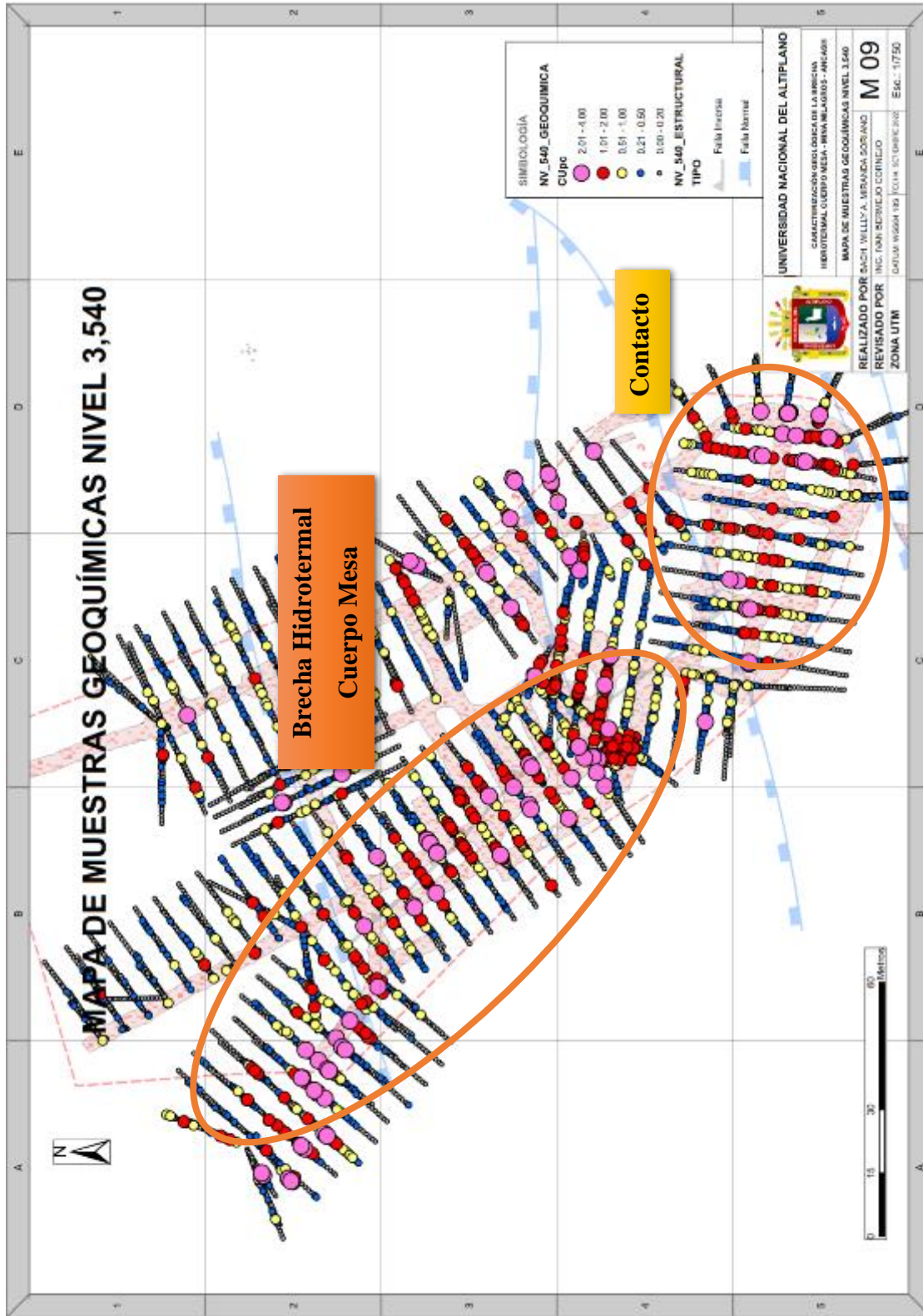
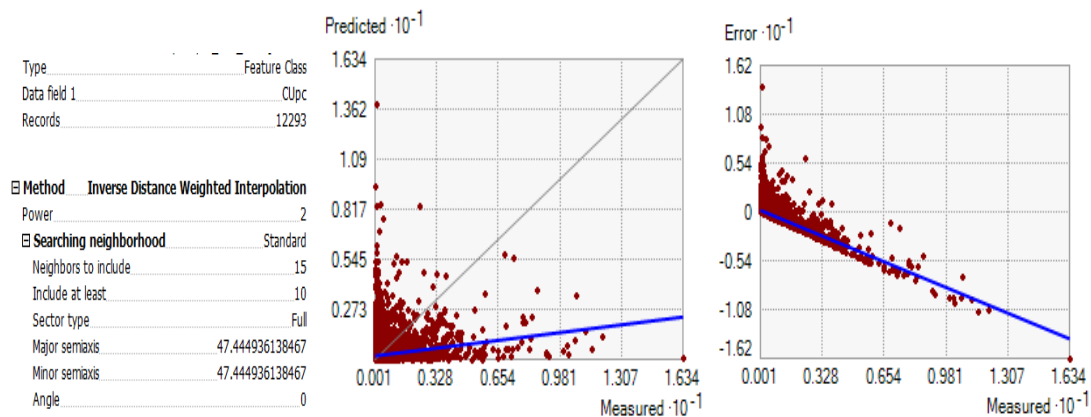


Figura 48. Mapa de muestras geoquímicas nivel 3,540.

### 5.1.11 Análisis de Interpolación Inverso a la Distancia (IDW) del nivel 3,440.

El análisis de interpretación IDW, para el nivel 3,440, se obtuvo del procesamiento de una población de muestras que se adjuntan en los ANEXOS, generando resultados de interpolación de datos para el total de muestras recolectadas en el nivel, este análisis tiene los siguientes parámetros, ver figura 49:



**Figura 49.** Análisis de interpolación IDW de población para el nivel 3,440.

Para el nivel 3,440, se han procesado 12,293 muestras con interceptos de Cu%, este análisis interpretativo nos proporciona los siguientes resultados:

De acuerdo al cuadro de rango de colores para la interpolación de tipo IDW, se puede visualizar que el intervalo (1.2 a 4.2% de Cu) delimita los sectores de leyes por encima del rango económico minable establecido (1.0% Cu) y el intervalo de 0.27 a 1.2% delimita los sectores que se utilizarán para el blending en el proceso de explotación.

También se puede corroborar la influencia de las estructuras permeables y la dirección de emplazamiento en el contacto Sur de la brecha y la andesita porfirítica, ambas relacionadas a la falla Zorro (Nx), generando un modelo estructural que se vincula directamente al proceso de génesis de la brecha mineralizada, ver figura 50.

Por efectos de contaminación en los taladros que son horizontales, se observa sectores dispersos en los bordes de la brecha los cuales se discriminan por el mapeo geológico.

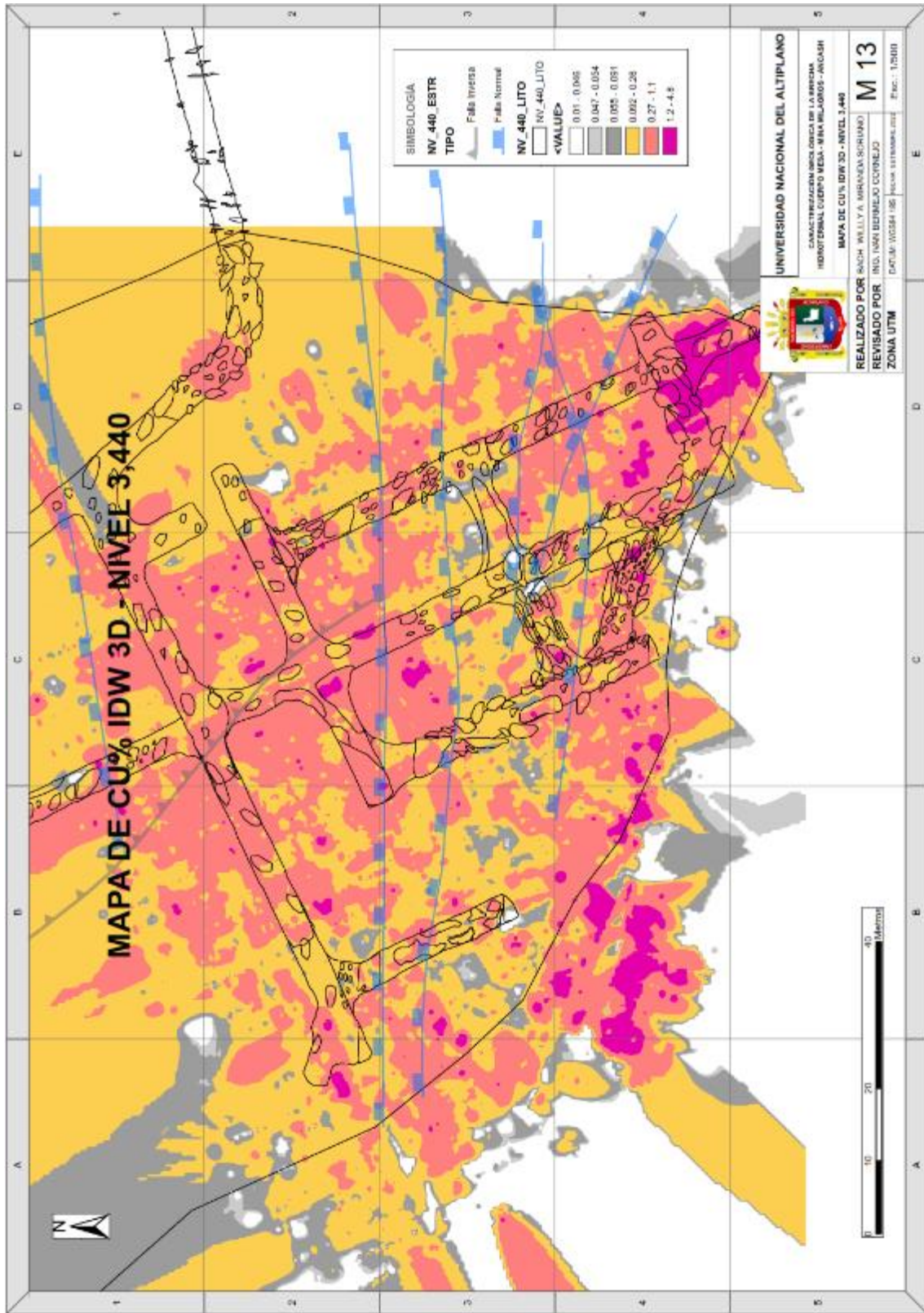
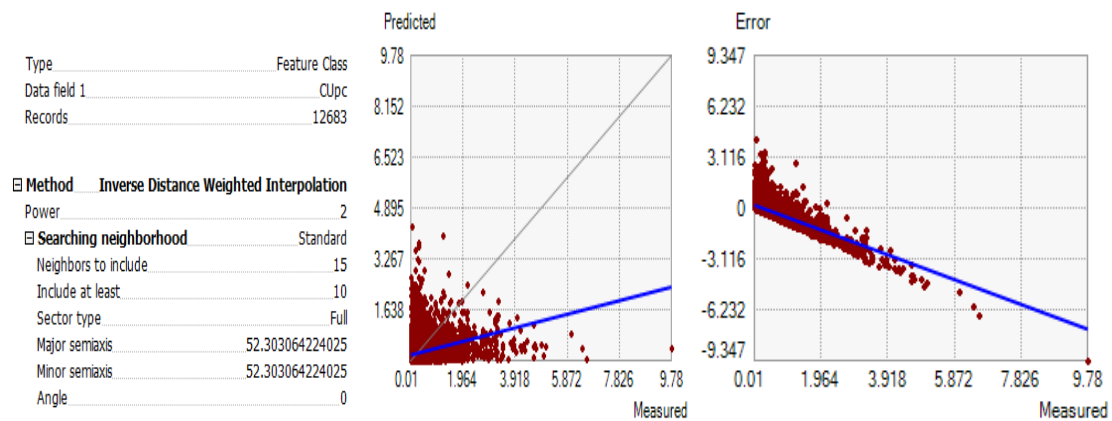


Figura 50. Mapa de Cu% IDW 3D - Nivel 3,440.

### 5.1.12 Análisis de Interpolación Inverso a la Distancia (IDW) del nivel 3,480

Para el nivel 3,480 se ha determinado utilizar el mismo método de interpolación IDW, debido a que presenta las mismas características geológicas y la mineralización corresponde a la proyección de los niveles inferiores, por lo que se ha logrado procesar la población general de muestras obtenidas del proceso de perforación de taladros largos y se utilizaron los siguientes parámetros, ver figura 51:



**Figura 51.** Análisis de interpolación IDW de población para el nivel 3,480.

Para el nivel 3,480, se han procesado 12,683 muestras con interceptos de Cu%, este análisis de forma interpretativa nos proporciona los siguientes resultados:

De acuerdo al cuadro de rango de colores para la interpolación IDW, se puede visualizar que el color magenta (1.2 a 4.5%) delimita los sectores de leyes por encima del rango económico minable establecido (1.0%Cu) y el color rojo (0.27 a 1.1%), delimita los sectores minables que se utilizarán para el blending en el proceso de explotación. Cabe mencionar que la zona minable de alta ley se encuentra en la trampa estructural, entre la falla Zorro y la falla normal (Nx1).

En sector Noreste del cuerpo Mesa, se observa una zonalidad de alta ley generada por la interpolación, la cual es cortada por un cruce del nivel 3480; allí se observa que es la roca caja que no tiene mineralización; estos sectores son discriminados por mapeo geológico.





También se puede corroborar la influencia de las estructuras permeables y la dirección de emplazamiento de la brecha vinculada a la falla Inversa (Ix), generando un modelo estructural que se vincula directamente al proceso de génesis de la brecha mineralizada, ver figura 52.

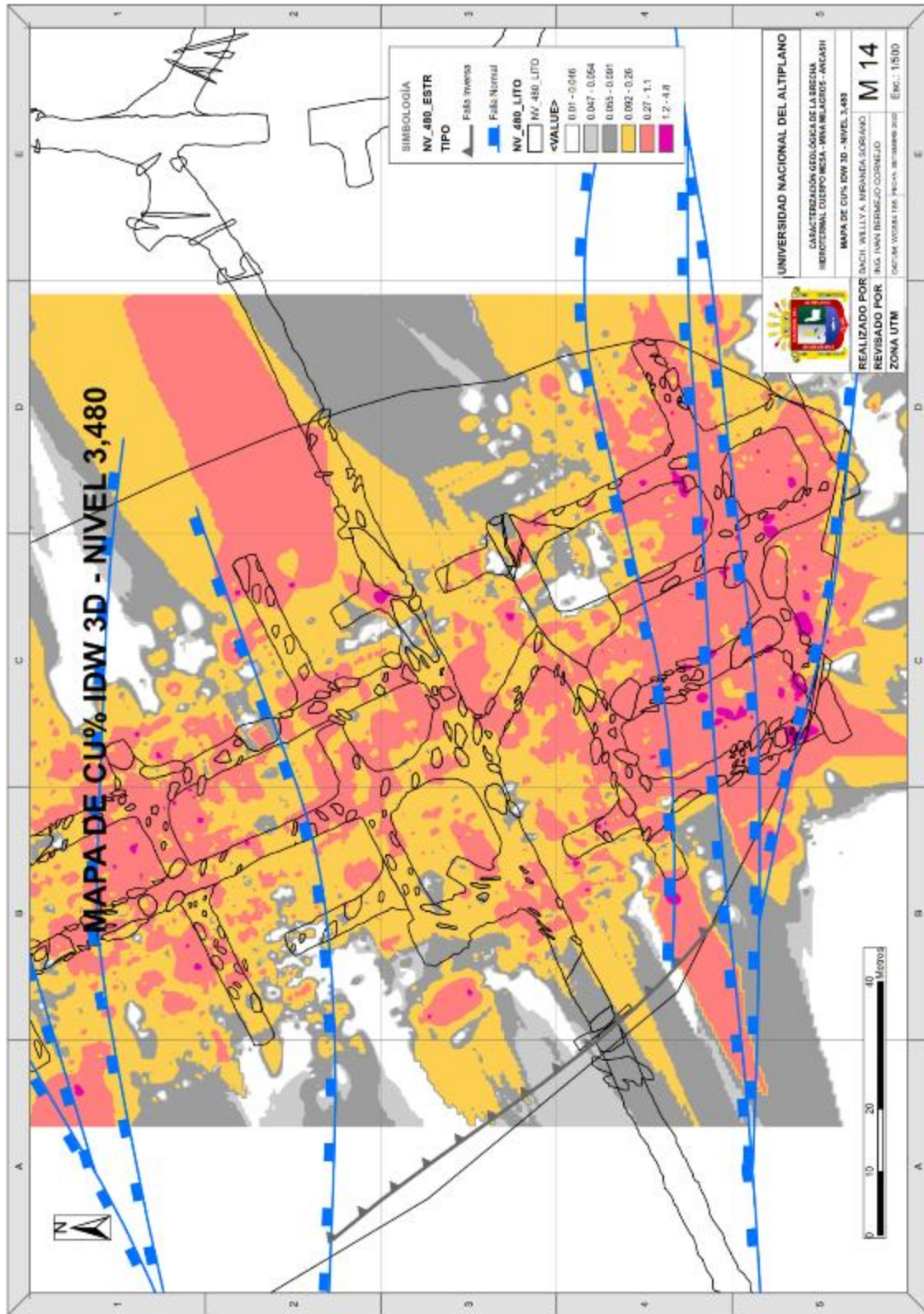
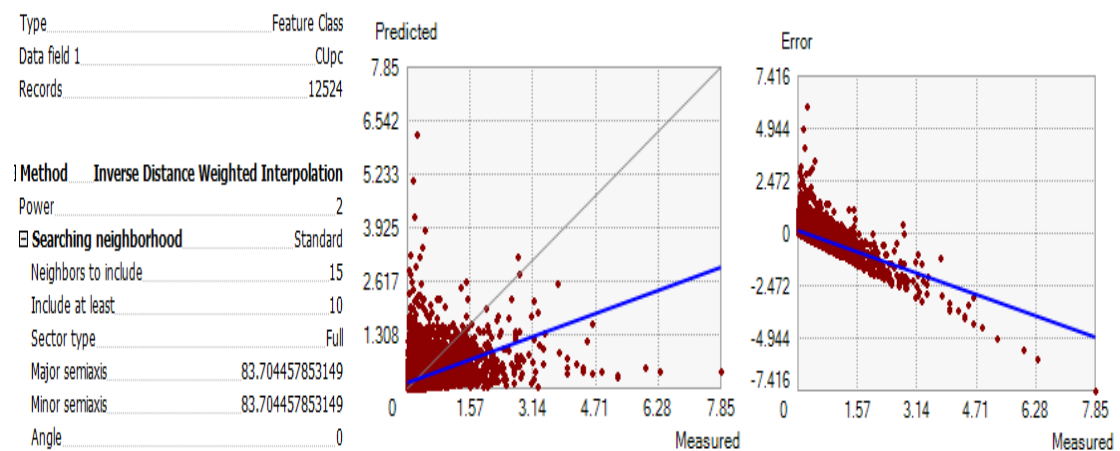


Figura 52. Mapa de Cu% IDW 3D - Nivel 3,480.

### 5.1.13 Análisis de Interpolación Inverso a la Distancia (IDW) del nivel 3,540

En el nivel 3,540, se ha realizado el procesamiento de datos geoquímicos utilizando el método de interpolación IDW, presentando este nivel las mismas características geológicas y de mineralización que los niveles superiores, se puede entender que los sectores mineralizados corresponden a la misma proyección que va en ascenso desde niveles inferiores, para el análisis poblacional utilizando el método de interpolación mencionado se han utilizado los siguientes parámetros: ver figura 53:



**Figura 53.** Análisis de interpolación IDW de población para el nivel 3,540.

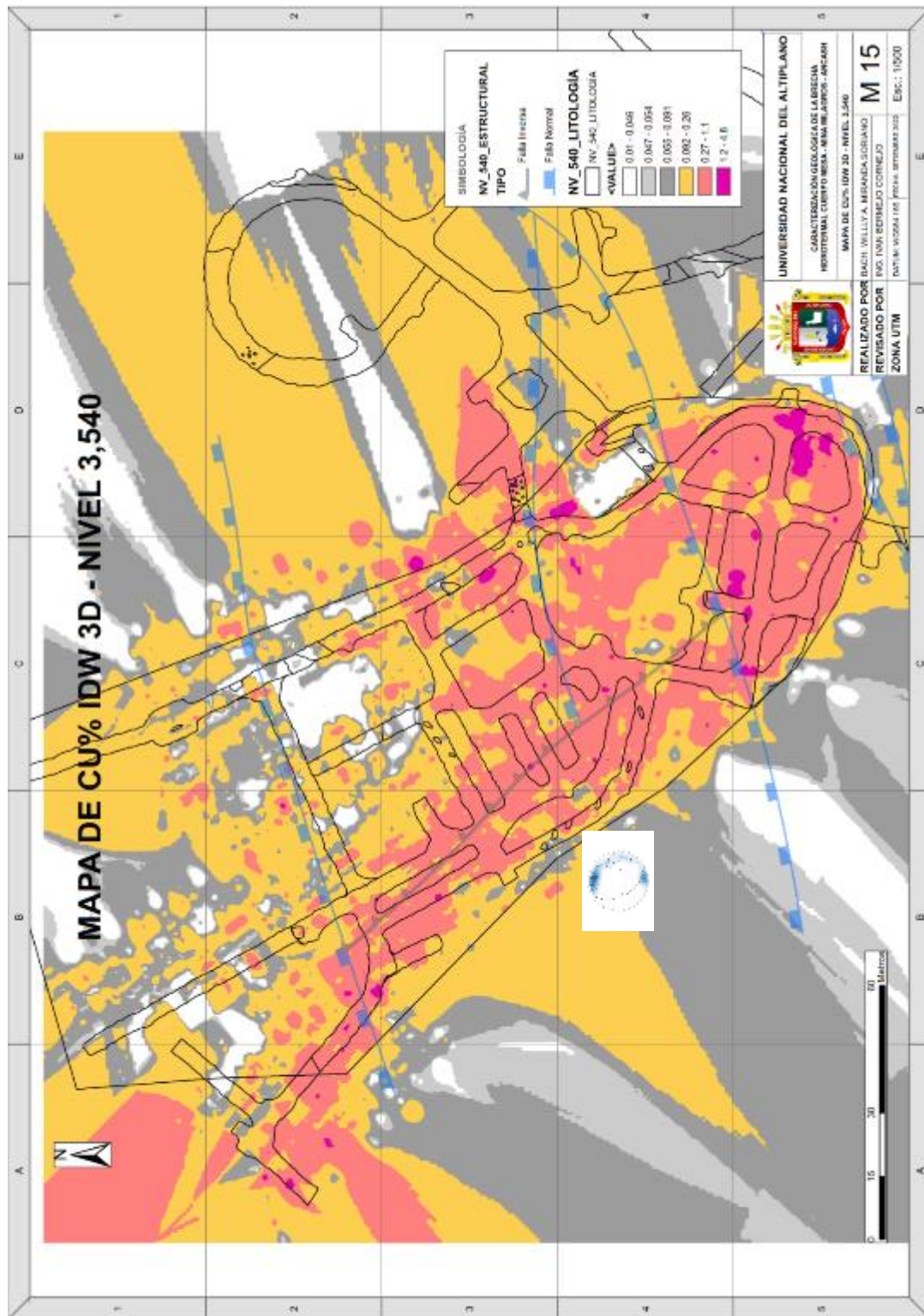
Para el nivel 3,540, se han procesado 12,524 muestras con interceptos de Cu%, este análisis de forma interpretativa nos proporciona los siguientes resultados:

De acuerdo al cuadro de rango de colores para el análisis IDW, se puede visualizar que los sectores mineralizados con Cu económico, se encuentra relacionados directamente con las estructuras (fallas normales e inversa). La delimitación del cuerpo Mesa en el nivel superior (3560) es similar, lo que indica la continuidad de la mineralización en el nivel superior, pero en el nivel inferior, la zona minable se restringe a la zona sur por un juego estructural descrito en el nivel 3480.

También se puede corroborar la influencia de las estructuras permeables en cuanto sectores dispersos de muy alta dentro de la brecha, esto en el lado Sureste, se



tienen zonas con errores por falta de información geoquímica que dejan zonas abiertas hacia fuera del cuerpo, por lo que estas se discriminan por los cartografiados geológicos del nivel en el proceso de modelamiento geológico tridimensional ver figura 54.

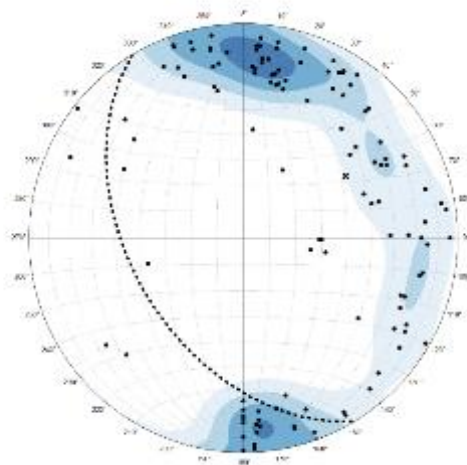


**Figura 54.** Mapa de Cu% IDW 3D - Nivel 3,540.

## 5.2 CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y METALOGÉNESIS DEL CUERPO MESA

### 5.2.1 Análisis poblacional de datos estructurales

El análisis de muestras de los niveles que involucra este proyecto ha sido procesado en STERONET, de forma que se puede visualizar la tendencia promedio, que en este caso corroboran la información, dando sustento al proyecto y la tendencia de la mineralización. Al ubicar este parámetro podemos entender que el emplazamiento de la mineralización tuvo un trend de  $330^{\circ}\text{NE}$ , el procesamiento de los datos estructurados referidos a la obtención de datos en los diferentes niveles del proyecto de investigación, se encuentran en los ANEXOS, con la finalidad de que puedan ser corroborados, ver figura 55.

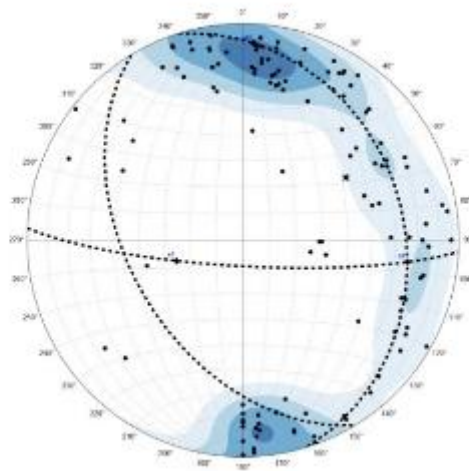


*Figura 55.* Análisis poblacional de datos estructurales.

### 5.2.2 Análisis estructural de la compresión y estructuras permeables a la mineralización de la brecha hidrotermal

Como resultante del análisis, también se obtuvo los parámetros de la compresión, utilizando el procesamiento en STERONET y para este proyecto la compresión tiene una tendencia de  $58^{\circ}\text{NE}$ , siendo este el eje de compresión para el proyecto, de esta forma podemos entender la formación de las estructuras normales

e inversas, de acuerdo a los datos obtenidos del proceso, podemos decir que las estructuras permeables a la mineralización tienen orientaciones preferentes Este – Oeste y las que generaron la tendencia de emplazamiento tienen una orientación preferente Norte – Sur. Este análisis nos ha servido para determinar la arquitectura estructural del sistema presente en los niveles involucrados (3,440; 3,480 y 3,540), estos resultados nos sirven para poder generar las interpretaciones que se realizaron en tres dimensiones, ver figura 56.

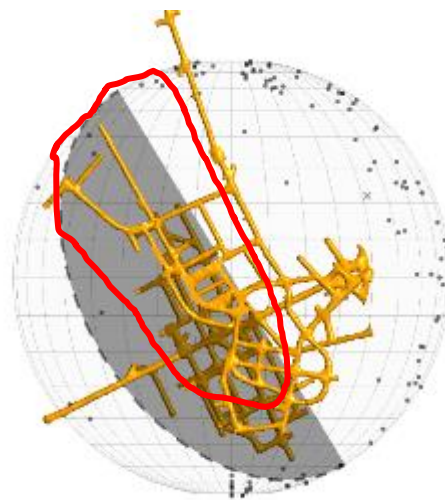


**Figura 56.** Análisis estructural de la compresión y estructuras permeables.

### 5.2.3 Análisis estructural del área de estudio 3D

El área de estudio correspondiente para los niveles mencionados en este proyecto, nos han proporcionado suficiente información numérica y parámetros para realizar las interpretaciones correspondientes al sistema de brechado, así también nos ha ayudado a comprender la forma de emplazamiento del sistema de relleno, con esta información es posible determinar futuros parámetros en niveles más profundos del proyecto y aplicaremos este modelo interpretado de tal forma que las proyecciones de estructuras y sólidos elaborados serán proyectados para continuar con el estudio en niveles inferiores de la mina.

Las labores subterráneas tienen la tendencia  $330^{\circ}\text{NE}$  las que se vinculan directamente a las estructuras de fallamiento inverso, esto se ha realizado con la finalidad de abarcar en su totalidad el cuerpo mineralizado, es posible que esta tendencia tenga variación en profundidad, es por ello que mantendremos actualizado la información de estas estructuras con la finalidad de mantener una orientación favorable para el laboreo subterráneo. Las labores subterráneas que se encuentran perpendiculares a esta tendencia, se utilizan para delimitar los cuerpos y ejecutar taladros largos, para generar una estimación y modelo de bloques en el mineral económico, contando con este análisis estructural, podemos ejecutar y mantener un estándar en el proceso de avance, así como proyectar nuevos blancos mineralizados en profundidad, ver figura 57.



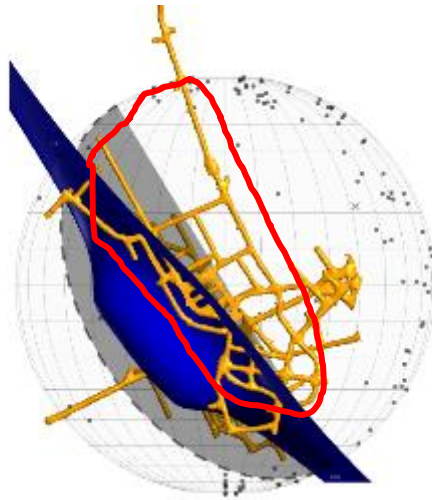
*Figura 57.* Análisis estructural del área de estudio 3D.

#### **5.2.4 Análisis estructural del área de estudio con influencia de la falla inversa.**

El modelamiento tridimensional nos ha dado los parámetros para poder entender el sistema mineralizado, es así que en la siguiente imagen podemos relacionar la estructura de falla que se proyecta como falla inversa, como tendencia



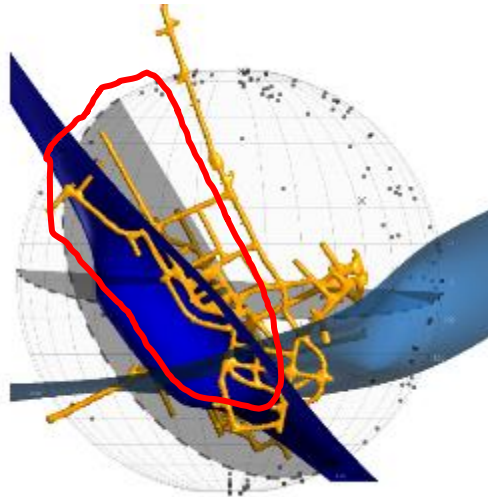
que ha ayudado al emplazamiento de la mineralización económica en el sistema de la brecha hidrotermal, ver figura 58.



**Figura 58.** Análisis estructural del área de estudio con influencia de la falla inversa.

#### **5.2.5 Análisis estructural del área de estudio con influencia de fallas compresivas e inversas**

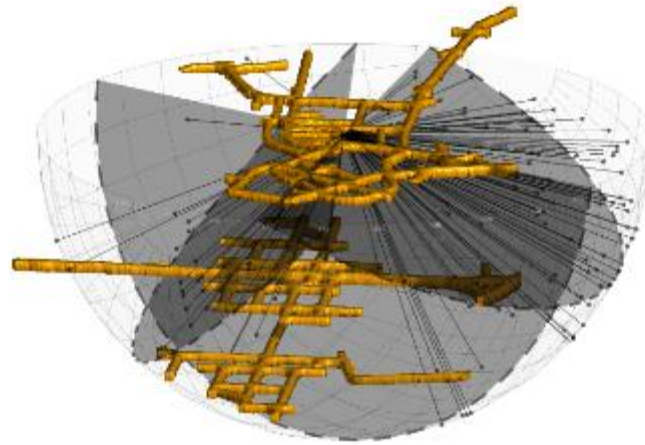
También de forma visual podemos correlacionar las estructuras con tendencia Este – Oeste del sistema, con la finalidad de comprender la forma en que se ha producido la Genesis de la brecha hidrotermal, mediante estas estructuras abiertas, ha ascendido el fluido hidrotermal, generando una brecha económica con mineralización de Cu%, esta brecha no solo ha generado mineralización rellenando estructuras, sino también se ha abierto paso hacia el Norte, generando mineralización económica explotable, en forma de cuerpos controlados estructuralmente en forma de trampas, ver figura 59.



**Figura 59.** Análisis estructural del área de estudio con influencia de fallas compresivas e inversas.

### 5.2.6 Vista del área de estudio 3D

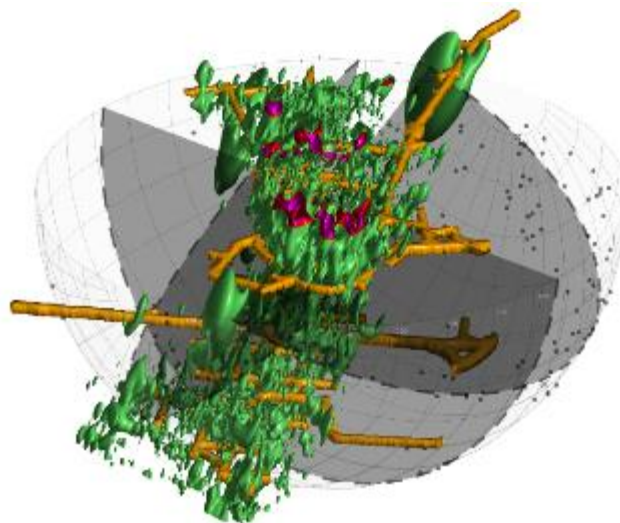
En la siguiente imagen podemos ver toda la información utilizada en forma de polos y planos proyectados en el sistema tridimensional, este tipo de visualización obtenida del modelamiento geológico nos permite continuar con el estudio en niveles inferiores a los mencionados esta tesis, ver figura 60.



**Figura 60.** Stereonet con vista del área de estudio 3D.

### **5.2.7 Análisis como resultado de la influencia en la mineralización**

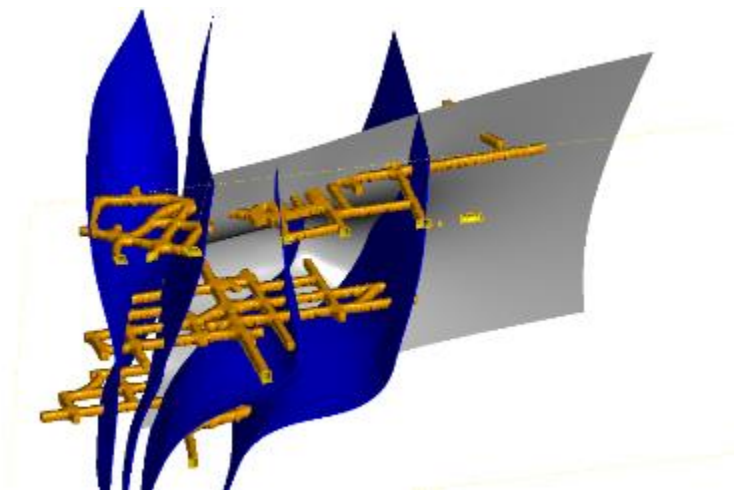
La figura 61 indica que la información recolectada y proyectada en el modelo tridimensional elaborado para este proyecto, en el cual se incluye la interpolación geoquímica; esta muestra las envolventes mineralizadas de la brecha hidrotermal, así como los diferentes datos estructurales recolectados de las labores subterráneas y proyectadas en tres dimensiones, este modelo tridimensional nos muestra los planos y el control estructural que ha influenciado a la mineralización económica, con estos resultados se pueden tomar decisiones para el futuro de la mina, ver figura 61.



**Figura 61.** Análisis como resultado de la influencia en la mineralización.

### 5.2.8 Metalogénesis geológica y génesis de la mineralización (Origen y génesis de la mineralización en el área de estudio)

Como resultado del modelamiento geológico estructural con los datos del cartografiado y recolección de datos in-situ, se puede decir que el sistema de brecha hidrotermal mineralizado, tiene un control estructural preferente con orientaciones Este – Oeste, estas estructuras fueron las canalizaron el fluido hidrotermal que dio origen a la brecha; también podemos decir que las estructuras inversas que se encuentran confinadas, fueron las que le dieron una orientación Norte – Sur a las brecha hidrotermal mineralizada, de esta forma se ha obtenido la arquitectura estructural que ha dado origen a los diferentes cuerpos de brecha en la mina, que actualmente se encuentra en exploración y explotación, ver figura 62.

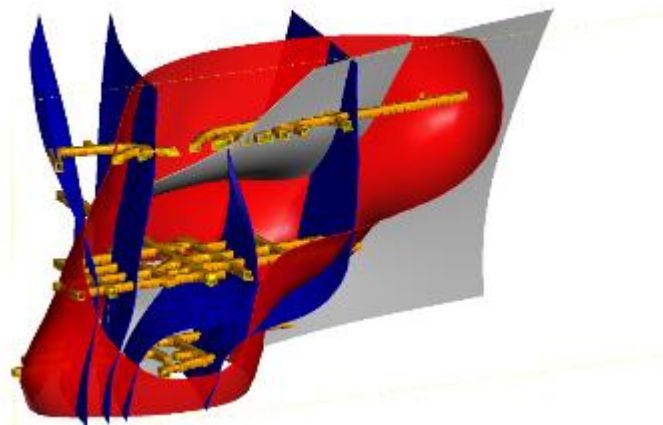


*Figura 62.* Origen y génesis de la mineralización en el área de estudio.

### 5.2.9 Genesis y emplazamiento de la brecha hidrotermal a partir del análisis geológico estructural

Como resultado del modelamiento geológico estructural, se puede visualizar en la siguiente imagen el cuerpo de la brecha hidrotermal, controlado por el sistema estructural que se encontraba previo al proceso de mineralización, adicional a ello también podemos decir que esta brecha hidrotermal por las características

mineralógicas, tuvo diferentes eventos de emplazamiento, estos eventos aún no se encuentran estudiados y es motivo para continuar con el proceso de investigación. El motivo que nos permite especular sobre la ocurrencia de diferentes eventos que han dado origen a la brecha hidrotermal, son los diferentes tipos de clastos que se ha encontrado en el proceso de minado, muchos de ellos son inclusive clastos de brecha dentro de la brecha hidrotermal, lo que se puede explicar con el transporte y explosión del fluido hidrotermal con alta temperatura y presión, ver figura 63.



**Figura 63.** Genesis y emplazamiento de la brecha hidrotermal a partir del análisis geológico estructural.

#### 5.2.10 Estudios mineragráficos y de inclusiones fluidas

Para complementar los estudios de investigación realizados en este proyecto de tesis, se han enviado diferentes muestras a laboratorio, de las cuales mostraremos solo dos, por temas de confidencialidad, estos estudios se utilizaron en calidad de complementos con la finalidad de entender la brecha a nivel de mineralogía y composición. A continuación, se muestran los resultados.

- **Muestra MZ-01-22**

Estructura mineralizada compuesta por cristales anhedrales de pirrotita y calcopirita, cristales anhedrales de galena, pirita y esfalerita presente como

diseminación. Presencia de cuarzo y carbonatos formando parches. La muestra presenta magnetismo, ver figura 64, tabla 3 y 4.



**Figura 64.** Muestra MZ-01-22.

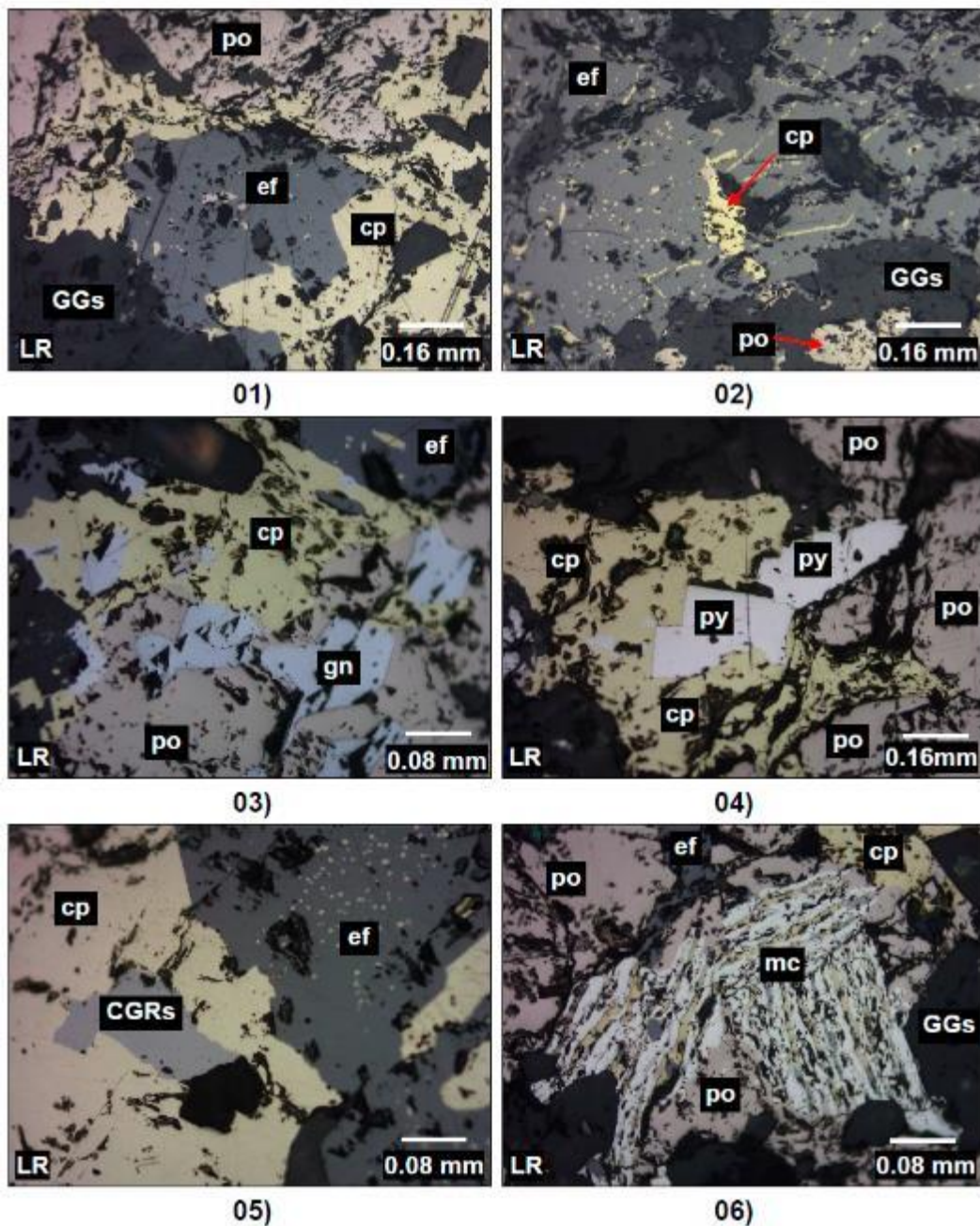
**Tabla 3.**  
*Descripción Microscópica MZ-01-22*

Descripción Microscópica		Tamaño (mm)	%
<b>Pirita</b>	Cristales subhedrales de hábito cúbico incluidos en masas de calcopirita.	< 0.125	Trz
<b>Arsenopirita</b>	Cristales subhedrales de hábitos rómbicos incluidos en minerales no metálicos.	< 0.22	Trz
<b>Calcopirita</b>	Se presentan como extensiones de masas irregulares que son reemplazados por pirrotita y esfalerita. Contienen relictos de pirita y cobres grises.	0.12 a 3.6	16
<b>Pirrotita</b>	Expuesto como agregados granulares y extensiones de masas irregulares que reemplazan a la calcopirita. Contienen relictos de galena.	0.08 a 3.2	47
<b>Marcasita</b>	Cristales anhedrales de formas irregulares y agregados lamelares intercrecidas con pirrotita.	< 0.6	2

<b>Esfalerita</b>	Agregados irregulares masivos que se encuentran como relictos e islas de mineral. Están intercrecidos con pirrotita.	0.2 a 2.4	11
<b>Galena</b>	Cristales anhedrales irregulares presentes como islas de mineral en la pirrotita, se encuentra reemplazando a la calcopirita e incluida en pirrotita.	0.08 a 0.4	1
<b>Cobres Grises</b>	Se encuentra reemplazando a la calcopirita en la cual se pueden observar cómo islas de masas anhedrales.	0.1 a 0.2	Trz

**Tabla 4.**  
*Paragénesis MZ-01-22.*

MINERALOGÍA		HIPOGENICA		SUPERGENICA
		Evento Temprano	Evento Tardío	
MINERALIZACIÓN	Pirita	----		
	Arsenopirita	----		
	Calcopirita	————	————	
	Pirrotita	————	————	
	Marcasita		----	
	Esfalerita		——	
	Galena		---	
	Cobres Grises		----	
		MAYOR TEMPERATURA INICIAL	—————▶	MENOR TEMPERATURA FINAL
		Escaso ---	Moderado ——	Abundante ———



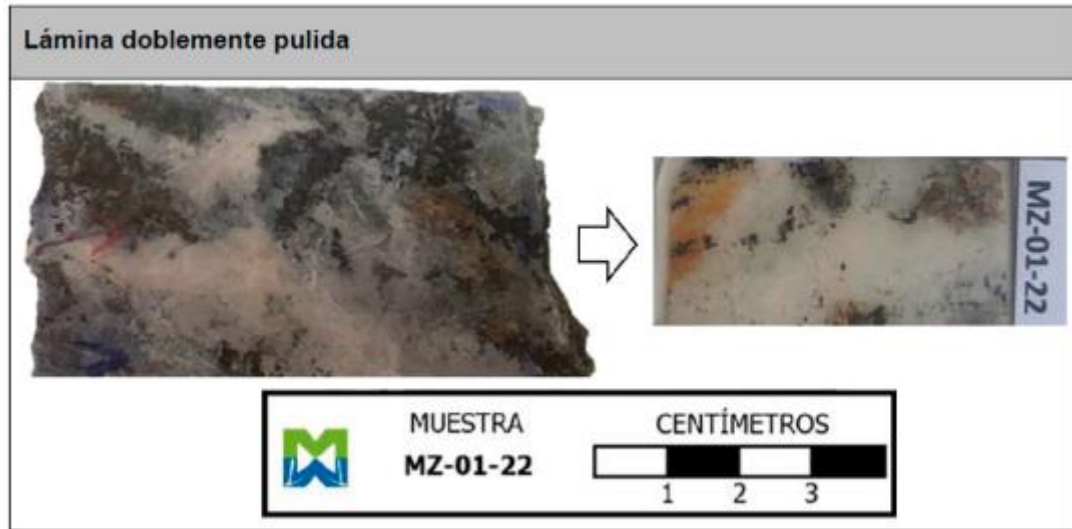
*Figura 65.* Fotomicroscopía MZ-01-22.

**Fotomicrografías 01:** ver figura 65. Calcopirita (cp) reemplazada por pirrotita (po) y esfalerita (ef); **02)** Esfalerita (ef) reemplazando a la calcopirita (cp); Pirrotita (po) incluida en gangas (GGs); **03)** Masas de calcopirita (cp) reemplazadas por pirrotita (po) y esfalerita (ef), está acompañada con galena (gn); **04)** Cristales de pirita (py) incluidas en calcopirita (cp) reemplazada por pirrotita (po); **05)** Calcopirita



(cp) reemplazada por esfalerita (ef) y cobres grises (CGRs) y **06** Intercrecimiento entre calcopirita (cp) con pirrotita (po) y masas de marcasita (mc).

- **Estudios de inclusiones de fluidas**



*Figura 66.* Muestra MZ-01-22.

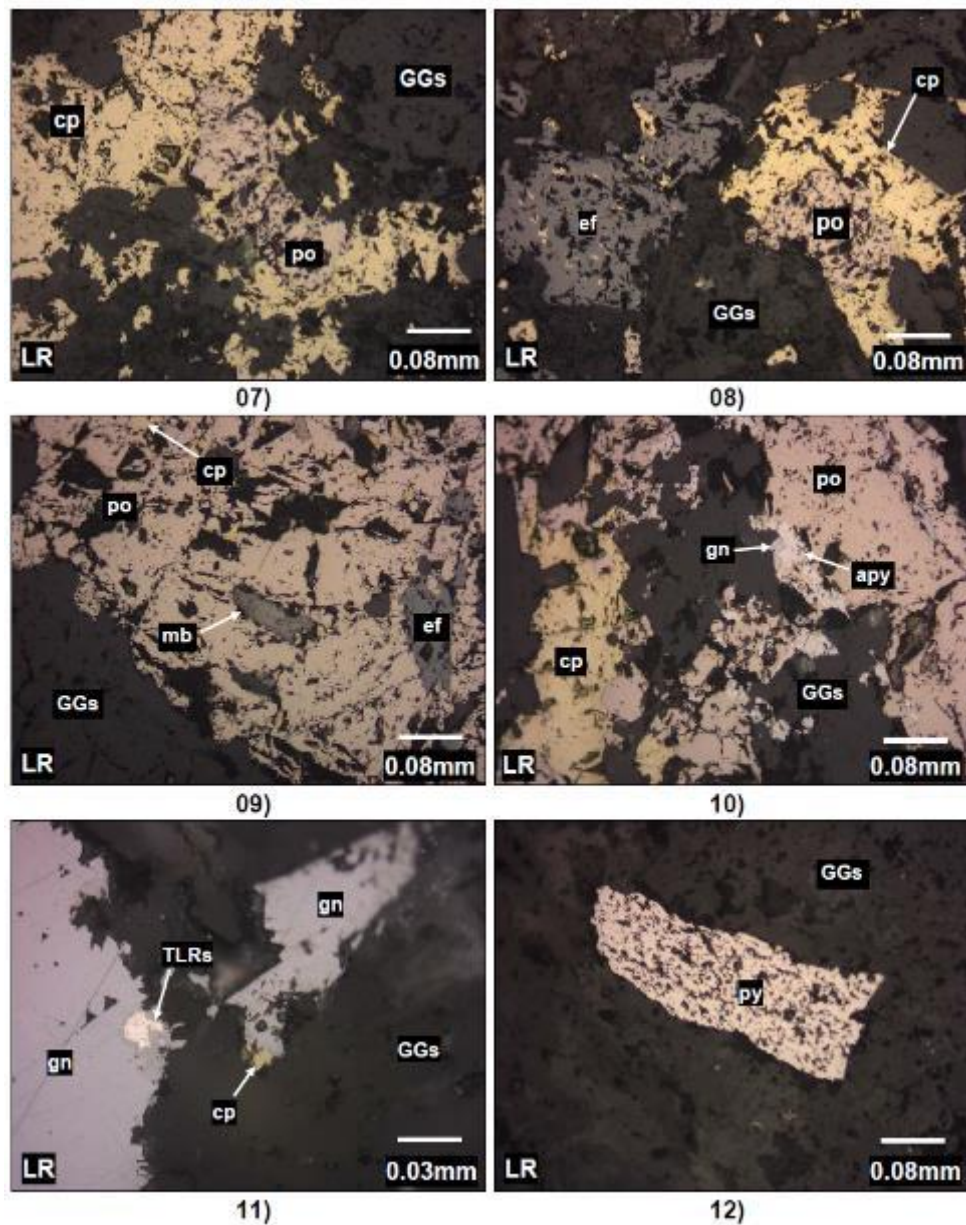
**Tabla 5.**

*Descripción microscópica Mz-01-22.*

Descripción Microscópica		Tamaño (mm)	%
<b>Minerales metálicos</b>			
<b>Pirita</b>	Presente como formas relícticas incluidos en el cuarzo hidrotermal.	$\leq 0.38$	Trz
<b>Arsenopirita</b>	Cristales subhedrales de hábitos rómbicos y formas anhedrales intercrecidas con pirrotita.	$\leq 0.125$	Trz
<b>Molibdenita</b>	Cristales prismáticos incluidos en pirrotita y en el cuarzo hidrotermal.	$\leq 0.2$	Trz
<b>Pirrotita</b>	Expuesto como formas anhedrales y extensiones de masas dispersas en la roca. Está reemplazando a la calcopirita.	$\leq 5.6$	9
<b>Marcasita</b>	Presente como formas anhedrales intercrecido con pirita e incluido en el cuarzo hidrotermal.	$\leq 0.65$	1

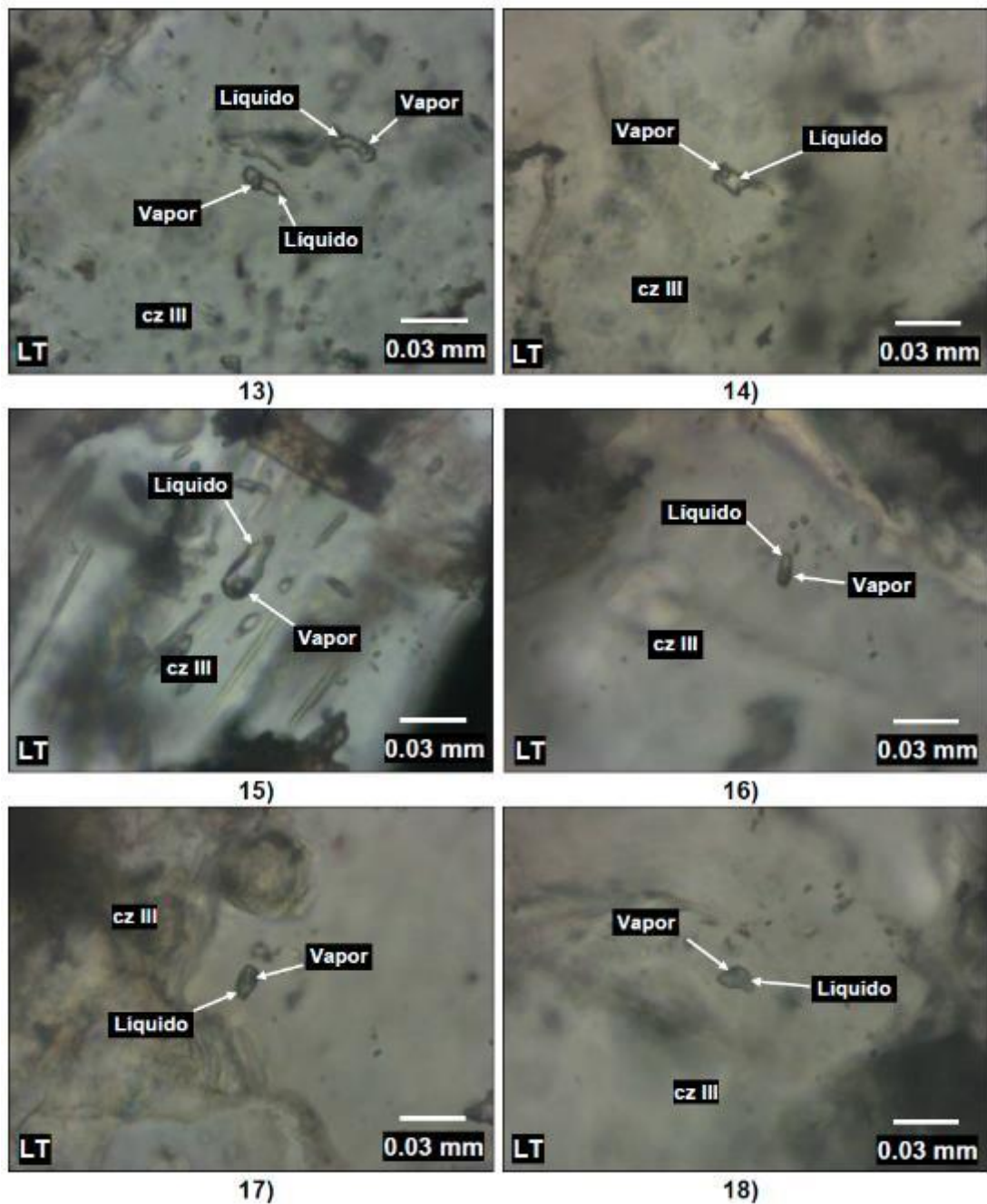


<b>Calcopirita</b>	Manifiesto como formas anhedrales reemplazadas por pirrotita y esfalerita.	$\leq 4$	5
<b>Esfalerita</b>	Se trata de formas anhedrales que reemplazan a la calcopirita y pirrotita.	$\leq 3.2$	6
<b>Galena</b>	Presente como formas anhedrales incluidos en cuarzo de alteración. Está alterado por sulfosales de plomo; además se identificó granos de telururos de plata.	$\leq 0.48$	0.5
<b>Sulfosales de plomo</b>	Formas anhedrales reemplazando a la galena.	$\leq 0.036$	Trz
<b>Telururos de plata</b>	Granos irregulares incluidos en galena.	$\leq 0.018$	Trz



**Figura 67.** Fotomicrografías muestra MZ-01-22.

**Fotomicrografías 07 a 12.-** **07)**, ver figura 67. Pirrotita (po) anhedral reemplazando a la calcopirita (cp); **08)** Calcopirita (cp) reemplazada por pirrotita (po) y esfalerita (ef); **09)** Calcopirita (cp) reemplazada por pirrotita (po) con granos de molibdenita (mb); **10)** Calcopirita (cp) reemplazada por pirrotita (po) y relicto de galena (gn) intercrecida con arsenopirita (apy); **11)** Grano de teleruros (TLRs) incluida en galena (gn); **12)** Cristal subhedral cúbico incluido en gangas (GGs). LR: Luz Reflejada.



**Figura 68.** Fotomicrografías de inclusiones fluidas MZ-01-22.

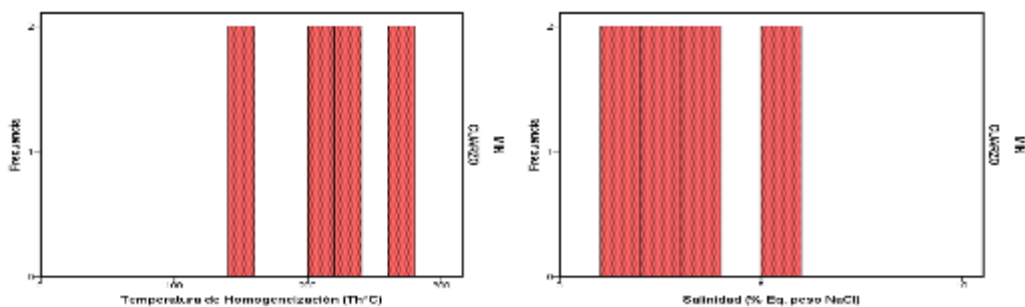
**Fotomicrografías 13 a 18.,** Ver figura 68. Inclusiones de fluidos primarias bifásicas ricas en líquido con formas irregulares, rectangulares e irregulares con tamaños entre 7 a 18 $\mu$ m capturas en cuarzo hidrotermal (cz III). LT: Luz Transmitida.

De la tabla 06 se elaboraron los histogramas que se muestran en las figuras 77 y 78, de las cuales se pueden observar que las temperaturas de homogeneización ( $T_h$ °C) para el cuarzo relacionado con la mineralización económica está entre 200 y 300°C y salinidad entre 1 y 6% eq. peso NaCl, ver figura 69, tabla 6.

**Tabla 6.**

*Análisis Microtermométrico de Temperatura de Homogeneización y Salinidad.*

Nº	MUESTRA	CLAF.	MIN	TIPO	Ø (µm)	FILL (L/V)	-Tf (°C)	Th (°C)	NaCl (wt%)
1	MZ-01-22	BIF	cz	P-Lw	11	0.8 / 0.2	3.50	266.30	5.71
2	MZ-01-22	BIF	cz	P-Lw	10	0.7 / 0.3	3.65	270.10	5.94
3	MZ-01-22	BIF	cz	P-Lw	7	0.7 / 0.3	2.25	221.90	3.79
4	MZ-01-22	BIF	cz	P-Lw	8	0.8 / 0.2	2.30	225.10	3.87
1	MZ-01-22	BIF	cz	P-Lw	18	0.8 / 0.2	1.40	200.20	2.41
2	MZ-01-22	BIF	cz	P-Lw	9	0.6 / 0.4	1.33	204.80	2.29
1	MZ-01-22	BIF	cz	P-Lw	11	0.9 / 0.1	0.89	148.30	1.55
2	MZ-01-22	BIF	cz	P-Lw	9	0.8 / 0.2	0.93	142.70	1.62



**Figura 69.** Variogramas MZ-01-22.

NOTA: Las diferencias de color entre las diferentes filas es la agrupación según el grado de asociación de las IF (familias FIF) y de IF aisladas.

De las figuras 69 se puede observar, una mezcla de fluidos entre el cuarzo y la mineralización metálica. Para el cuarzo se han identificado tres posibles poblaciones; la primera población (F1-cz), presenta temperatura de homogeneización entre 140 y 150°C con salinidad menor a 2% eq. peso NaCl; mientras que la segunda población (F2-cz), presenta temperaturas de homogeneización (Th°C) entre 200 y 225°C con salinidades entre 2 y 4% eq. peso NaCl; por último, la tercera población (F3-cz), presenta temperaturas de homogeneización entre 260 a 280°C con salinidades entre 5 y 6%eq. peso NaCl. Según el diagrama modificado de Wilkinson (2001) se trata de fluidos que corresponden a depósitos epitermales en contacto con vetas de oro.

### Muestra MZ-02-22

Estructura mineralizada compuesta por cristales anhedrales de Pirita y Marcasita que se encuentran bordeando a la Pirrotita, se observa también Esfalerita en asociación con Calcopirita presentes como diseminación y cuarzo. La muestra presenta magnetismo, ver figura 70, tabla 7 y 8.



**Figura 70.** Muestra MZ-02-22.

**Tabla 7.**

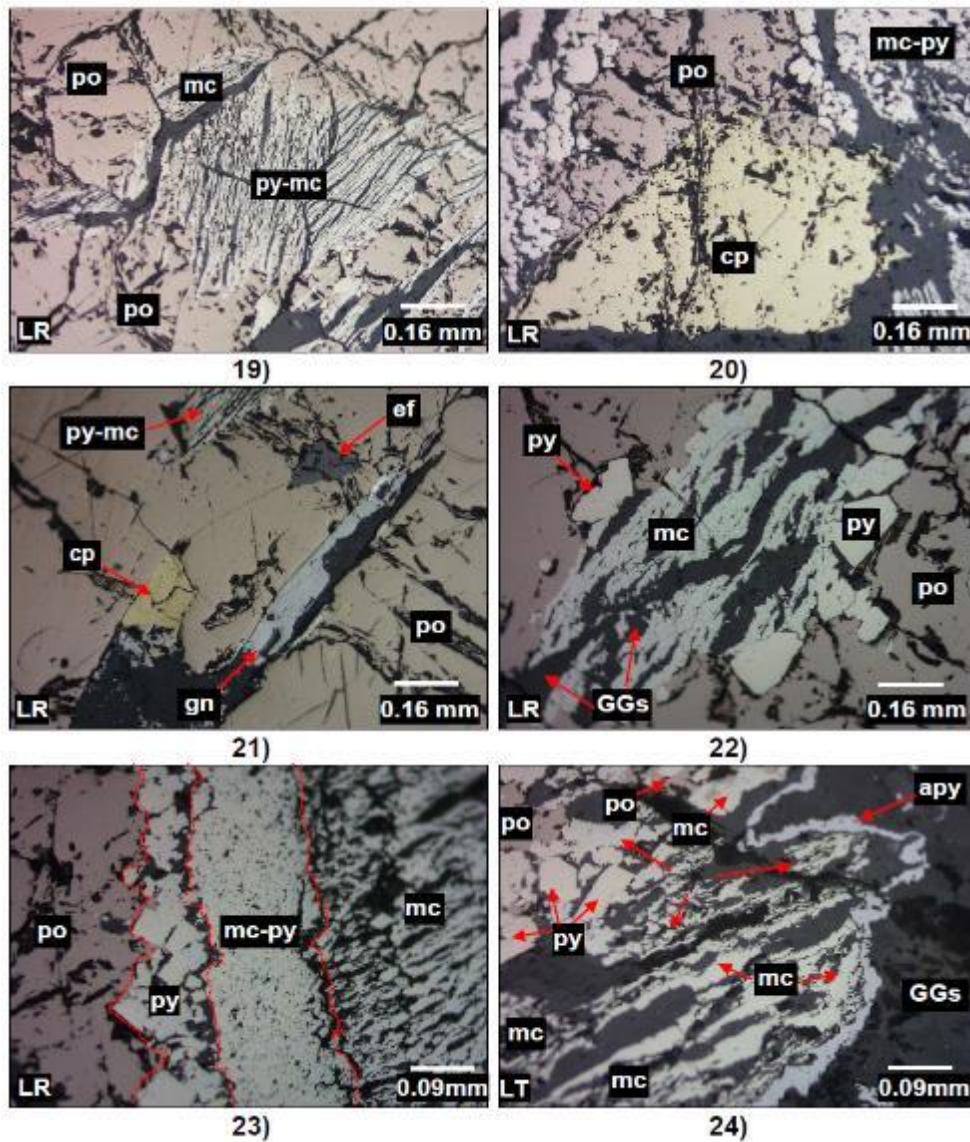
*Descripción microscópica MZ-02-22*

Descripción Microscópica		Tamaño (mm)	%
<b>Pirita</b>	Presente como agregados de cristales subhedrales de hábitos cúbicos y formas anhedrales que están reemplazados por la marcasita. Están intercrecidos con pirrotita.	0.08 a 0.8	12
<b>Marcasita</b>	Está expuesto como formas anhedrales lamelares y/o estratificadas además de formas ameboidales (limites curvos y sinuosos), acompañado con pirita.	< 0.65	19
<b>Arsenopirita</b>	Agregados de cristales subhedrales de hábitos rómbicos incluidos en los bordes de pirita-marcasita.	< 0.35	Trz
<b>Calcopirita</b>	Manifiesto como cristales anhedrales de formas irregulares que se encuentran como islas en pirrotita.	0.2 a 1	3
<b>Pirrotita</b>	Está expuesto como extensiones de masas y formas anhedrales que están intercrecidos con pirita y marcasita. Está reemplazando a la calcopirita y contienen islas de galena.	mm a cm	32
<b>Esfalerita</b>	Cristales anhedrales de formas irregulares como relleno de cavidades e intersticios en la pirrotita. También está reemplazando a la calcopirita.	< 0.2	Trz
<b>Galena</b>	Cristales anhedrales de formas irregulares presente como islas en pirrotita.	0.02 a 0.15	Trz
<b>Cobres Grises</b>	Reemplazando a la calcopirita desde los bordes y como islas en calcopirita.	< a 0.12	Trz



**Tabla 8.**  
*Paragénesis de muestra MZ-02-22.*

MINERALOGÍA		HIPOGENICA		SUPERGENICA
		Evento Temprano	Evento Tardío	
MINERALIZACIÓN	Pirita	—		
	Marcasita	—		
	Arsenopirita	----		
	Calcopirita		----	
	Pirrotita	—	—	
	Esfalerita		---	
	Galena		----	
	Cobres Grises		----	
MAYOR TEMPERATURA INICIAL		→	MENOR TEMPERATURA FINAL	
Escaso ---		Moderado —	Abundante —	



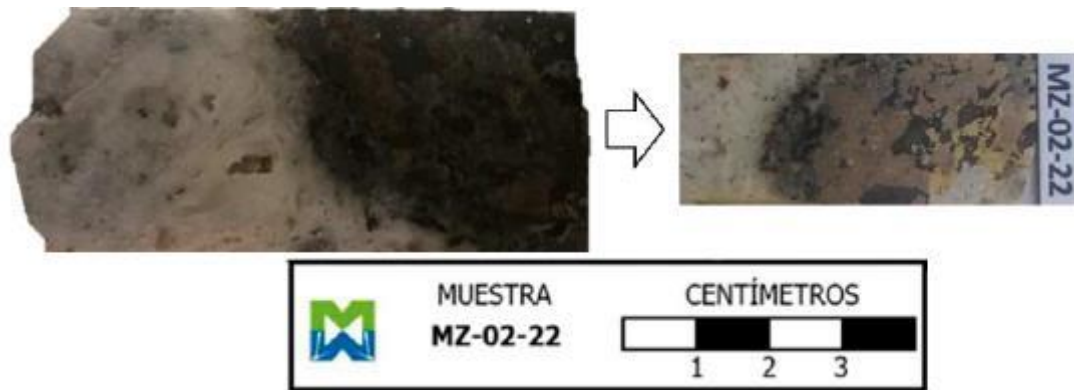
**Figura 71.** Fotomicrografías muestra MZ-02-22.

**Fotomicrografías 19 a 24.-** ver figura 71: 19) Pirita (py) reemplazada por marcasita (mc) formando amarres lamelares; está acompañada con pirrotita (po); 20) Pirita reemplazada por marcasita (py-mc) y calcopirita (cp) reemplazada por pirrotita (po); 21) Pirrotita (po) reemplazando a la calcopirita (cp); acompañada con pirrita-marcasita (py-mc); presenta islas de esfalerita (ef) y galena (gn); 22) Agregados de cristales de pirita (py) reemplazadas por marcasita (mc) e intercrecida con pirrotita (po); 23) Masas de pirrotita (po) en contacto con intercrecimientos de pirita (py) con marcasita (mc) y arsenopirita (apy) y 24) Intercrecimientos entre pirrotita (po) con



pirita (py) reemplazada por marcasita (mc).; en los bordes presenta arsenopirita (apy). LT: Luz Transmitida.

### Estudios de inclusiones de fluidas

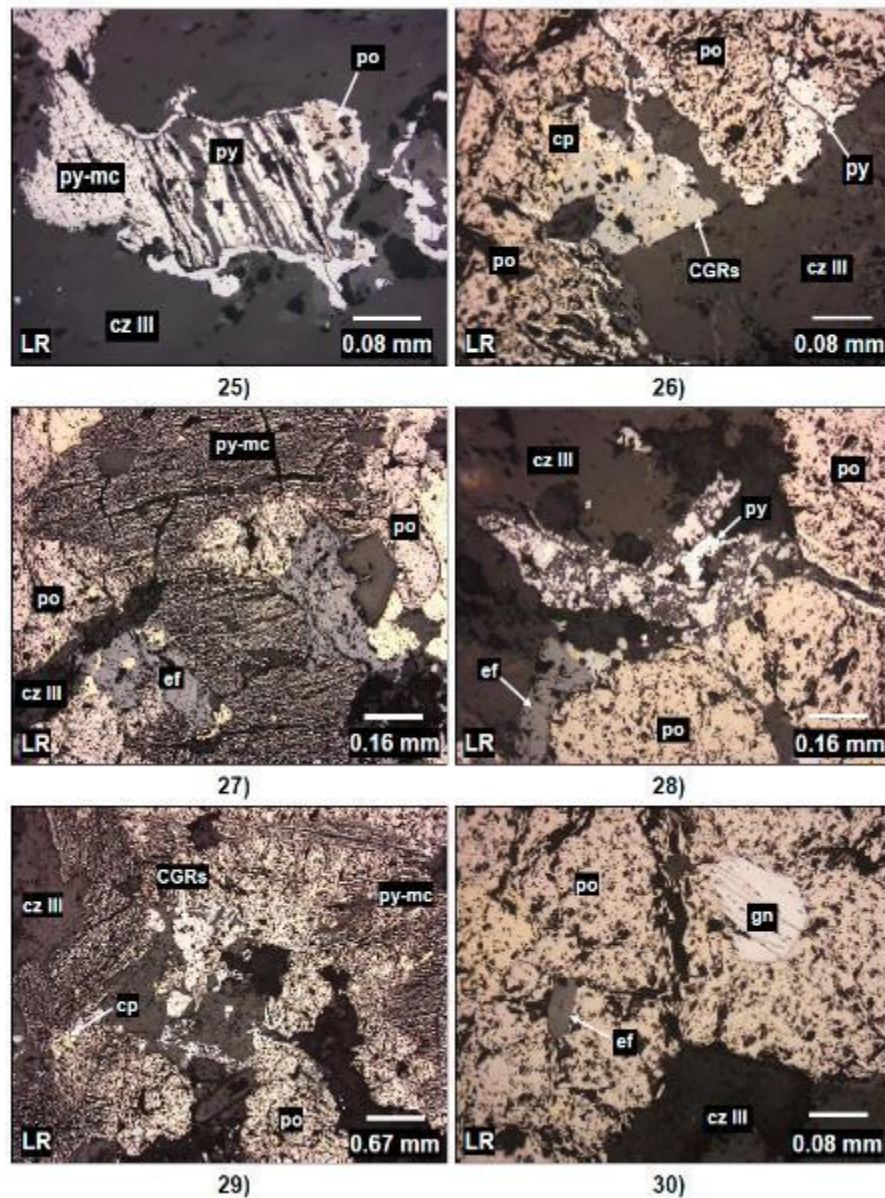


**Figura 72.** Muestra MZ-02-22.

**Tabla 9.**

*Análisis estructural del emplazamiento y origen de la mineralización.*

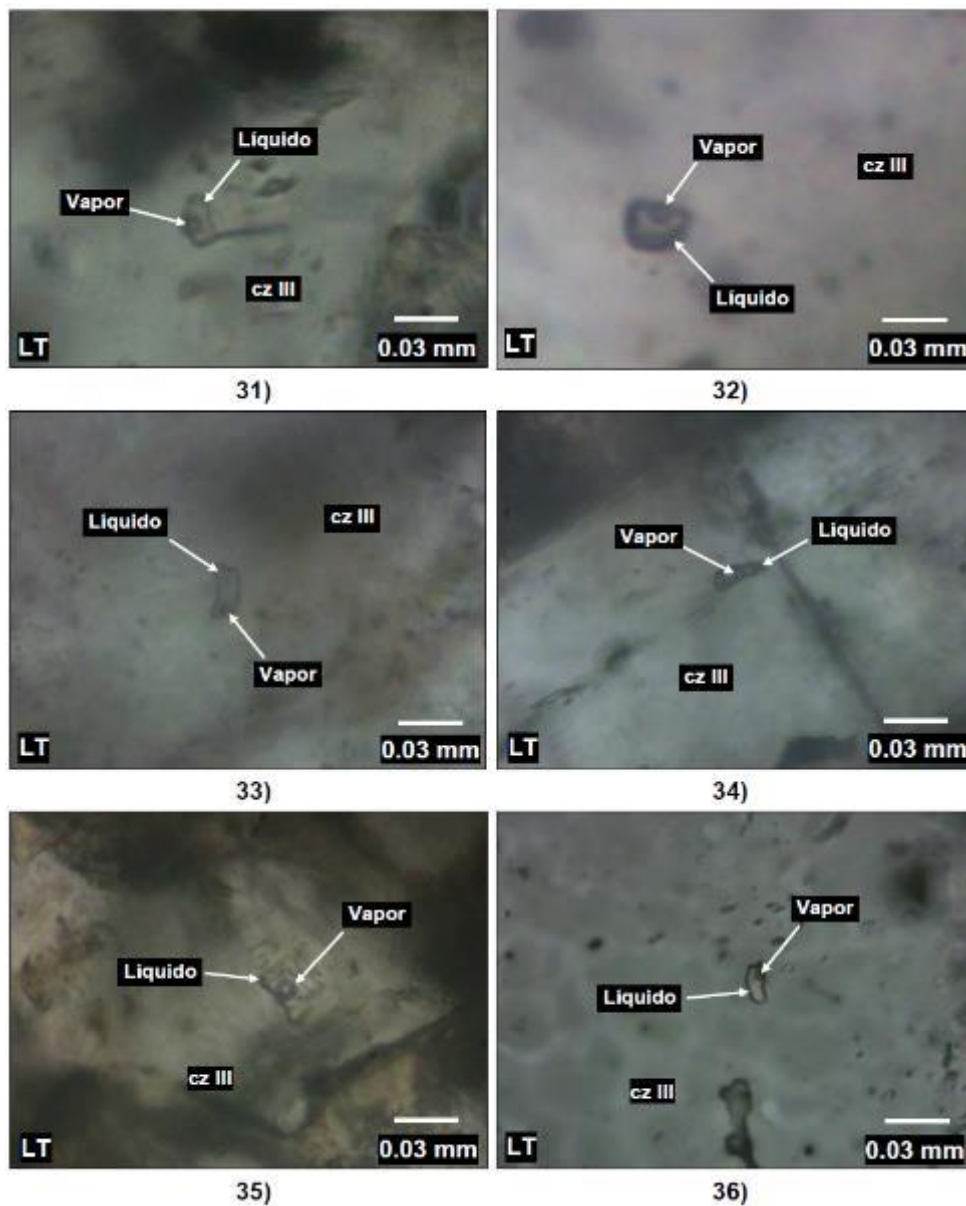
Descripción Microscópica		Tamaño	
		(mm)	%
<b>Minerales no metálicos</b>			
Cuarzo de relleno	Agregados de cristales subhedrales de hábitos prismáticos con bordes rectos a subredondeados. Están ocupando cavidades acompañado con carbonatos y agregados micro escamosos. Se han identificado inclusiones de fluidos bifásicas y primarias con formas ovoides, rectangulares e irregulares con tamaños entre 6 y 12 micras en cuarzo de relleno.	≤ 0.9	24
<b>Minerales metálicos</b>			
Pirita	Cristales subhedrales de hábitos cúbicos y formas anhedrales. Están reemplazados por marcasita desde los bordes.	≤ 0.05	13
Arsenopirita	Cristales subhedrales de hábitos rómbicos y formas irregulares desarrollado en los bordes. Están intercrecida con galena.	mm a cm	3
Pirrotita	Presente como cristales anhedrales con rectos a subredondeados y extensiones de masas que reemplazan a la pirita y calcopirita. Presenta islas de esfalerita y galena.	cm	25
Marcasita	Dispuesto como agregados lamelares y formas anhedrales que reemplaza a la pirita. Localmente están intercrecidas con pirrotita y galena en los bordes.	cm	16
Calcopirita	Formas anhedrales irregulares reemplazadas por pirrotita.	cm	6
Esfalerita	Se aprecia como formas anhedrales irregulares dispuestos como islas en pirrotita.	cm	4
Galena	Expuesto como cristales con formas anhedrales relleno cavidades y como islas en pirrotita. En algunas zonas está intercrecida con arsenopirita formando subcoronas.	≤ 0.4	Trz
Cobres grises	Formas anhedrales reemplazando a la calcopirita.	≤ 0.4	1.5



**Figura 73.** Fotomicrografías muestra MZ-02-22.

**Fotomicrografías 25 a 30.-** Ver figura 73. 25) Intercrecimiento entre pirita (py) y marcasita (mc) con relictos de pirrotita (po); 26) Calcopirita (cp) reemplazada por pirrotita (po) y cobres grises (CGRs); está intercrecida con pirita (py); 27) Pirita (py) intercrecida con marcasita (mc) acompañada con relictos de calcopirita (cp) reemplazada por pirrotita (po) con esfalerita (ef); 28) Cristal subhedral de pirita (py) y formas anhedrales de galena (gn) incluidos en cuarzo III (cz III); esfalerita (ef) acompañada con pirrotita (po); 29) Relictos de calcopirita (cp) reemplazados por pirrotita (po) e intercrecido con pirita con marcasita (py-

mc); relicto de cobres grises (CGRs); 30) Pirrotita (po) con islas de esfalerita (ef) y galena (gn). LR: Luz Reflejada.



**Figura 74.** Fotomicrografías de inclusiones fluidas, muestra MZ-02-22.

**Fotomicrografías 31 a 36.-** Ver figura 74. Inclusiones fluidas primarias bifásicas ricas en líquido (tipo L) con formas ovoides, rectangulares e irregulares con tamaños entre 6 a 12 $\mu$ m capturas en cuarzo hidrotermal (cz III). LT: Luz Transmitida.

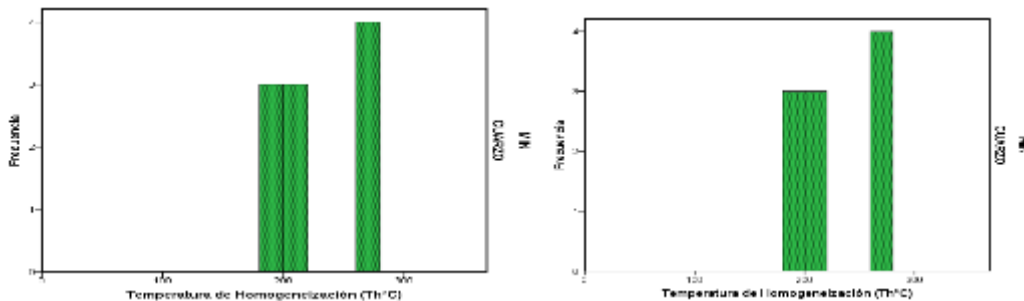
De la tabla 11 se elaboraron los histogramas que se muestran en las figuras 75, de las cuales se pueden observar que las temperaturas de homogeneización (Th°C) para el cuarzo

relacionado con la mineralización económica está entre 270 y °C y salinidad entre 3 y 5% eq. peso NaCl.

**Tabla 10.**

*Análisis Microtermométrico de Temperatura de Homogeneización y Salinidad.*

Nº	MUESTRA A	CLAF	MIN	Forma	TIPO	Ø (µm)	FILL (LV)	-Tf (°C)	Th (°C)	NaCl (wt%)
1	MZ-02-22	BIF	cz	Ovoide	P-Lw	6	0.7 / 0.3	2.80	215.20	4.65
2	MZ-02-22	BIF	cz	Ovoide	P-Lw	8	0.8 / 0.2	2.95	218.50	4.88
3	MZ-02-22	BIF	cz	Irregular	P-Lw	9	0.7 / 0.3	2.57	211.80	4.29
1	MZ-02-22	BIF	cz	Irregular	P-Lw	12	0.7 / 0.3	2.10	264.60	3.55
2	MZ-02-22	BIF	cz	Ovoide	P-Lw	8	0.8 / 0.2	2.50	263.20	4.18
3	MZ-02-22	BIF	cz	Irregular	P-Lw	10	0.7 / 0.3	2.45	260.80	4.10
4	MZ-02-22	BIF	cz	Ovoide	P-Lw	8	0.7 / 0.3	2.30	265.20	3.87
1	MZ-02-22	BIF	cz	Ovoide	P-Lw	10	0.8 / 0.2	2.50	193.20	4.18
2	MZ-02-22	BIF	cz	Rectangular	P-Lw	12	0.7 / 0.3	2.25	199.40	3.79
3	MZ-02-22	BIF	cz	Ovoide	P-Lw	10	0.7 / 0.3	2.18	196.90	3.68



**Figura 75.** Variogramas MZ-02-22.

NOTA: Las diferencias de color entre las diferentes filas es la agrupación según el grado de asociación de las IF (familias FIF) y de IF aisladas.

De las figuras 07 y 08 se puede observar, una mezcla de fluidos entre el cuarzo y la mineralización metálica. Para el cuarzo se aprecian dos posibles poblaciones; la primera población (F1-cz), se encuentra entre 190 y 220°C con salinidad entre 3 y 5% eq. peso NaCl; seguida de una segunda población (F2-cz), la cual presenta temperaturas de homogeneización (Th°C) entre 260 y 270°C con salinidades entre 3 y 4% eq. peso NaCl.

Según el diagrama modificado de Wilkinson (2001) se trata de fluidos que corresponden a zonas de transición entre depósitos mesotermales a epitermales en contacto con vetas de oro.

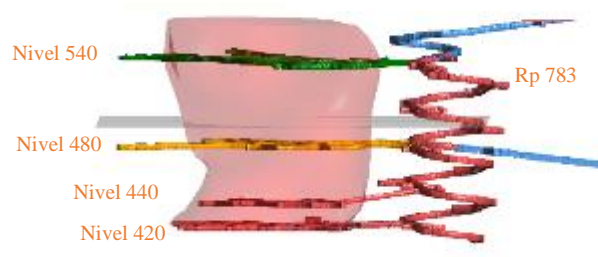
## 5.3 MODELAMIENTO GEOLÓGICO Y DOMINIOS ESTRUCTURALES

### 5.3.1 Proyección de labores subterráneas 3D

Como parte del proceso de modelamiento 3D, se muestra la proyección de labores subterráneas, las mismas que se obtienen del levantamiento topográfico y procesadas en software, en la imagen se puede apreciar la proyección de los niveles que enmarcan este proyecto de tesis (ver figura 76).

Los niveles 3540, 3480 y 3440, son los niveles que involucran este proyecto, todos los datos geológicos estructurales y geoquímicos, se recolectaron desde las diferentes ventanas y rampa de acceso, el análisis en 2D se realizó como etapa primera y en esta segunda etapa, se utilizó toda la información producto de la etapa número uno.

El procesamiento de esta información, nos permitió generar interpolaciones en 3 dimensiones (X, Y, Z), predicción de datos geológicos y estadística poblacional para un análisis estructural a nivel de proyecto, con la finalidad de delimitar los sectores económicos minables.



**Figura 76.** Proyección de labores 3D.

El procedimiento de incorporación de datos subterráneos es el primer procedimiento necesario para dar inicio a la generación de un producto a nivel de proyecto y el modelamiento del depósito de Brecha Hidrotermal con mineralización económica de Cu%, los procedimientos posteriores, tiene que ver con la

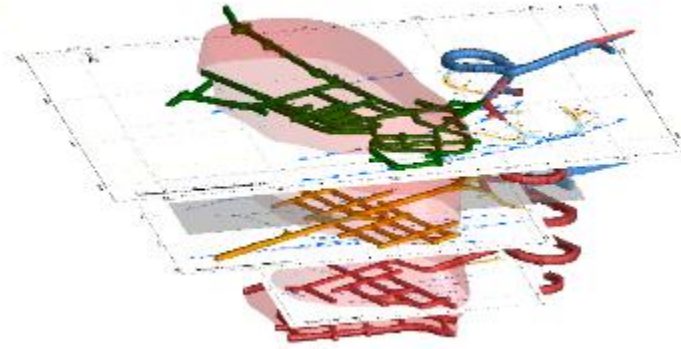


incorporación manual e interpretación de datos 2D, dentro de un software de modelamiento, con la finalidad de generar sólidos y estructuras tridimensionales los más cercanos posibles a la realidad, si bien es cierto que los sondeos y toda la información obtenida, tiene cierto grado de desconfianza, por factores geológicos como fallas, estructuras contaminantes y desviación de taladros, estos a pesar de que se pueden llegar a medir, en este proyecto no se aplica medición de la desviación de taladros largos y al ser un depósito de brechas hidrotermales los clastos tienen dimensiones variables que generan cierta incertidumbre geológica, a pesar de ello se ha considerado aplicar valores de confiabilidad para realizar los diferentes tipos de procesos para la proyección de datos en tres dimensiones.

### **5.3.2 Georreferenciación de mapas 2D para proyección en 3D**

El proceso de georreferenciación de mapas desde un formato en dos dimensiones, es un procedimiento que ha tomado los trabajos de interpretación y recolección de datos en campo procesados y digitalizados en el software ArcGIS, con la finalidad de mantener esta información en una base de datos con disposición para ser trasladada y tomar decisiones utilizando criterios geológicos y predictivos, de esta forma se ha mantenido un orden en la elaboración de ventanas y trabajos de tunelería subterránea, así como de interpretación y generación de nuevos blancos, basados en la experiencia y el trabajo en equipo. Como resultado del trabajo de digitalización de mapas elaborados a mano alzada se obtienen mapas en formato digital que posteriormente utilizaremos para una interpretación tridimensional.

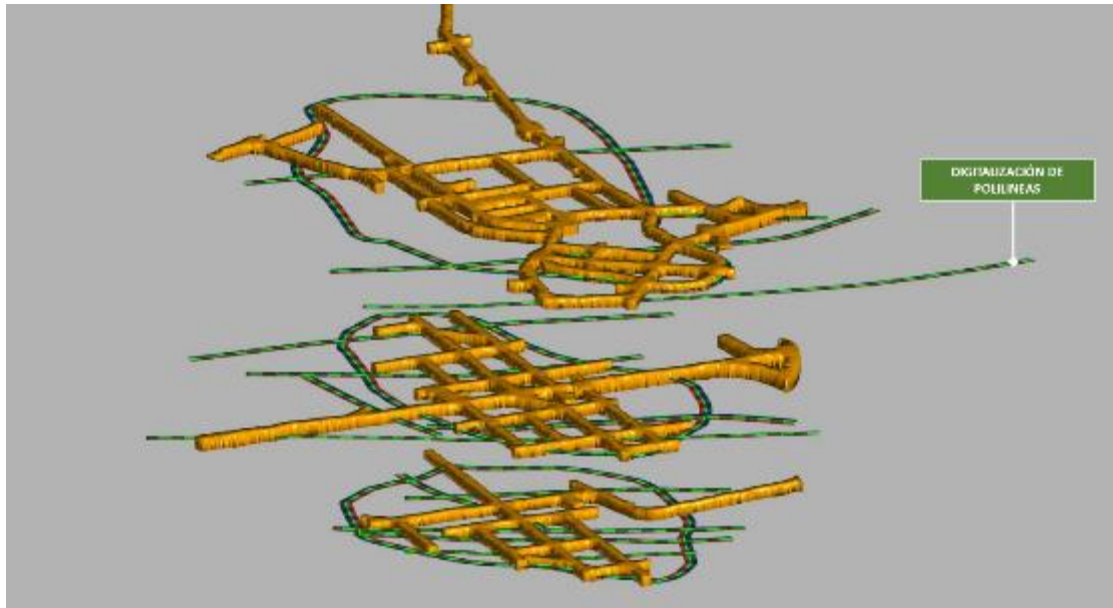
Durante este proceso se ha compilado toda la información existente en calidad de dos dimensiones para ser llevados al software de modelamiento tridimensional y referenciados espacialmente, de tal forma que obtuvimos los mapas con la información geológica dispuesta para ser interpretada, ver figura 77.



*Figura 77.* Georreferenciación de planos 2D

### **5.3.3 Creación de polígonos 3D a partir de datos 2D**

Durante la ejecución de este proceso, se ha considerado realizar de forma manual los trazos correspondientes a los diferentes contactos geológicos y estructurales, generando de esta forma líneas en 3D a partir de 2D. Para la elaboración de polilíneas en 3D, he realizado la diferenciación de la litología y estructuras geológicas, en formato de categorías. Las categorías que se diferencian para la elaboración de polilíneas en 3D, están vinculadas directamente al tipo de litología y estructuras de falla, de acuerdo a su tendencia y tipo de cinemática. Como resultado final de este proceso se ha obtenido polilíneas dispersas en los diferentes niveles del proyecto, los mismos que estamos evaluando para este proyecto de tesis; estas polilíneas nos sirven para generar sólidos a tendencias geológicas a partir de la interpretación y criterio geológico que se tiene del emplazamiento de brechas hidrotermales y sistemas de relleno con características similares, ver figura 78.



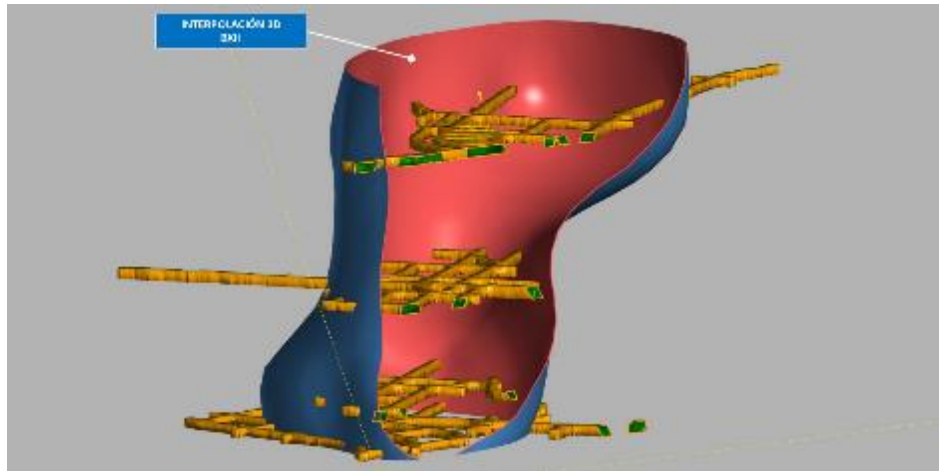
**Figura 78.** Creación de polígonos 3D a partir de datos 2D.

#### **5.3.4 Generación de envolvente litológica de la brecha hidrotermal.**

En el proceso de elaboración de polígonos en los niveles 3540, 3480 y 3540, en este proyecto de investigación, se ha considerado usar una base de datos propia del software de modelamiento, de esta forma usando los mapas en formato de 2 dimensiones, como procedimiento siguiente se genera la interpolación entre los niveles mencionados y se obtiene una envolvente como interpolación de los polígonos elaborados en el procedimiento anterior.

Este procedimiento de generación de envolvente, mediante el uso de software de modelamiento geológico, es así que se obtiene una superficie en 3 dimensiones, que delimitan el contacto de la brecha hidrotermal y la roca encajonante, esta interpolación obtenida, se denomina envolvente de la brecha hidrotermal, ver figura 79.

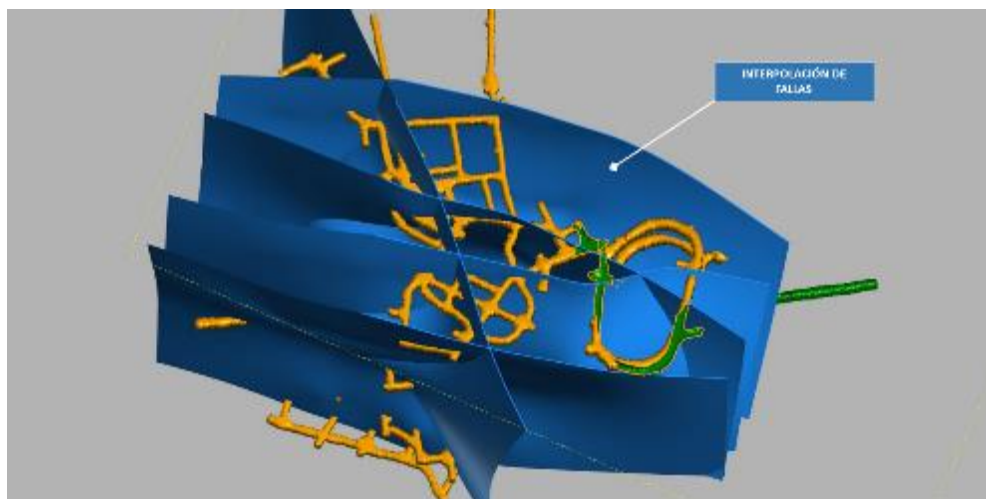




**Figura 79.** Generación de envolventes.

### 5.3.5 Interpolación de fallas en 3D

La interpolación de estructuras de falla se obtuvo utilizando los polígonos elaborados a partir de la georreferenciación de los mapas en formato de 2 dimensiones, esta interpolación requiere cierto tipo de correcciones; como ejemplo se tiene la corrección de tendencias y orientación espacial de cada estructura, este tipo de correcciones se realiza con el uso de criterio de campo y la revisión de datos obtenidos in-situ, ver figura 80.

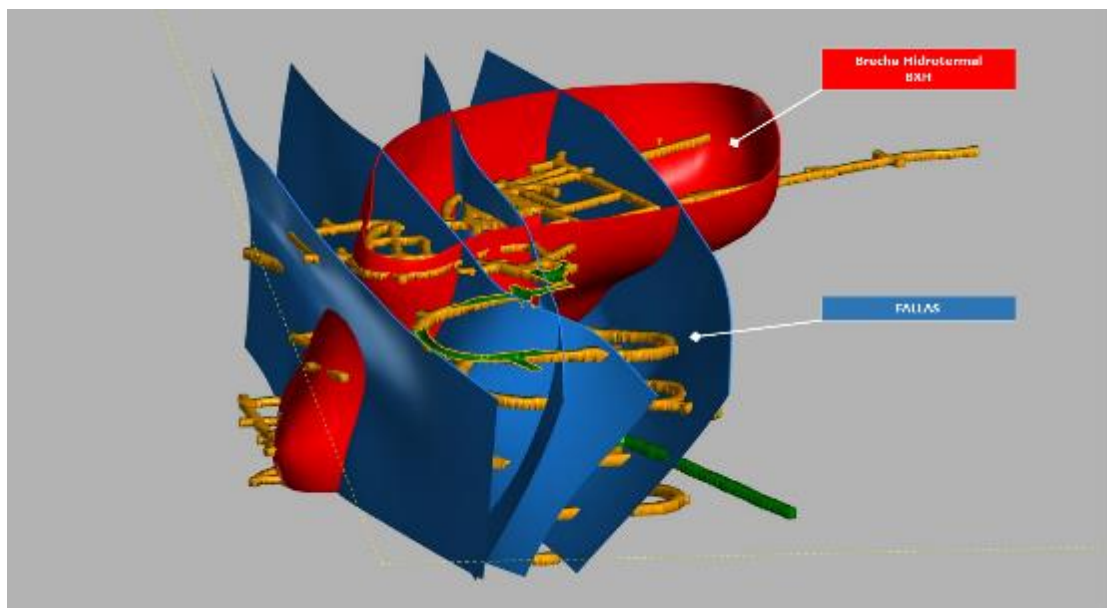


**Figura 80.** Interpolación de fallas en 3D.

### 5.3.6 Interpretación de los dominios geológicos estructurales del sistema mineralizado

Los dominios geológico estructural en este proyecto de investigación están definidos por la delimitación de superficies generadas en procesos anteriores (Brecha Hidrotermal y Fallas), los dominios están vinculados directamente al proceso de emplazamiento, se puede interpretar que el control establecido en el depósito es ESTRUCTURAL, lo que quiere decir que las fallas con tendencias Norte – Sur controlaron el emplazamiento y fueron las que dieron origen a la mineralización económica de la Brecha Hidrotermal.

También se puede interpretar que la mineralización económica se encuentra cerca de las estructuras de fallas, de esta forma los sectores alejados de las estructuras de fallas delimitan los sectores de Media y Baja ley de Cu%, ver figura 81.

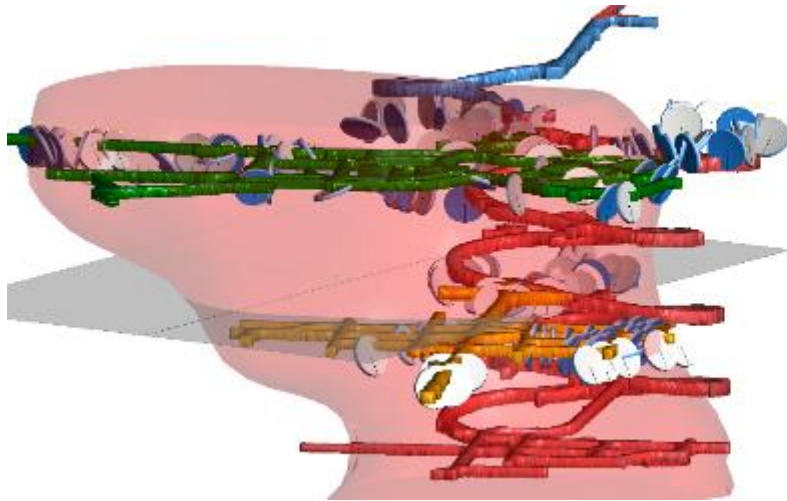


*Figura 81.* Interpretación de dominios geológicos estructurales.

### 5.3.7 Incorporación y proyección de base de datos estructural en 3D

La incorporación de datos estructurales, para este proyecto de tesis, se adjunta en los ANEXOS, siendo una base de datos con coordenadas y datos numéricos que para el proceso de incorporación de datos hacia el software, estos se proyectan en 3

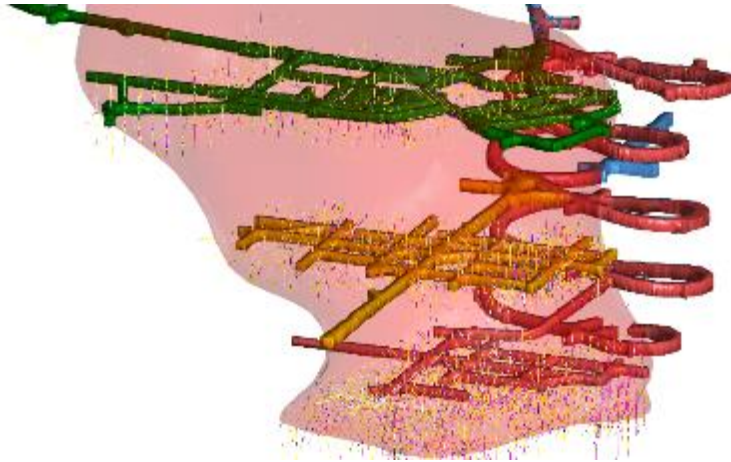
dimensiones, los datos nos proporcionan las orientaciones correctas, la proyección de estos datos estructurales nos permitieron generar el análisis de estructuras cartografiadas, mediante estadística poblacional con datos numéricos, utilizando el STERIONET, este software nos permite realizar el respectivo análisis en 3 dimensiones, ver figura 82.



*Figura 82.* Incorporación y proyección de base de datos estructural en 3D.

### **5.3.8 Proyección de blastholes, con interceptos geoquímicos.**

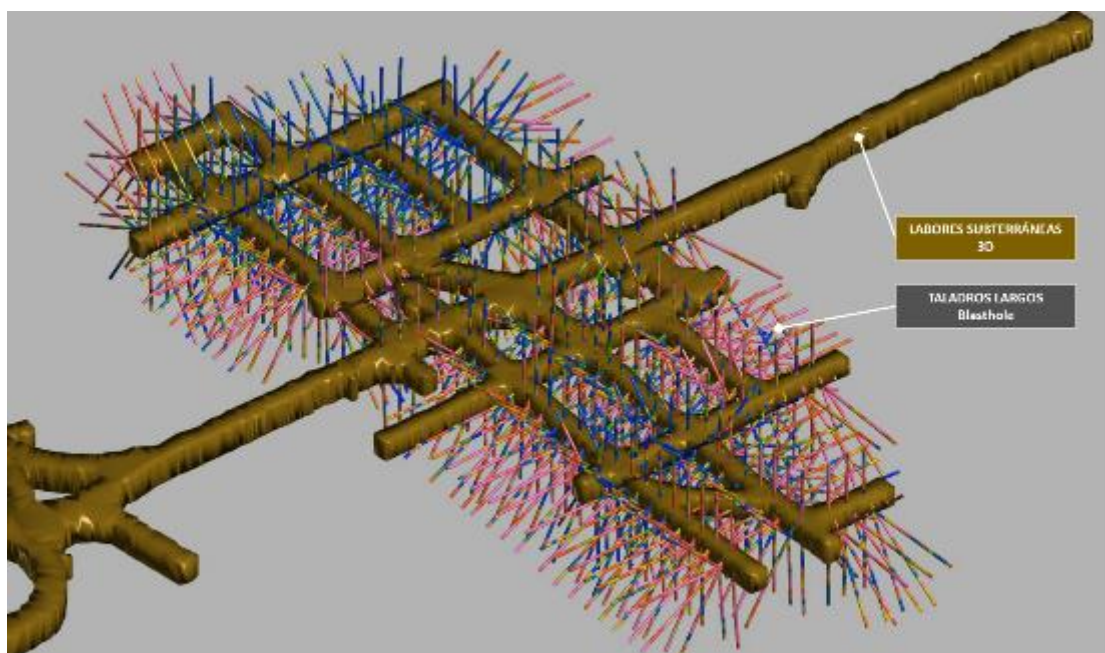
Los blastholes, son los taladros largos que después de haber sido ejecutados y muestreados, estos son analizados en laboratorio y nos proporcionan información numérica de los diferentes tramos y/o interceptos (1.2 metros), el resultado de estas muestras, son ordenadas y validadas en un proceso de generación de base de datos que se realiza en gabinete, de tal forma que se revisa y verifica los resultados obtenidos, el proceso de incorporación de datos hacia el software de modelamiento 3d se realiza mediante tres bases de datos ordenadas (COLLAR, SURVEY y ASSAY), en este proceso no se incorpora los datos de LITOLOGÍA, ya que al ser taladros largos, se obtienen detritos y solamente el análisis se realiza con laboratorio por cobre, ver figura 83.



**Figura 83.** Proyección de blastholes, con interceptos geoquímicos.

### 5.3.9 Análisis geoquímico e interpolación geoquímica 3D.

El análisis geoquímico de taladros largos se realiza posterior a la incorporación de datos, desde una base de datos previamente validada, este procedimiento de interpolación geoquímica tiene lugar, de acuerdo a la orientación de la mineralización y a detalles como las venillas y contactos entre la Brecha Hidrotermal y la roca encajonante; con estos parámetros se ha logrado obtener las envolventes geoquímicas que en procesos siguientes detallaremos por cada nivel, ver figura 84.



**Figura 84.** Análisis geoquímico e interpolación geoquímica 3D.

### 5.3.10 Mineralización y Análisis Geoquímico 3d

- **Mineralización y análisis geoquímico del nivel 3,540.**

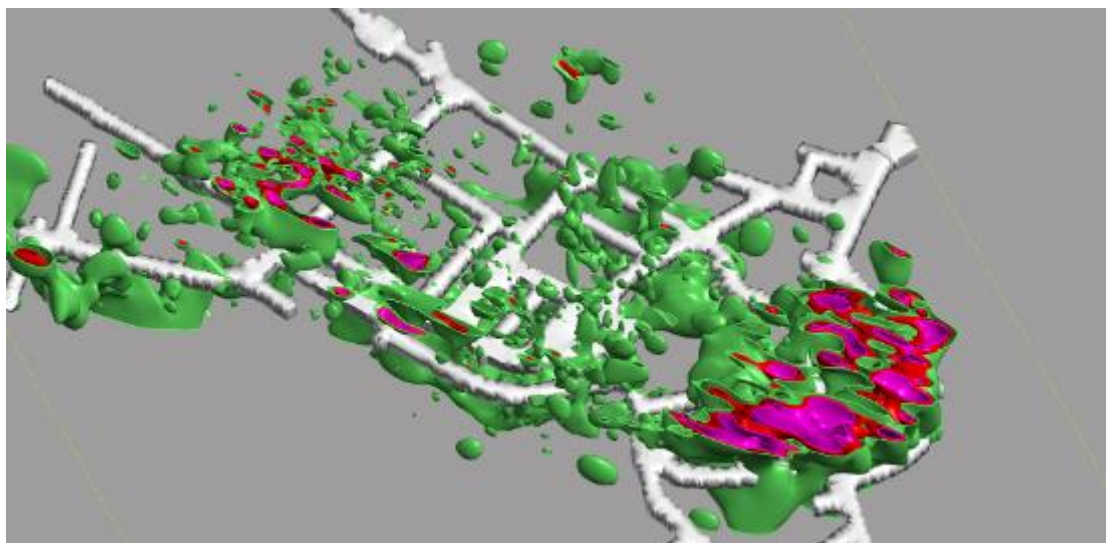
Como resultado del procesamiento de datos de taladros largos, mediante el uso de software especializado y modelamiento 3D, después del proceso de interpolación de datos se ha obtenido las envolventes geoquímicas con el siguiente rango de colores: Ver figura 85.



*Figura 85. Rango de colores de Cu%, nivel 3,540.*

Estos rangos de colores se han estandarizado para este proyecto de tesis de tal forma que se pueda visualizar los límites que enmarca cada rango establecido como envolvente.

En el nivel 3540, se ha obtenido como resultados de la interpolación de interceptos geoquímicos, la acumulación ubicada hacia el SUR, esta acumulación enmarca los sectores que serán presentados como blancos para el proceso de explotación y extracción de mineral para blending, ver figura 86.



*Figura 86. Análisis geoquímico e interpolación geoquímica 3D.*

- **Mineralización y análisis geoquímico del nivel 3480.**

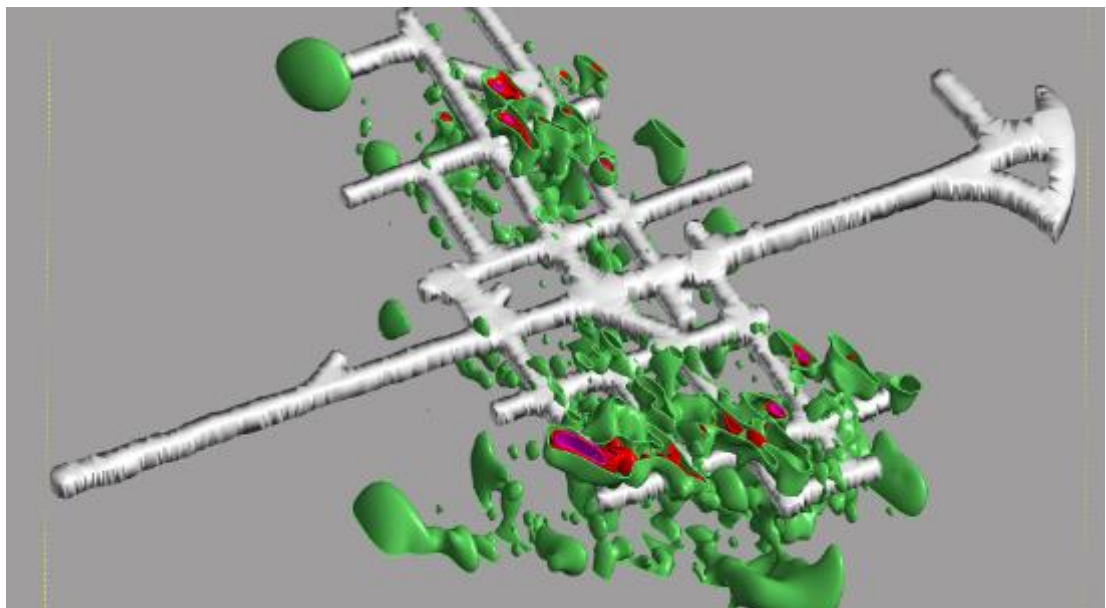
Como resultado del procesamiento de datos de taladros largos, mediante el uso de software especializado y modelamiento 3D, después del proceso de interpolación de datos se ha obtenido las envolventes geoquímicas con el siguiente rango de colores: **Ver figura 87.**



*Figura 87. Rango de colores de Cu%, nivel 3,480.*

Estos rangos de colores se han estandarizado para este proyecto de tesis de tal forma que se pueda visualizar los límites que enmarca cada rango establecido como envolvente.

En el nivel 3480, se ha obtenido como resultados de la interpolación de interceptos geoquímicos, la acumulación ubicada hacia el SUR y NORTE esta acumulación enmarca los sectores que serán presentados como blancos para el proceso de explotación y extracción de mineral para blending, ver figura 88.



*Figura 88. Mineralización y análisis geoquímico del nivel 3,480.*

- **Mineralización y análisis geoquímico del nivel 3440**

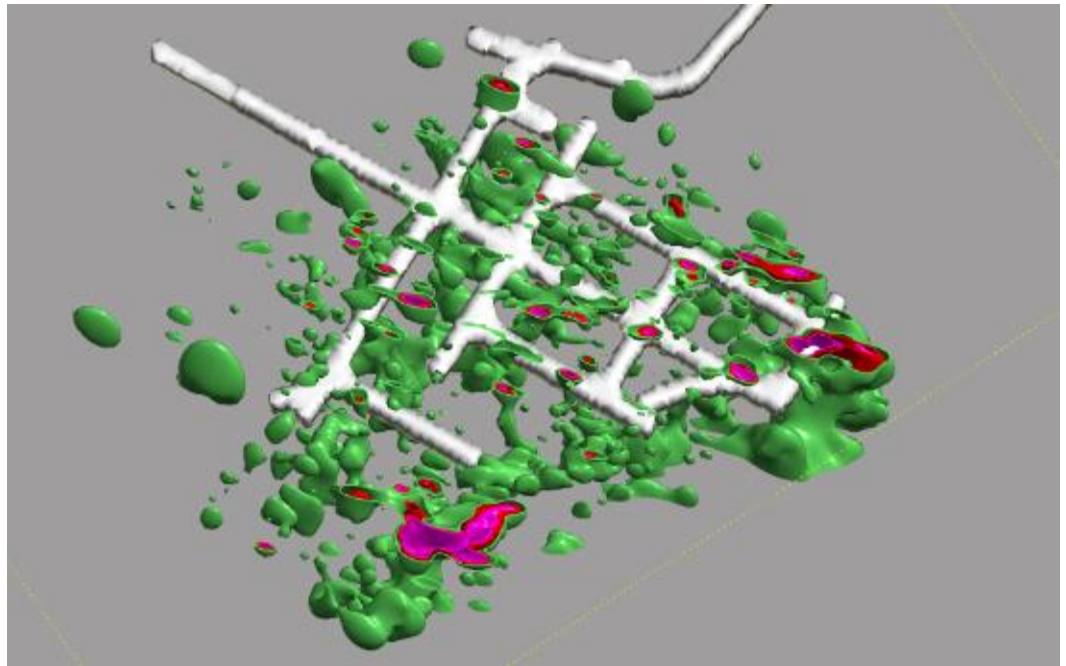
Como resultado del procesamiento de datos de taladros largos, mediante el uso de software especializado y modelamiento 3D, después del proceso de interpolación de datos se ha obtenido las envolventes geoquímicas con el siguiente rango de colores: Ver figura 89.



**Figura 89.** Rango de colores de Cu%, nivel 3,440.

Estos rangos de colores se han estandarizado para este proyecto de tesis de tal forma que se pueda visualizar los límites que enmarca cada rango establecido como envolvente.

En el nivel 3440, se ha obtenido como resultados de la interpolación de interceptos geoquímicos, la acumulación ubicada hacia el SUR-ESTE y SUR-OESTE esta acumulación enmarca los sectores que serán presentados como blancos para el proceso de explotación y extracción de mineral para blending, ver figura 90.



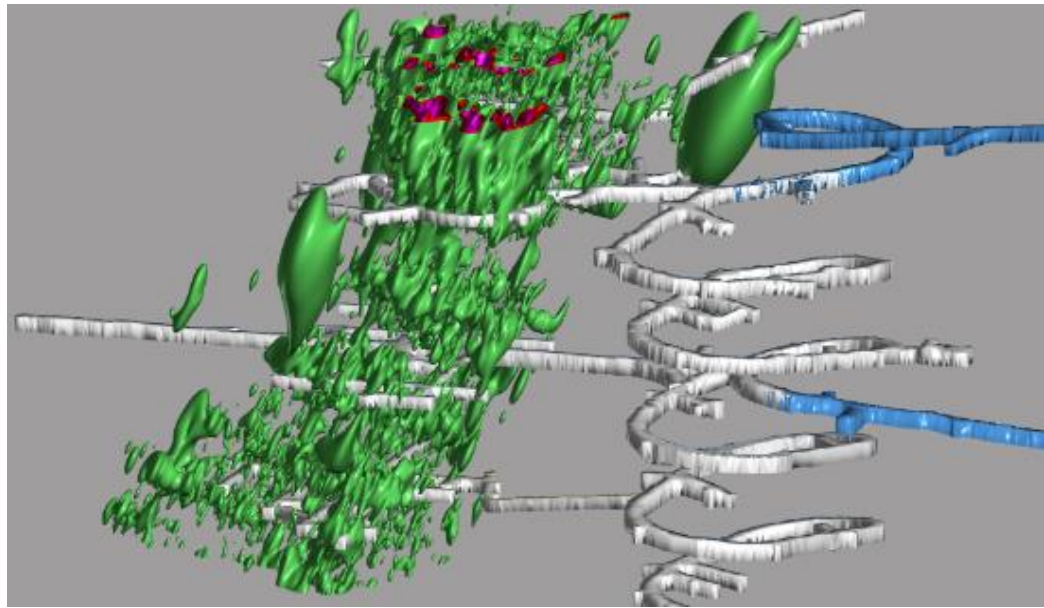
*Figura 90.* Mineralización y análisis geoquímico del nivel 3,440.

- **Interpretación geoquímica y mineralización económica**

La mineralización económica está vinculada directamente al proceso de emplazamiento, en la imagen se puede visualizar la tenencia espacial de la mineralización, como referencia se tiene la topografía de las labores subterráneas, la rampa de acceso, las que tienen por objetivo brindar acceso para los diferentes trabajos de minado y extracción de mineral económico.

Como resultado, también podemos decir que el proceso de mineralización controlado por estructuras abiertas y/o permeables, dieron la forma de ocurrencia del cuerpo de brecha, muchas de estas estructuras que dieron origen a la brecha Hidrotermal, en la actualidad solo se pueden encontrar vestigios o como sistema de relleno, ver figura 91.



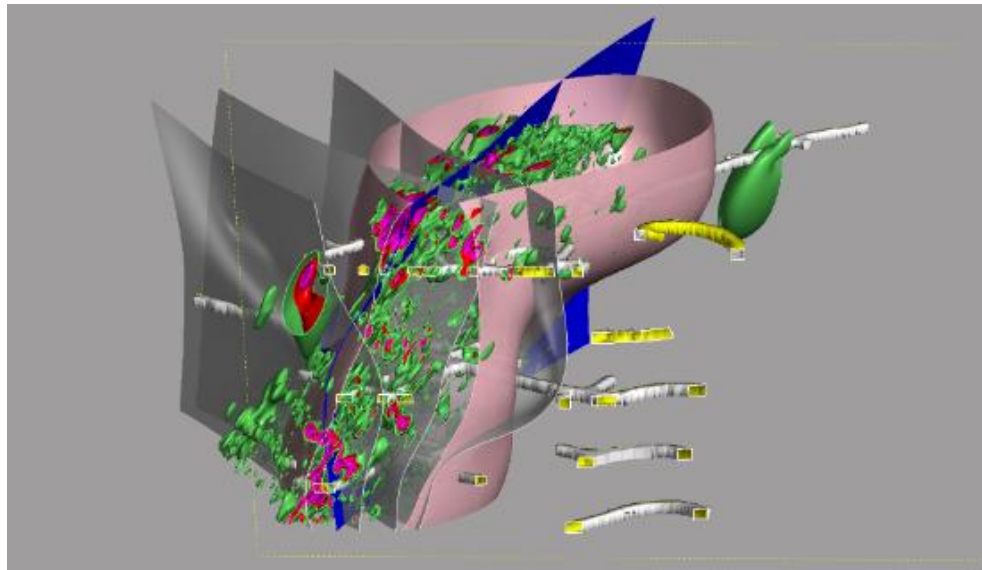


*Figura 91.* Interpretación geoquímica y mineralización económica.

- **Influencia estructural en la mineralización de la brecha hidrotermal**

Como paso posterior a la interpretación geoquímica e interpolación de datos numéricos, se visualiza el sistema de emplazamiento controlado por las estructuras de falla, estas estructuras han generado los dominios estructurales y geológicos.

También se puede verificar que el proceso de mineralización económica no se encuentra en toda la brecha, esta se encuentra vinculada a las estructuras principales y los sectores alejados de las fallas están vinculados a la mineralización de baja Ley de Cu%, ver figura 92.



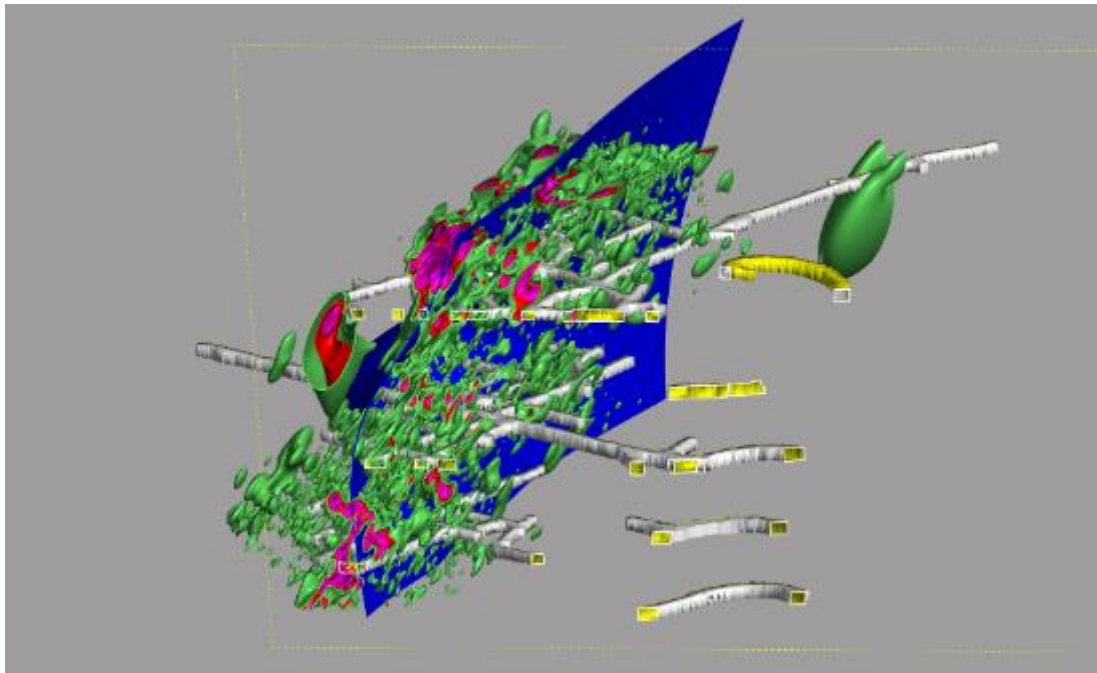
**Figura 92.** Influencia estructural en la mineralización de la brecha hidrotermal.

### 5.3.11 Análisis estructural del emplazamiento y origen de la mineralización

Como resultado del análisis Geoquímico – Estructural, se ha determinado que la estructura Inversa, ha sido la que ha controlado la orientación y tendencia de la mineralización y las Estructuras normales, fueron las permeables al fluido Hidrotermal que ha generado la brecha mineralizada.

La interpretación y modelado 3D, basados en la interpolación del cartografiado y el procesamiento espacial en tres dimensiones nos ha permitido entender el sistema, con estos resultados podemos determinar un proceso de minado para subniveles y llegar a sectores con poca información, la interpolación de datos geoquímicos nos permite también generar tendencias y predicciones en sectores que no tienen acceso mediante una labor subterránea y estas serán ejecutadas para facilitar un buen proceso de minado.

Para el proceso de planeamiento a corto plazo la interpolación de datos geoquímicos también permite generar un Modelo de bloques que será utilizado para determinar volumen y ley promedio de Cu%, ver figura 93.



**Figura 93.** Análisis estructural del emplazamiento y origen de la mineralización.



## VI. CONCLUSIONES

El cartografiado geológico de los niveles 3,540 – 3,480 y 3,440, evidencian tres diferentes litotipos, categorizados como: Andesita Porfírica (ANP), Brecha Hidrotermal (BXH) y Diorita Horblendica (DIOH). Siendo la Andesita Porfírica y Brecha Hidrotermal las que se encuentran involucradas con la mineralización económica. El muestreo geoquímico y la correlación espacial demostró que la mineralización de Cu (calcopirita) presenta acumulaciones económicas de alta, media y baja ley asociadas a las fallas existentes en la zona de estudio. Según la relación de zonas de alta ley, estructuras geológicas y muestrero geoquímico con Blashole, el cuerpo Mesa tiene una relación directa entre fallas normales e inversa, en el cual la falla Zorro actúa como feeder principal y las normales como secundarias. La falla inversa entre las fallas normales canaliza la mineralización al sector norte.

Los estudios de la metalogénesis del cuerpo Mesa, demostraron que las estructuras con tendencia Este – Oeste, fueron las más importantes para la mineralización económica de la brecha hidrotermal. Los rangos de temperatura de IF estuvieron entre los 280 y 320°C, que indican que es un yacimiento de tipo Brecha Hidrotermal mesotermal.

El modelamiento geológico tridimensional y los dominios estructurales del cuerpo Mesa, muestran zonas de alta ley minable; zonas de media y baja ley que ayudan al blending para llegar al objetivo del cutoff de 1.0% Cu; la orientación del cuerpo Mesa es de 320 a 340°NE y un buzamiento de 60°S; también nos da un modelo estructural, geoquímico y litológico para la caracterización del cuerpo Mesa como una Brecha Hidrotermal asociada a las fallas pre mineralización.



## VII. RECOMENDACIONES

Para el cartografiado geológico se requiere hacer labores de exploración, para detallar los contactos y bordes de la brecha.

En los sectores de alta ley se requieren hacer análisis ICP (mas 34 elementos), para evaluar la zonificación espacial del pórfido generados de la brecha. Así mismo se requieren hacer taladros blashole en labores de exploración en las zonas de contacto de brecha y caja.



## VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agustina C. (2019). Estudio estructural, mineralógico y geoquímico de la veta Dios Protege, Distrito minero Castaño Nuevo, San Juan, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 264-278.
- Anderson, E. D., & Grujic, D. (2014). Hydrothermal breccias and their relationship to tectonic evolution in the Himalaya. *Geological Society, London, Special Publications*, 412(1), 87-102.
- Arehart, G. B., & Channer, D. M. (2013). Hydrothermal breccias in the Alta Floresta Gold Province, Brazil: Genetic implications and exploration guidelines. In *Mineral Deposits of South America* (pp. 293-314). *Springer Berlin Heidelberg*.
- Ashworth, J. R. (2000). Hydrothermal breccias in ore deposits. In D. R. Lentz, (Ed.), *Mineral deposits of Canada: A synthesis of major deposit-types, district metallogeny, the evolution of geological provinces, and exploration methods* (pp. 417-438). *Geological Association of Canada*.
- Bagby, W. C. (1969). Genesis of hydrothermal breccias. *Economic Geology*, 64(2), 113-133.
- Bermudez Piraquive, A. (2011). Modelamiento Estructural basado en un análisis de deformaciones en el frente de piedemonte llanero Cordillera Oriental de Colombia. (Segmento comprendido entre Sabanalarga y aguazul). (Tesis de postgrado). *Universidad Nacional de Colombia, Bogota*.
- Bish, D. L. (1994). Hydrothermal alteration and brecciation. In K. E. Evans & J. R. Mallet, (Eds.), *Introduction to mineralogy* (pp. 487-501). Oxford University Press.
- Bissig, T., Mathur, R., & Rhys, D. (2014). Hydrothermal breccias in the Yanacocha gold district, Peru: styles, characteristics and fluid evolution. In *Hydrothermal Processes and Mineral Systems* (pp. 77-100). *Springer International Publishing*.
- Bowersox, G. W., Hitzman, M. W., & Ridley, W. I. (2007). Hydrothermal breccias and gold deposits in the Cripple Creek district, Colorado. *Economic Geology*, 102(2), 231-252.
- Castro Alama, J. (2019). Exploración Geológica y Estimación de Recursos de roca calizas en la Provincia de Paita, Región Piura. (Tesis de pregrado). *Universidad Nacional de Piura, Piura*.
- Chura Delgado, P. (2017). Evaluación Geológica de la Veta Serpiente del Yacimiento Muccumayo Carabaya - Puno. (Tesis de pregrado). *Universidad Nacional del Altiplano, Puno*.



- Cobbing, Edwin John; Sánchez Fernández, Agapito Wilfredo; Martínez Valladares, William; Zárate Olazabal, Héctor (1996) Geología de los cuadrángulos de Huaraz, Recuay, La Unión, Chiquián y Yanahuanca 20-h, 20-i, 20-j, 21-i, 21-j – [Boletín A 76] - Cobbing, Edwin John; Sánchez Fernández, Agapito Wilfredo; Martínez Valladares, William; Zárate Olazabal, Héctor. INGEMMET.
- Cooke, D. R. (1997). Hydrothermal alteration and breccias. In G. R. Lister & M. Forth, (Eds.), Geology of Australian ore deposits (pp. 197-212). *Australasian Institute of Mining and Metallurgy*.
- Cooke, D. R., Hollings, P., & Walshe, J. (2005). Giant hydrothermal ore systems on Pacific margins: deposit types and tectonic environments. *Economic Geology* 100th Anniversary Volume, 459-485.
- Corbett, G. J., & Leach, T. M. (1998). Geology and geochemistry of Carlin-type gold deposits, with emphasis on deposits from the Great Basin of western North America. *Economic Geology*, 93(5), 654-681.
- Diego A, Silvia C. G, Juan C. Candiani, Ramón C, K. Nakayima (2005). Teledetección, Imágenes Satelitales y Procesamiento Digital De Imágenes - *Procesamiento De Imágenes Aster Del Área De Sierra De Famatina, Provincia De La Rioja, República Argentina*.
- Einaudi, M. T., Hedenquist, J. W., Inan, E. E., & Zürcher, L. (2003). Sulfur isotope and fluid inclusion constraints on the origin of the Butte, Montana, *Cu-rich hydrothermal breccia system*. *Economic Geology*, 98(7), 1353-1370.
- Evelyng, P. C. (2016). Estudio geológico, mineralógico y de ocurrencia del yacimiento Imanniyoq, Distrito de Ccapacmarca-Cusco. (Tesis de pregrado). *Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Cusco*.
- Geology, A. (Julio de 2010). Significado tectónico y migración de fluidos hidrotermales en una red de fallas y vetas de un Dúplex de rumbo: un ejemplo del Sistema de Falla de Atacama. Obtenido de Revista Geológica de Chile: [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-71062010000200012](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-71062010000200012)
- Geoxnet. (Setiembre de 2019). Geología Estructural. <https://post.geoxnet.com/geologia-estructural/>
- Groves, D. I., Goldfarb, R. J., Gebre-Mariam, M., Hagemann, S. G., & Robert, F. (2003). Orogenic gold deposits: A proposed classification in the context of their crustal



- distribution and relationship to other gold deposit types. *Ore Geology Reviews*, 13(1), 7-27.
- Hedenquist, J. W. (1995). Epithermal gold deposits and breccias. In M. J. Jones, (Ed.), *Mineral deposits of Canada: A synthesis of major deposit-types, district metallogeny, the evolution of geological provinces, and exploration methods* (pp. 765-782). *Geological Association of Canada*.
- Heinrich, C. A., & Mernagh, T. P. (2005). The hydrothermal history and genesis of the Olympic Dam deposit, South Australia. *Economic Geology*, 100(5), 979-1008.
- Inan, E. E., & Schumann, A. (2012). Hydrothermal breccias in the Balya massive sulfide deposit, NW-Turkey: Evidence for a magmatic-hydrothermal origin. *Ore Geology Reviews*, 44, 45-60.
- José Manuel Lattus Sanhueza Universidad de Chile - Departamento de Geología (2011). *Utilización De Imágenes Satelitales En La Minería; Universidad de Chile – Departamento de Geología*.
- Kesler, S. E. (1973). Hydrothermal breccias and vein mineralization. *Economic Geology*, 68(7), 943-965.
- Luce, E. A. (1992). Hydrothermal breccia deposits. In C. R. M. Butt & R. J. Eckstrand, (Eds.), *Ore genesis: The state of the art* (pp. 107-128). Springer.
- McQueen, H. W. (1984). Hydrothermal alteration and breccias. In R. F. Symes & D. L. Hamilton, (Eds.), *Ore deposits: Origin, exploration, and exploitation* (pp. 209-223). *Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum*.
- Monecke, T. (2005). Hydrothermal alteration and mineralization. In H. R. Rollinson, (Ed.), *Metamorphic rocks: A classification and glossary of terms* (pp. 179-202). *Cambridge University Press*.
- Monreal Saavedra, R., & Hernández Rábago, P. Y. (2015). *Mi México es minero. México D.F: Asociación de Ingenieros de Minas, Metalurgistas y Geólogos de México, A. C.*
- Nacional, E. P. (s.f.). *Análisis Mineralógico y Metalúrgico*. Obtenido de <https://www.epn.edu.ec/analisis-mineralogico-y-metalurgico/>
- Nina, F. A. (2015). *Caracterización Geotécnica y modos de falla estructural en el talud en roca del cerro Espinal Juliaca. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno*.
- Ordoñez, J. M. (03 de junio de 2016). Aspectos-clave de la Geología. [https://www.sgp.org.pe/wp-content/uploads/Conferencia-03.06.16\\_Dr-Machare-pres.pdf](https://www.sgp.org.pe/wp-content/uploads/Conferencia-03.06.16_Dr-Machare-pres.pdf)





- Peters, S. G. (1994). Hydrothermal breccia petrogenesis. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 29(1), 233-258.
- Portugal, J. C. (2017). Geología, mineralización y evaluación económica del proyecto minero Virgilio. (Tesis de pregrado). *Universidad Nacional de San Agustín Arequipa, Arequipa*.
- Rye, R. O. (1974). Hydrothermal breccias and ore deposits. *Economic Geology*, 69(6), 971-996.
- Sillitoe, R. H. (2010). Breccia-hosted gold deposits of the Yanacocha district, northern Peru. *Economic Geology*, 105(2), 253-287.
- Sillitoe, R. H., & Hedenquist, J. W. (2003). Linkages between volcanotectonic settings, ore-fluid compositions, and epithermal precious metal deposits. *Mineralium Deposita*, 38(7), 845-869.
- Slack, J. F. (1998). Hydrothermal breccias in vein mineralization. In H. L. Barnes, (Ed.), *Geochemistry of hydrothermal ore deposits* (pp. 435-474). *John Wiley & Sons*.
- Tenja, 7. (s.f.). academia. [https://www.academia.edu/24698339/Clase\\_12\\_Netes\\_estereograficas](https://www.academia.edu/24698339/Clase_12_Netes_estereograficas)
- Vilca, P. V. (2016). Estudio Geológico y Analisis Estructural de la veta Cofreparatia-Provincia de Lampa, Departamento de Puno. (Tesis de pregrado). *Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa*.



## ANEXOS



Universidad Nacional  
del Altiplano Puno



Vicerrectorado  
de Investigación



Repositorio  
Institucional

### DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Willy Arnold Miranda Soriano  
identificado con DNI 45225054 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado

Ingeniería Geológica  
informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación para la obtención de  Grado  
 Título Profesional denominado:

Caracterización Geológica de La Brecha Hidrotermal Cuerpo Mesa -  
Hina Milagros - ANCASH  
" Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 11 de Mayo del 2023

  
FIRMA (obligatoria)



Huella



## AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo Willy Arnold Hiramida Soriano  
, identificado con DNI 45225054 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado

Ingeniería Geológica  
, informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación para la obtención de  Grado

Título Profesional denominado:

Caracterización Geológica de la Brecha Hidrotérmica Cuerpo Mesa -  
Pina Milagros - Arequipa

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 11 de MAYO del 20 23

  
FIRMA (obligatoria)



Huella