



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y
METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



TESIS

**CONTROL GEOLOGICO Y ESTRUCTURAL DE LA
MINERALIZACIÓN DE TIPO SULFURACIÓN INTERMEDIA -
MINA EL SANTO, CAYLLOMA**

PRESENTADA POR:

Bach. FREDY YUCRA ARONI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO GEÓLOGO

PUNO – PERÚ

2024



NOMBRE DEL TRABAJO

**CONTROL GEOLOGICO Y ESTRUCTURAL
DE LA MINERALIZACIÓN DE TIPO SULFU
RACIÓN INTERMEDIA - MINA EL SANTO,**

AUTOR

FREDY YUCRA ARONI

RECUENTO DE PALABRAS

17283 Words

RECUENTO DE CARACTERES

96324 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

144 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

41.8MB

FECHA DE ENTREGA

Nov 20, 2024 7:02 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Nov 20, 2024 7:03 AM GMT-5

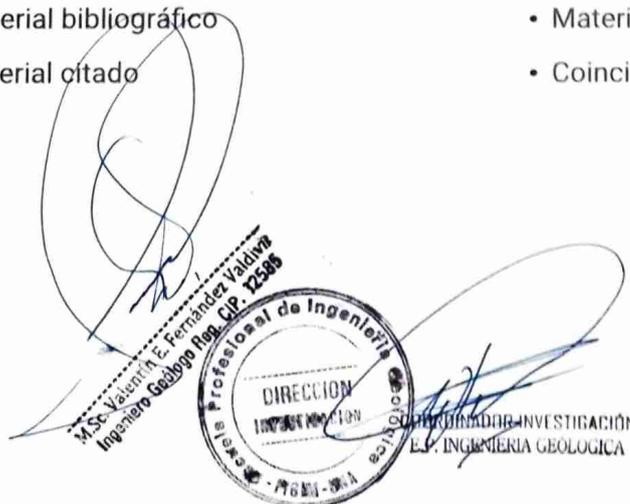
● **12% de similitud general**

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

- 11% 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 10 palabras)



Resumen



DEDICATORIA

Dedico este trabajo a toda mi familia, por su inquebrantable amor, apoyo y motivación. Les agradezco que hayan sido mi inspiración y me hayan enseñado a perseguir mis sueños con tenacidad y pasión. Este logro no habría sido posible sin vuestra inquebrantable fe en mí y vuestro apoyo.

Fredy Yucra Aroni



AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a las personas que han contribuido de alguna manera en la realización de esta tesis.

Agradecer la a la Empresa Auplata Mining Group Peru, Que me ha permitido acceder la información como mapeo geológico, secciones transversales y longitudinales y así culminar la investigación.

A la Universidad Nacional del altiplano, Faculta de Ingeniería Geológica y metalúrgica, Escuela Profesional de ingeniería geológica por su formación profesional.

Agradecer a mi director/asesor de tesis, M.Sc. Valentín Elías Fernández Valdivia por, sus tolerancia, consejos y tolerancia e inquebrantable ayuda durante el transcurso de la investigación. Sus perspicaces observaciones y recomendaciones han sido esenciales para alcanzar los objetivos propuestos.

Fredy Yucra Aroni



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ACRÓNIMOS	
RESUMEN	17
ABSTRACT.....	18
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1 GENERALIDADES.....	19
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	19
1.2.1 Problema general.....	19
1.2.2 Problemas Específicos	19
1.3 HIPÓTESIS	20
1.3.1 Hipótesis general	20
1.3.2 Hipótesis específicas	20
1.4 OBJETIVOS.....	20
1.4.1 Objetivos General.....	20
1.4.2 Objetivos Específico	20
1.5 JUSTIFICACIÓN	21



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1	ANTECEDENTES	22
2.1.1	Antecedentes internacionales	22
2.1.2	Antecedentes nacionales	24
2.1.3	Antecedentes regionales.....	25
2.2	GEOLOGÍA REGIONAL.....	26
2.2.1	Mesozoico	26
2.2.2	Cenozoico.....	29
2.2.3	Cuaternario.....	32
2.3	GEOLOGIA ESTRUCTURAL REGIONAL	35
2.3.1	Fases peruana e incaica	36
2.3.2	Fase quechua	37
2.3.3	Fase pliocénica.....	37
2.3.4	Formación de la caldera Caylloma.....	38
2.3.5	Fase cuaternaria.....	38
2.4	MARCO CONCEPTUAL	39
2.4.1	Depósitos de tipo epitermal.....	39
2.4.2	Clasificación de depósitos epitermales	41
2.4.3	Formación de depósitos epitermales intermedia sulfuración	45
2.4.4	Distribución en espacio y tiempo	46
2.4.5	Características de depósitos IS.....	49
2.4.6	Deformación superficial asociada a una falla de desgarre en profundidad: el experimento de Riedel	50
2.4.7	Análisis estructural de la deformación frágil	52



2.4.8	En busca de los “espacios” para la masa de mineral.....	54
-------	---	----

CAPÍTULO III

MÉTODOS Y MATERIALES

3.1	METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....	57
3.1.1	Para determinar las características geológicas que presenta la Mina el Santo.	57
3.1.2	Para identificar los controles estructurales de la mineralización que presenta la Mina El Santo	62
3.1.3	Para relacionar los controles litológicos sobre la distribución del mineral en los sistemas de vetas epitermales de Mina El Santo	68
3.1.	TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	70
3.2.	ETAPAS DE LA INVESTIGACIÓN.....	70
3.1.1	Recopilación y revisión de fuentes de información	70
3.1.2	Trabajo de campo	71
3.1.3	Trabajo de gabinete	73
3.3.	MATERIALES Y EQUIPOS.....	74

CAPÍTULO IV

CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

4.1	UBICACIÓN	76
4.2	ACCESIBILIDAD	76
4.3	GEOMORFOLOGIA	79
4.3.1	Unidad montañosa.....	79
4.3.2	Unidad glaciar	79
4.4	GEOLOGIA LOCAL	82
4.4.1	Lava andesítica.....	83



4.4.2	Brecha volcánica andesítica monomictica	84
4.4.3	Toba andesítica.....	84
4.4.4	Toba lapilli andesítica	85
4.4.5	Dique andesítico.....	86
4.5	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL LOCAL	89
4.5.1	Veta San Cristóbal.....	89
4.5.2	Veta Ánimas.....	89
4.5.3	Veta Lucero	90
4.5.4	Veta Milett	91
4.5.5	Veta Barita	92
4.5.6	Veta el Ángel.....	93
4.5.7	Veta Nancy.....	93
4.5.8	Veta el Diablo	94
CAPÍTULO V		
RESULTADOS		
5.1	CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE LA MINA EL SANTO	97
5.1.1	Cartografiado geológico.....	97
5.1.2	Muestreo en interior mina	100
5.1.3	Mineralización.....	102
5.1.4	Paragénesis	103
5.1.5	Alteración hidrotermal	106
5.2	CONTROLES ESTRUCTURALES SOBRE SISTEMA DE VETAS EPITERMALES.....	106
5.2.1	Orientaciones de sistemas estructurales en la mineralización.....	106
5.2.2	Peleoesfuerzos tectónicos en sistemas estructurales	111



5.3	CONTROLES LITOLÓGICOS SOBRE LA DISTRIBUCIÓN DEL MINERAL EN LOS SISTEMAS DE VETAS EPITERMALES.	127
5.3.1	Rocas volcánicas - Andesitas	130
5.3.2	Areniscas	131
5.3.3	limolitas-lutitas.....	131
5.3.1	Areniscas Cuarzosas.....	132
5.3.2	Modelo cinemático estructural de la mineralización	135
VI.	CONCLUSIONES	137
VII.	RECOMENDACIONES	138
VIII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	139
ANEXOS		142

Área:

Tema

Fecha de sustentación



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Evolución de los esquemas de clasificación para depósitos epitermales.....	42
Tabla 2 Coordenadas de Ubicación del Área de Estudio.....	76
Tabla 3 Accesibilidad a la Mina El Santo.....	77



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Relación espacio-tiempo entre los tipos de yacimientos y magmatismo asociado en la Cordillera occidental del sur del Perú.....	25
Figura 2 Columna Estratigráfica del Cuadrángulo de Caylloma.	33
Figura 3 Modelo estructural de las vetas.	36
Figura 4 Las fallas conjugadas y de rumbo ocurren en la etapa final de la compresión.	37
Figura 5 Ejemplos de cuerpos mineralizados en yacimientos epitermales.....	41
Figura 6 El diagrama de correlación de temperatura y fugacidad de azufre.....	44
Figura 7 Distribución global de depósitos IS.....	47
Figura 8 Distribución de la edad de mineralización de los depósitos de SI en el mundo (n = 43).	48
Figura 9 Tipos de fallas atendiendo al movimiento.....	51
Figura 10 Fracturas secundarias en un experimento similar al modelo Riedel,	52
Figura 11 Comportamiento estructural de cizalla simple y sistema de Riedel	54
Figura 12 Relieves tipo pull-apart y pop-up	55
Figura 13 Desarrollo de un dúplex en extensión y compresión con estructuras tipo flor negativa y positiva	55
Figura 14 Sección transversal de la estructura.....	59
Figura 15 Muestreo de canales.....	60
Figura 16 Identificación de estructuras mineralizadas.....	62
Figura 17 Software libre, Faultkin 7.	64
Figura 18 El programa Faultkin 7, análisis cinemático de la falla.....	64



Figura 19	Ilustraciones transversales de controles comunes de oreshoot en sistemas de falla normal y normal-oblicua.	66
Figura 20	La identificación de estructura y tipo de estructura en job extencional. ...	69
Figura 21	Sección longitudinal litológico y izovalores de Zn%	70
Figura 22	Recopilación de información basado en revisión de planos geológicos y estructurales regionales, locales.	71
Figura 23	Caracterización geológica en interior mina. El Santo.	72
Figura 24	a) Mapeo geológico de Subnivel, b) interpretación de la estructura (veta, falla), c) Análisis cinemático de las fallas	73
Figura 25	Las orientaciones de las estructuras a partir de software dips, en determinación de familias V1:260°/78°, V2:242°/72°, V3:060°/86°	74
Figura 26	Contacto geológico de los 3 tipos de litología.....	82
Figura 27	Lava Andesítica.	83
Figura 28	Brecha volcánica andesítica monomíctica.....	84
Figura 29	Toba andesítica.	85
Figura 30	Afloramiento de toba lapilli andesítica.....	86
Figura 31	Dique andesítico.	87
Figura 32	Veta Lucero	90
Figura 33	Veta Milett.....	91
Figura 34	Veta Barita.....	92
Figura 35	Veta el Ángel	93
Figura 36	Veta Nancy	94
Figura 37	Veta Nancy	95
Figura 38	Caracterización geológica.....	97
Figura 39	Mapeo geológico	98



Figura 40	Secciones geológicas	98
Figura 41	Identificación de estructuras mineralizadas.....	100
Figura 42	Preparación de las muestras.....	100
Figura 43	Estructura bandeada de mena comprendida por Ag, Cu, Zn, Pb.....	103
Figura 44	Paragénesis	105
Figura 45	Modelo estructural de Caylloma	107
Figura 46	Sistema estructura de la mina El Santo.	108
Figura 47	Sección transversal de la mina El Santo.....	109
Figura 48	Gráfico de contorno y roseta de pseudoestratificación.....	111
Figura 49	Gráfico de Contorno y roseta de dique.....	112
Figura 50	Gráfico de Contorno y roseta de fractura.	113
Figura 51	Gráfico de Contorno y roseta de falla definida.....	114
Figura 52	Cuadro de cantidad de datos estructurales BD: Seudostratificación, DK: Dique, FR: Fractura y FTC: Falla definida.....	114
Figura 53	Análisis cinemático de la falla fuerte de la zona El Diablo y El Angel. .	116
Figura 54	Análisis cinemático de la falla longitudinal de veta El Diablo.....	117
Figura 55	Análisis cinemático de la falla de la zona de triunfo.....	118
Figura 56	Veta Vanesa frente de la labor.....	120
Figura 57	Veta Vanesa estructura Job extensional.	120
Figura 58	Veta Vanesa, Estructura en echelon con potencia de veta de 0.95 m.....	121
Figura 59	Veta El Ángel, estructura bandeada. Crustiforme	122
Figura 60	Falla longitudinal, veta El Ángel.....	122
Figura 61	Veta EL Diablo, estructura vetiforme.....	123
Figura 62	Estructura tipo Jog extensional.....	124
Figura 63	Veta El Santo vista hacia SW-NE.	125



Figura 64	Veta Vanesa inflexiones agrupadas de contraste reológico.....	127
Figura 65	Sección longitudinal de la veta Vanesa con vista SW-NE.....	128
Figura 66	Sección longitudinal de Zn de la veta Vanesa con vista SW-NE.....	129
Figura 67	Sección longitudinal litológico y izovalores de Zn%	130
Figura 68	Mapeo geológico en rocas volcánicas - Andesitas	130
Figura 69	Mapeo geológico en areniscas	131
Figura 70	Mapeo geológico en limolitas - lutitas	131
Figura 71	Mapeo geológico en areniscas cuarzosas	132
Figura 72	Modelo estructural de Mina el Santo.....	136



ACRÓNIMOS

COD GRADO DE FRACTURAMIENTO

fw	Débilmente Fracturado
f-	Fracturado
fm	Moderadamente Fracturado
fs	Fuertemente Fracturado
fi	Intensamente Fracturado

COD TIPO DE ESTRUCTURA

FTC	Falla Definida
FTI	Falla Inferida
FBX	Brecha Falla
BD	Estratificación
FR	Fractura
STBK	Zona de Intenso Fracturamiento
VLS	Venilla (<10cm)
VTS	Vetilla (10-40cm)
VN	Veta (>40cm)
CL	Contacto Litológico

COD LITOLOGIA

VBXM- And	Brecha volcánica andesítica monomíctica
VBXP- And	Brecha volcánica andesítica polimíctica
VBX-Dac	Brecha volcánica dacítica
TUF-And	Toba Andesítica
LMST	Caliza
QTZ	Cuarcita
SL	Limotias-lutitas
SS	Arenisca
AND	Andesita
FBX	Brecha de falla
HBX	Brecha hidrotermal
CkBx-Sil	Brecha craquelada silicificada
Ox	Óxidos (OxFe)
Qz	Cuarzo



Sulf	Sulfuro
FTC	Zona de falla
COD	TIPO DE ALTERACIÓN
ARGAV	Argílica avanzada (sil-kao-al-dik)
ARG-W	Argílica débil (sm-kao)
ARG-M	Argílica moderada (ill & kao - ill-sm)
ARG-S	Argílica fuerte (dik-ill-kao)
PROP-W	Propilítica débil (sm-chl-cac-py)
PROP-M	Propilítica moderada (chl-cb)
PROP-S	Propilítica fuerte (ep-chl-cb-py)
SIL-W	Silicificación débil (sil-op)
SIL-M	Silicificación moderada (sil-cr-tri)
SIL-S	Silicificación fuerte (qz)
COD	MINERALES
Sph	Esfalerita
Gn	Galena
Cpy	Calcopirita
Py	Pirita
Ca	Calcita
Qz	Cuarzo
Rdn	Rodonita



RESUMEN

El estudio es un yacimiento de tipo epitermal de sulfuración intermedia ricos en Pb, Zn, Cu (Au, Ag), se encuentra ubicado a 4500 msnm en el distrito y provincia de Caylloma, Departamento de Arequipa. El objetivo principal de esta investigación es determinar los controles geológicos y estructural del yacimiento tipo epitermal de intermedia sulfuración de la Mina El Santo, se utilizó una metodología descriptiva e interpretativa con base de datos obtenidos en la investigación, para determinar las características geológicas, identificación de controles estructurales y la relación de controles litológicos sobre la distribución del mineral. El yacimiento, se emplaza en las rocas del Grupo Yura con capas delgadas de limolitas – areniscas violacio, grises y oscuras, en discordancia angular cubierta de una secuencia volcánica del Grupo Tacaza, rocas volcánicas con coladas de lava andesítica. Las rocas volcanoclásticas suelen formar capas delgadas de 2 a 5 m de espesor con rocas volcánicas de andesitas retrabajadas y los flujos de andesita varían de grano grueso a grano fino. Los resultados de los controles geológicos sobre la distribución del mineral en los sistemas de vetas epitermales que presenta la mineralización de Mina El Santo, son estructuras extensionales que presenta el sistema de vetas Jog extensional, en Echelon y lazo sigmoide de relleno de sulfuros. Las vetas están asociadas a estructuras de 2do Orden con dirección NE-SW de movimiento dextral-normal con Az/Bz N050°-055°/65°-85°E y sistema de vetas son de 3er orden la mayoría NE-SW de movimiento dextral-normal con Az/Bz N260°-240°/70°-85°E.

Palabras clave: Cinemática, Epitermal, Estructura, Yacimiento.



ABSTRACT

The study is a deposit of intermediate sulfidation epithermal type rich in Pb, Zn, Cu (Au, Ag), is located at 4500 meters above sea level in the district and province of Caylloma, Department of Arequipa. The main objective of this research is to determine the geological and structural controls of the epithermal deposit type of intermediate sulfidation of the El Santo Mine, a descriptive and interpretative methodology was used based on data obtained in the research, to determine the geological characteristics, identification of structural controls and the relationship of lithological controls on the distribution of ore. The deposit is located in rocks of the Yura Group with thin layers of siltstones - violacio, gray and dark sandstones, in angular discordance covered by a volcanic sequence of the Tacaza Group, volcanic rocks with andesitic lava flows. The volcanoclastic rocks usually form thin layers 2 to 5 m thick with reworked andesite volcanic rocks and the andesite flows vary from coarse-grained to fine-grained. The results of the geological controls on the distribution of ore in the epithermal vein systems that present the mineralization of Mina El Santo, are extensional structures that present the extensional Jog vein system, in Echelon and sigmoid loop of sulfide filling. The veins are associated with 2nd Order structures with NE-SW direction of dextral-normal movement with Az/Bz N050°-055°/65°-85°E and vein system are 3rd order mostly NE-SW of dextral-normal movement with Az/Bz N260°-240°/70°-85°E.

Keywords: Kinematics, Epithermal, Structure, Deposit,



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 GENERALIDADES

El proyecto se encuentra en la cordillera occidental, en el Distrito de Caylloma, la zona de estudio es de gran importancia, porque nos brinda información muy útil para las exploraciones y minado de los depósitos epitermales.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1 Problema general

¿Cómo influyen los controles geológicos y estructurales en la mineralización del depósito de epitermal de sulfuración intermedia en la Mina el Santo?

1.2.2 Problemas Específicos

- ¿Qué características geológicas presenta la Mina el Santo?
- ¿Cuál es la relación de la geología estructural con la mineralización Mina el Santo?
- ¿Cuál es la relación de la litología con la mineralización en Mina el Santo?



1.3 HIPÓTESIS

1.3.1 Hipótesis general

Los controles geológicos y estructurales que intervienen en la mineralización del yacimiento tipo epitermal de sulfuración intermedia Mina El Santo – Caylloma.

1.3.2 Hipótesis específicas

- Con mapeo geológico y muestreo sistemático se identifica las características geológicas de la mina El Santo.
- Existe la relación entre el sistema estructural y la mineralización de la mina El Santo.
- Existe la relación entre la mineralización de la mina El Santo y las distintas unidades litológicas.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivos General

Determinar los controles geológicos y estructurales en un yacimiento de epitermal de intermedia sulfuración de la Mina El Santo.

1.4.2 Objetivos Específico

- Determinar las características geológicas que presenta la Mina el Santo.
- Identificar los controles estructurales de la mineralización que presenta la Mina El Santo.



- Relacionar los controles litológicos sobre la distribución del mineral en los sistemas de vetas epitermales de Mina El Santo.

1.5 JUSTIFICACIÓN

La fiabilidad es una preocupación de la sociedad actual que no puede ignorarse en la fase de planificación y explotación. El principal propósito de las exploraciones es encontrar cuerpos, zonas mineralizadas adicionales para incrementar los recursos, reservas y prolongar la vida útil de la Mina El Santo, así conocer el comportamiento estructural del yacimiento

Este trabajo contribuirá a un mayor conocimiento de los controles geológicos y estructurales de esta forma, servirá de guía para seguir explorando más regiones mineralizadas de tipo epitermales de sulfuración intermedia de Zn-Pb-Ag±Cu-Au. con características similares al sistema de vetas, así como para seguir investigando minerales adicionales relacionados con estos eventos magmáticos. Con este trabajo, esperamos mostrar cómo la litología y los factores estructurales afectan a los clavos mineralizados de los sistemas de vetas.

Es crucial entender los controles estructurales como el tipo de estructura de la veta, la cinemática de la falla, así también la litología en cómo se emplazan y forman la mineralización en vetas de yacimiento tipo epitermal sulfuración intermedia.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES

2.1.1 Antecedentes internacionales

Según Camprubí y Albinson (2006), los distritos de Pachuca-Real del minerales de clase mundial, lo que hace que esta clasificación de yacimientos sea históricamente la más importante para México desde el punto de vista económico. También es uno de los temas más intrigantes para el desarrollo de yacimientos minerales y el estudio científico, particularmente a la luz del descubrimiento de sus conexiones genéticas con otras tipologías como los yacimientos metalíferos de skarn y pórfido.

Además, dado que cualquier nuevo modelo requiere más pruebas para completarse, los recientes cambios en los nombres y definiciones de los tipos y subtipos de yacimientos epitermales y la definición de inclusividad y exclusividad que sigue seguirá siendo tema de debate durante algún tiempo. En general, destacaron la fuerte correlación entre los depósitos de pórfidos y epitermales de sulfuración alta e intermedia. También señalaron que los depósitos de sulfuración intermedia y baja se excluyen mutuamente en el espacio y el tiempo en algunas regiones, como la Gran Cuenca de Nevada. (Sillitoe y Hedenquist, 2003)

Los tipos de yacimientos epitermales de sulfuración baja e intermedia coexisten en los mismos lugares, se desarrollaron dentro de los mismos rangos temporales e incluso se dan juntos dentro del mismo yacimiento en el caso de los



yacimientos epitermales de México; no son mutuamente excluyentes. Con la única excepción conocida de un yacimiento del Paleoceno, todos estos yacimientos son de edad terciaria, y van del Luteciense al Aquitano-Burdigaliense (o Eoceno medio a Mioceno temprano). Su distribución temporal y espacial se asimila mucho al desarrollo del vulcanismo de arco continental de la Sierra Madre Occidental y la Sierra Madre del Sur. Sólo un pequeño número de depósitos de alta sulfuración (HS) han sido reportados en el noroeste de México, donde la gran mayoría de los depósitos epitermales son de baja sulfuración (LS) o de sulfuración intermedia (IS). (Hedenquist *et al.*, 2000)

No es posible caracterizar muchos depósitos epitermales en México como depósitos BS (principalmente depósitos de Ag y Au asociados a las salmueras de menor salinidad) o SI (depósitos polimetálicos asociados a las salmueras más salinas) únicamente, ya que estos depósitos muestran características compuestas de los estilos de mineralización BS y AS. Por lo tanto, en este estudio proponemos emplear un sistema de clasificación empírico basado en tres tipos de mineralización (A, B y C) para los depósitos SI+BS, o depósitos epitermales alcalinos/neutrales. (Sillitoe y Hedenquist, 2003)

Los yacimientos de tipo A (también conocidos como tipo SI) se encuentran a mayor profundidad y proceden de aguas salinas extremadamente profundas, con signos mínimos de ebullición. La mineralización presente en estos depósitos es únicamente SI y es constantemente polimetálica. La forma más común de depósito epitermal en México se denomina forma B (o tipo BS-SI), y consiste en depósitos con raíces polimetálicas SI (Zn-Pb) pero principalmente características BS. Los yacimientos clasificados como tipo C, o tipo BS, son los que presentan únicamente mineralización BS. A menudo se crearon por ebullición de soluciones



salinas de salinidad relativamente baja en la sección superior de los yacimientos, lo que dio lugar a los contenidos más altos de metales preciosos y más bajos de metales básicos de los yacimientos.

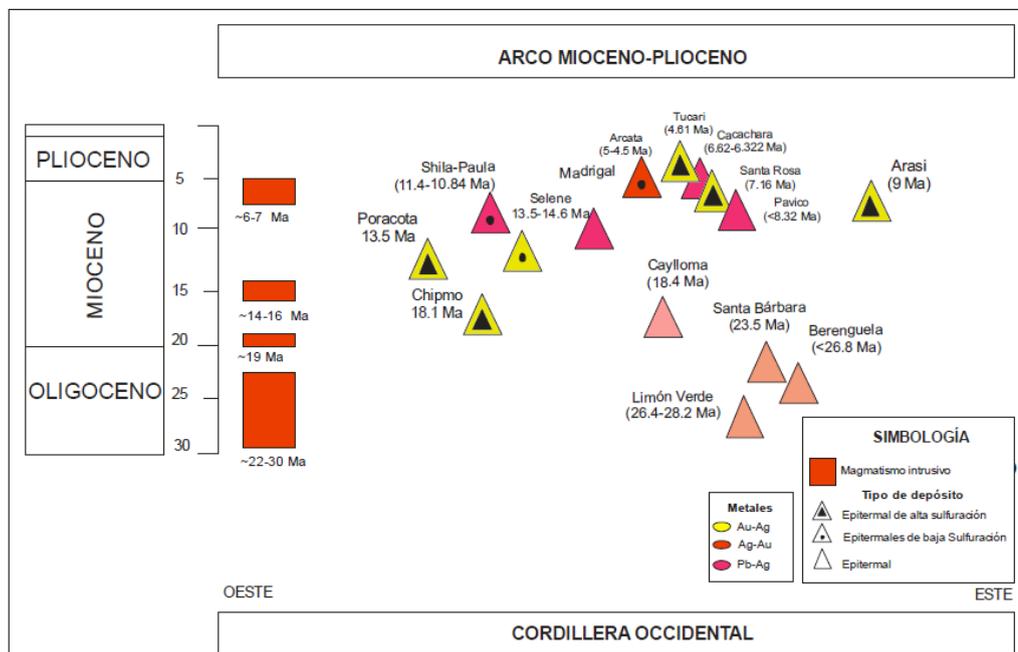
2.1.2 Antecedentes nacionales

Acosta y Huanacuni (2018) El Corredor Puquio Caylloma, formado por los sistemas de fallas de Cincha-Lluta, Incapuquio y Condoroma Caylloma, alberga el cinturón epitermal de Au-Ag del Mio-Plioceno.

Las rocas volcánicas pertenecientes a los grupos Tacaza y Barroso presentan mineralización. Los depósitos epitermales de Ag de Cacachara y Pavico, los depósitos epitermales de Au de alta sulfuración de Tucari (7,16 Ma; UBC, 2004 en Barreda et al., 2004), y los proyectos Baños del Indio, Pucamarca y Mazo Cruz se encuentran entre las fallas E-O localmente controladas (centros efusivos e hidrotermales). La mineralización de este cinturón data de 5 a 6 MA.

Figura 1

Relación espacio-tiempo entre los tipos de yacimientos y magmatismo asociado en la Cordillera occidental del sur del Perú.



Estudio de los volcánicos cenozoicos del sur del Perú y su relación con la metalogenia Fuente: Acosta y Huanacuni (2018)

2.1.3 Antecedentes regionales

Acosta y Huanacuni (2018) La mineralización se produce en vetas de sulfuración intermedia que se alojan en rocas volcánicas andesíticas y volcanoclásticas del Mioceno, así como en menor medida, en rocas sedimentarias del basamento del Jurásico. La edad de las rocas volcánicas con matriz andesítica es de $20,3 \pm 0,11$ Ma. Las edades de postmineralización de biotita y sanidina de un domo riolítico arrojan $11,8 \pm 0,8$ y $12,25 \pm 0,07$ Ma, respectivamente, mientras que la edad de la alteración hidrotermal, datada en vetas de adularia, es de $18,35 \pm 0,17$ Ma. Los minerales que componen la mena incluyen tetraedrita, galena, calcopirita y esfalerita. Cuarzo, rodonita, calcita, pirita y rodocrosita y en



menor cantidad, barita, adularia e illita, son los minerales que constituyen la ganga.

Existen dos formas de alteración hidrotermal: propilitización (clorita-calcita-illita) y silicificación (cuarzo-adularia y cuarzo-illita). Las vetas bandeadas presentan cuatro fases distintas de mineralización: (1) minerales de manganeso; (2) cuarzo-sulfuros; (3) cuarzo-calcita; y (4) cuarzo sacaroidal, calcedonia y pirita. Los ciclos bandeados de la etapa de manganeso (rodonita-calcita-calcedonia tardía, cuarzo de grano medio a grueso y sulfuros) generan bandas de mineral de más de un metro de espesor y espesores que oscilan entre unos pocos mm y 5 cm. (Acosta y Huanacuni, 2018)

2.2 GEOLOGÍA REGIONAL

2.2.1 Mesozoico

2.2.1.1 Grupo Yura (J-c)

A. Formación Puente (Jms-pu)

La formación Puente en el cuadrángulo de Caylloma presenta un solo afloramiento y está compuesta por areniscas y areniscas cuarzosas litológicamente grises oscuras a parduscas de grano medio a fino en capas de 10-20 cm, intercaladas con lutitas grises oscuras a claras en capas de 5-10 cm. Dentro de estos depósitos se han descubierto ammonites del periodo caloviano. Aunque se desconoce la base del puente, su techo atraviesa la Formación Cachios, que se cree tiene unos 1.000 metros de espesor. (Davila,1988)



B. Formación Cachios (Js-cs)

Las características litológicas de la formación Cachios, que aflora en el anticlinal de la quebrada Ichohuayjo, son lutitas disgregables de color gris oscuro a negro en estratos de 5 a 10 cm, intercaladas con algunas areniscas negras de grano fino en estratos de 10 a 20 cm. (Davila,1988)

C. Formación Labra (JKi-la)

La litología de esta unidad consiste en intercalaciones de grano medio a fino de areniscas grises a grises oscuras en capas de 10-20 cm, acompañadas de lutitas grises oscuras en capas de 5-15 cm. Existen capas de areniscas ferruginosas de color marrón a marrón claro y lutitas grises a gris claro, que meteorizan hasta un color marrón rojizo. (Davila,1988)

D. Formación Gramadal (Ki-gr)

La mayor parte de esta formación está constituida por bancos de calizas arrecifales grises, oolíticas y ricas en fósiles. la Formación Gramadal se extiende unos 200 metros.

Litológicamente, se compone de calizas grises fosilíferas en bancos de 10 a 20 cm, con areniscas de color blanco grisáceo en la parte superior y niveles pelíticos negros intercalados en la base. La meteorización de las calizas, que debe incluir hierro, ha dado a toda la unidad un color rojizo. (Davila,1988)



E. Formación Hualhuani (Ki-hu)

Litológicamente, se compone de areniscas cuarcíticas blancas, de grano medio a fino, dispuestas en capas de 2-3 cm con estratificación cruzada; la meteorización ha hecho que las areniscas adquieran colores rojizos claros debido a la presencia de hierro con 250 metros es el espesor. (Davila,1988)

2.2.1.2 Formación Murco (ki-mu)

Formación Murco: Miembros A, B, C y D, cuyos afloramientos se sitúan al este de Caylloma;

Miembro "A": Esquistos rojizos-violáceos con tamaños de grano medio-fino organizados en estratos de 20-50 cm se intercalan con areniscas rojizas-verdosas en estratos de 20-25 cm.

Miembro "B": Aquí se encuentran areniscas rojizas, verdosas y violáceas, así como intercalaciones de areniscas de cuarzo amarillentas y rojizas de grano medio a fino en estratos de 1 a 2 m. La estratificación cruzada indica un ambiente deposicional costero, un espesor aprox. 350 m.

Miembro "C": Capas de arenisca gris rojiza de grano fino y areniscas cuarzosas de grano medio a fino de color blanco amarillento y estratificación cruzada en estratos de 1 a 5 m. se estima aprox. 200 m.

Miembro "D": Areniscas rojizas de grano fino con lutitas rojas intercaladas con estratificación laminar. Hacia la cumbre pueden



observarse capas de caliza gris y areniscas calcáreas rojizas. El espesor de esta unidad más o menos 500 m. (Davila,1988)

2.2.1.3 Formación Arcurquina (Kms-Ar)

Litológicamente se compone de caliza en capas de 10 a 50 cm de color arenoso, marrón claro, marrón grisáceo, gris o negro grisáceo.

Calizas negras y areniscas calcáreas de color negro grisáceo se encuentran en el afloramiento al noroeste de Suyckutambo. El grosor de la parte aflorante de la formación Arcurquina aprox. 100 m. (Davila,1988).

2.2.2 Cenozoico

2.2.2.1 Grupo Tacaza (mioceno)

Junto con los flujos basálticos locales (andesitas basálticas grises oscuras con textura afanítica), esta formación está compuesta por las Formaciones Orcopampa e Ichoccollo. Estas formaciones se caracterizan por una serie de deslizamientos, brechas de flujo, aglomerados y tobas, que son ocasionalmente brechificadas y en su mayoría de composición andesítica. (Davila,1988)

A. Formación Orcopampa (Tm – Or)

Se han identificado tres componentes distintos de la Formación Orcopampa, denotados como "A", "B", y "C", que van desde el piso hasta el techo. Davila (1988)

Miembro “A”. - Estratificación poco profunda, compuesta por areniscas, brechas y lavas grises, verdosas y violáceas, que son



generalmente de composición andesítica de grano medio a fino. También incluye paquetes gruesos de lavas andesíticas afaníticas y porfídicas. El espesor medio del miembro "A" es de 1.000 m. Davila (1988)

Miembro "B". - Formado por bancos de tobas y conglomerados compactos, de color crema o amarillento, cuya altura oscila entre uno y tres metros. Entre estos bancos hay algunas capas de areniscas tobáceas y verdosas. El espesor de este bloque es de unos 300 m. Davila (1988)

Miembro "C". Litológicamente, este grupo se compone de areniscas de grano fino a medio que van del gris verdoso al violeta, con estratificación laminar y partículas volcánicas. Se cree que este componente tiene más de 1.000 metros de espesor. Davila (1988)

B. Formación Ichocollo (Tm – Ich)

Litológicamente consiste en lavas andesíticas a andesítico-basálticas en la parte superior y lavas dacíticas y domos en la base, las lavas son de color gris a gris oscuro, afaníticas y porfíricas. Con espesor de 800 metros. (Davila, 1988)

2.2.2.2 Formación Sencca (Ts –Se)

Una lava subhorizontal con buzamiento de 10° a 15° hacia el suroeste, intercalaciones con horizontes de material clástico, tobas y tobas de composición dacítica-riolítica, colores blanquecinos y amarillentos, y origen piroclástico de tipo explosivo y fluidal conforman esta formación volcánica de importancia regional. Una potencia que varía de entre los 30 a 200 metros. Davila (1988)



2.2.2.3 Formación Pusa (Tq – Pu)

Litológicamente, se compone de areniscas de color crema a amarillento, lodos laustrinos de origen tobáceo y finas intercalaciones de areniscas finas con una matriz tobácea. La Formación Pusa tiene un espesor de + 100 m. (Davila,1988)

2.2.2.4 Grupo Barroso (Pleistoceno)

Grupo Barroso se han clasificado en función de su tipo y modo de emplazamiento en estrato-volcán, lava-domo, domo y otros.

Litológicamente constan de lavas andesíticas, grises, afaníticas en la base y porfiríticas en el techo. (Davila,1988)

a) Estrato Volcán (Qpl-Ba-Ev)

Está compuesto por lavas andesíticas porfídicas con disyunción en bloques en el techo y lavas andesíticas afaníticas con disyunción planar en la base.

b) Domo Lava (Qpl-Ba-Dl)

Litológicamente está constituido por lavas andesíticas de textura porfiríticas fluidal.

c) Domo (Qpl-Ba-D)

Situado en Cerro Potosí, a 4 km al sureste de la mina El Santo, este yacimiento representa la etapa final del vulcanismo del Grupo Barroso.



Este domo tiene una estructura porfídica, una composición dacítica, un color gris y secciones fluidas y traquíticas.

d) Otros Aparatos Volcánicos (Qpl-Ba-O)

Mientras se depositaba el Grupo Barroso, se produjeron periódicamente pequeñas efusiones magmáticas creadas por volcanes. Está compuesto por lavas andesíticas monogenéticas, grises, con texturas afaníticas y/o porfídicas. (Davila,1988)

2.2.3 Cuaternario

a) Depósitos Morrenicos y Fluvioglaciares (Qpl-Mo / Qpl-Glf)

Depósitos constituidos principalmente por clastos volcánicos de textura angulosa que residen en una matriz limo-arenosa, junto con morrenas y sedimentos de grava, arena y granulometría limosa no consolidada, con dimensiones que oscilan entre 20 y 60 metros. (Davila , 1988)

b) Depósitos Recientes (Qr)

Estos depósitos consisten en conos de deyección que han provocado corrimientos de tierras. Consisten en estratos con una estratificación menor de limo, arena y grava que se encuentran en los lechos de los ríos. (Davila , 1988)

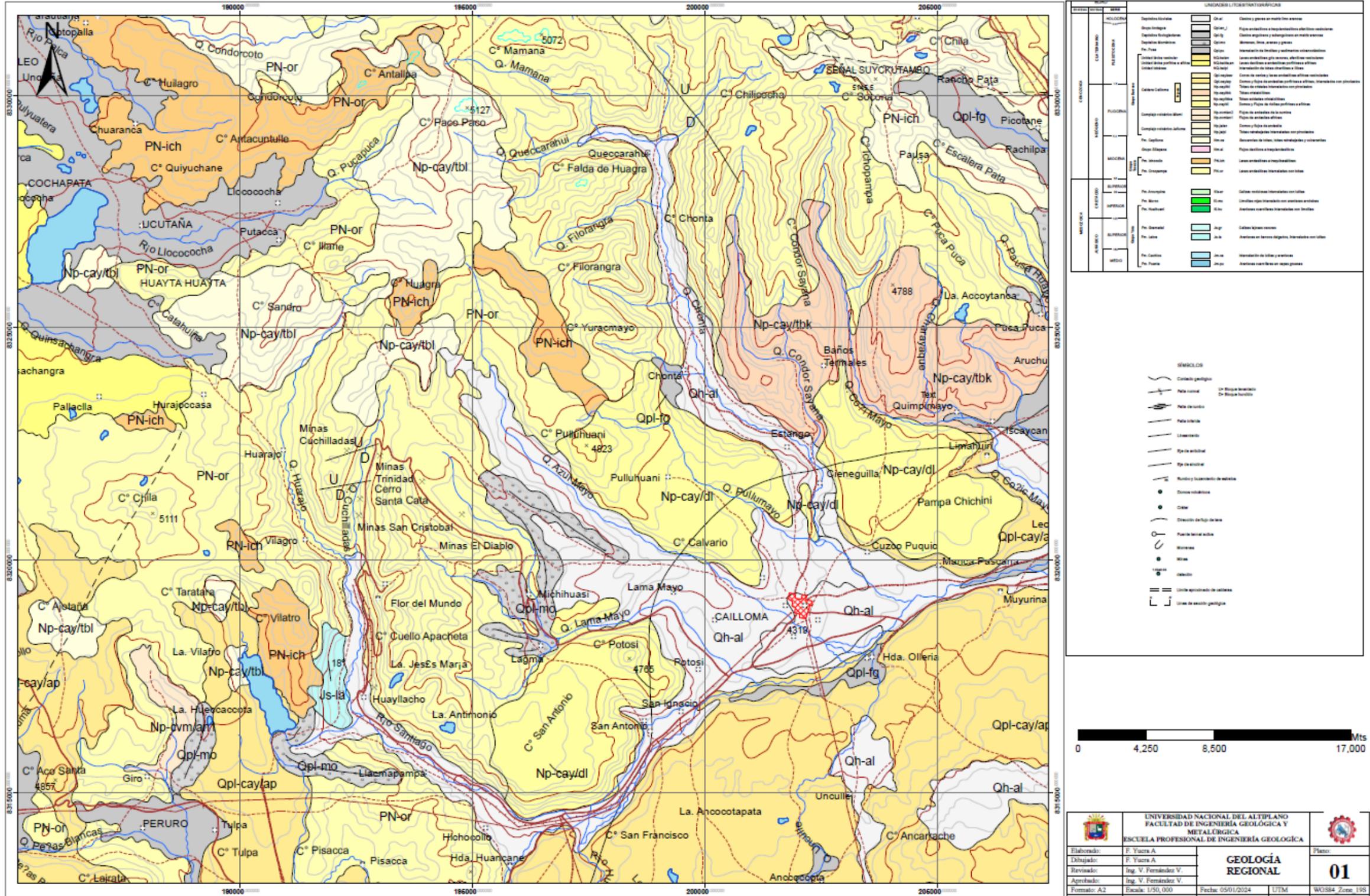
Figura 2

Columna Estratigráfica del Cuadrángulo de Caylloma.

CRONOESTRATIGRAFIA			LITOSTRATIGRAFIA						
ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDAD	ESPESES. mts.	COLUMNA	DESCRIPCION			
CENOZOICO	CUATERNARIO	Pleistoceno	Grupo Andagua	?		Conos de escoria de naturaleza andesítica y aglomerados			
			Deposito Recientes	?		Gravas, arenas y limos inconsolidados (conos, aluviales y deslizamientos)			
			Deposito Pleistoceno	± 100		Gravas, arenas y limos acumulados en forma de aluviales, glaciofluviales y morrenicos.			
			Grupo Barroso	20 a 150		Andesitas grises africas y/o porfíricas que se exponen como: domo, lava-domo, estrato volcan y otros aparatos volcanicos (parasitos).			
			Formacion Pusa	± 100		Intercalacion delgada de areniscas finas con limolitas de colores cremas a amarillentas.			
	TERCIARIO	Superior		Formacion Sencca	± 100		Intercalacion de tocas daciticas a rioliticas de creña a rosadas, de naturaleza explosiva a efusiva con niveles arena-tobaceo y areniscas fluviales.		
				Formacion Ichocollo	± 800		Lavas y domos rioliticos a basalticos gris a gris oscuro, africos a porfíricos con niveles de brecha y/o arenisca volcanica.		
		Medio	Grupo Tacaza	Formacion Orcopampa	Miembro C	± 1000		Secuencia lacustrina caracterizada por su estratificacion laminar fina, constituida por areniscas finas gris verdosa a violacea con fragmentos de naturaleza volcanica; hacia la base se observa arenisca y limolitas amarillentas con intercalaciones de lavas. Hacia el techo predominan lavas.	
					Miembro B	± 300		Tobas y conglomerados tobaceos en bancos de 1 - 3 mts, de colores cremas a amarillentos, con algunas intercalaciones de areniscas tobaceas verdosas.	
					Miembro A	± 1000		Areniscas, brechas y lavas grises, verdosas y violaceas de composicion generalmente andesitica	
				Formacion Arcuquina	Superior	Formacion Arcuquina	± 100		Calizas, caliza arenosa, gris a negro grisaceo, en estratos de (0 a 50 cm).
					Medio	Formacion Murco	Miembro D	± 500	
		Miembro C	± 200		Arenisca cuarzosas amarillentas grano fino a medio en bancos de 1-5mts, con estratificacion cruzada con escasos niveles de areniscas grises rojizas de grano fino.				
		Miembro B	± 350		Intercalacion de areniscas cuarzosas grano medio a fino, en banco de 1-2mts, con areniscas, rojizas, grano fino y limolitas rojizas a violaceas.				
Miembro A	± 250		Limolitas rojizas, violaceas, en estratos de 20 - 60 cm, con alternancia de areniscas rojizas grano medio a fino.						
MESOZOICO	CRETACEO	Inferior	Formacion Hualhuani	Formacion Hualhuani	± 250		Areniscas cuarcitas blancas, de grano fino a medio en bancos de 2 a 1 mts.		
				Formacion Gramadal	± 200		Calizas grises y marrones, afaníticas en bancos gruesos y fosilíferos.		
				Formacion Labra	± 1200		Intercalacion de areniscas cuarzosas gris a gris oscuras con limolitas gris oscuras.		
			Grupo Yura	Superior	Formacion Cachios	± 400		Limolitas gris oscuras a negras, estratos delgados con algunas intercalaciones de areniscas gris oscuras, grano fino en estratos delgados.	
					Formacion Puente	± 1000		Areniscas y areniscas cuarzosas gris oscuras a parduscas de grano fino a medio intercalados con limolitas gris oscuras a claras con un nivel de caliza arenosa negro-fosilíferos.	

Fuente: Boletín 42, Carta Nacional - Ingemmet.

PLANO GEOLOGICO REGIONAL





2.3 GEOLOGIA ESTRUCTURAL REGIONAL

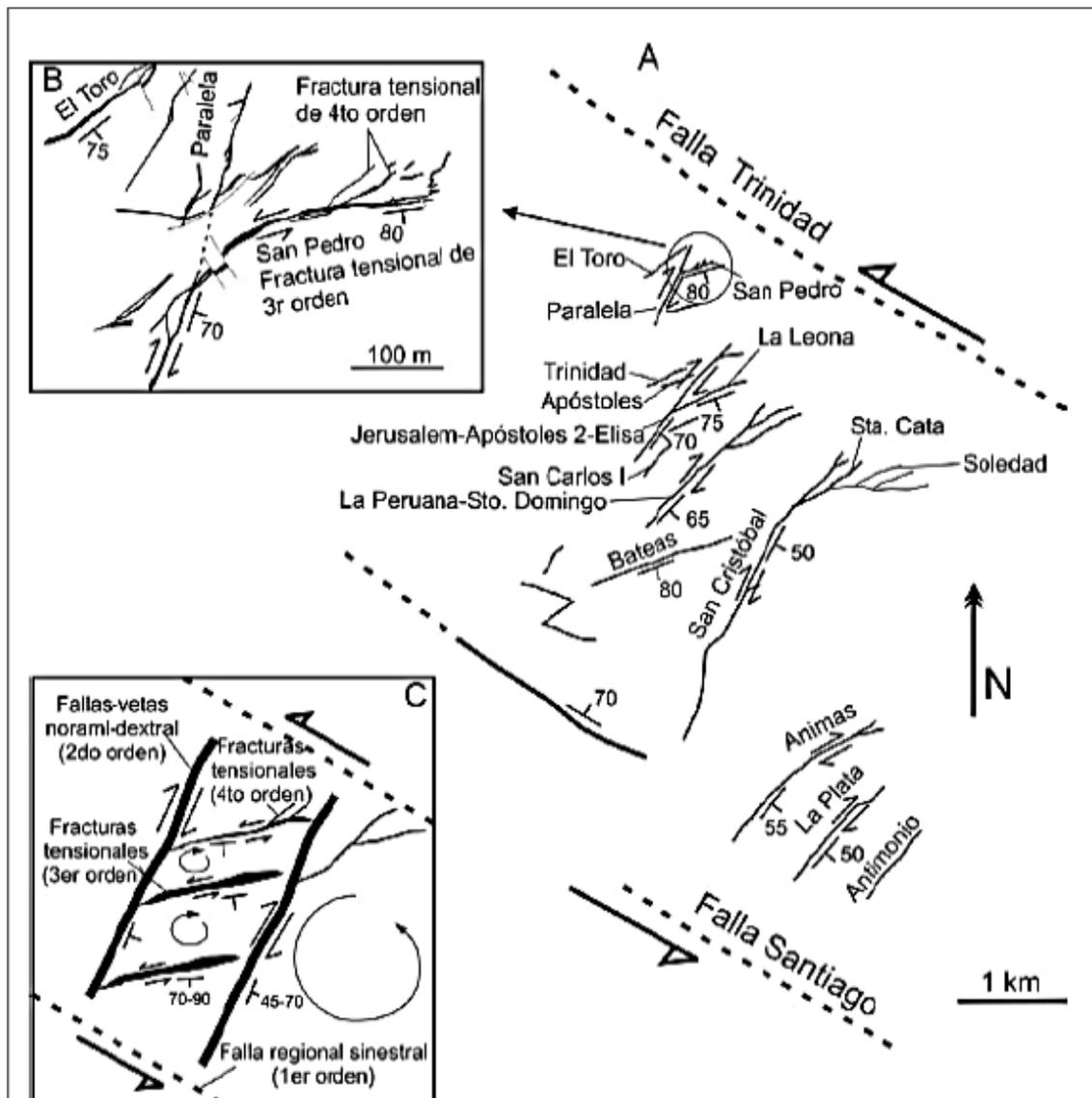
Dado que las vetas mineralizadas ocupan fallas subparalelas y fracturas con movimiento normal-dextral, el elemento estructural desempeña un papel fundamental. Las fallas que contienen mineral económico caen entre 45° y 70° hacia el sureste, con un rumbo principal de $N20^\circ E$ a $N50^\circ E$. Hay otras vetas de falla que tienen rumbo noroeste y contienen mineral no económico. Las principales vetas que ocupan fallas normales son La Peruana-Santo Domingo, Elisa-Apóstoles 2-Jerusalén, Paralela-Santa Rosa y San Cristóbal. Por el contrario, las vetas con rumbo NO son menos frecuentes y más pequeñas. Se dirigen hacia el NO con un ángulo de 30° a 65° NO y buzan con una fuerte inclinación hacia el NE y el SO. Estas fallas pueden considerarse como un sistema conjugado al sistema mencionado anteriormente. La figura 3 describe el modelo estructural en el componente A, según (Echavarría et al, 2006)

Tanto la parte superior como la inferior de las fallas principales exhiben fracturas por tensión, la parte superior tienden a ser más significativas, numerosas, exhiben movimiento sinistral y son vetas ricas y potentes a pesar de su corta longitud y discontinuidad (destacan las vetas de El Toro, San Pedro, Bateas, Santa Catalina, Trinidad y Carolina). (Echavarría et al, 2006)

Las brechas en las vetas y la textura de bandas crustiformes implican que la apertura de las estructuras y su relleno fueron episódicos y repetidos, con diferentes movimientos a lo largo de las fallas asociados a la mineralización y brechamiento. (Echavarría et al, 2006)

Figura 3

Modelo estructural de las vetas.



Fuente: Echavarría et al. (2006)

Nota. A. Vetas principales controladas por dos fallas de primer orden de rumbo NO-SE. B. Sistemas de vetas paralelas. C. Modelo estructural.

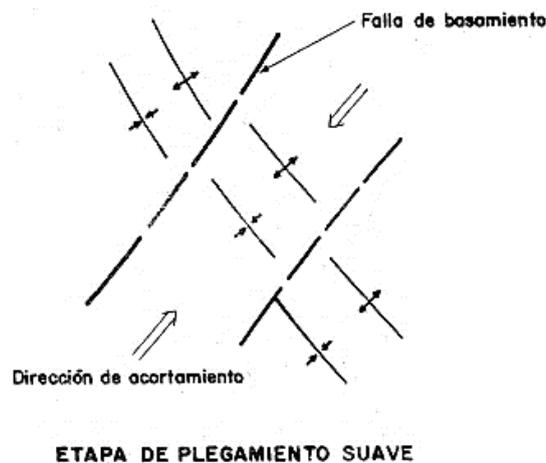
2.3.1 Fases peruana e incaica

La fase peruana se caracterizó por un gran levantamiento que provocó el retiro del mar y la creación de pliegues y fallas.

La fase tuvo un impacto en los sedimentos del Grupo Yura y las formaciones Murco y Arcurquina, cuyos afloramientos son de pequeñas dimensiones en el área de estudio.

Figura 4

Las fallas conjugadas y de rumbo ocurren en la etapa final de la compresión.



2.3.2 Fase quechua

El volcanismo del Grupo Tacaza fueron impactadas por la Fase Quechua, que se divide en dos etapas compresivas: plegamiento en la primera y fracturación y fallamiento en la segunda.

Las fallas de desgarre NE-SW y NW-SE tienen una compresión E-W porque la primera falla es sinistral y la segunda es dextral. El principio del proceso de la compresión, fracturamiento provocó la formación de fracturas de tensión. (Davila , 1988)

2.3.3 Fase pliocénica

Aunque no produjo macroestructuras, la etapa del Plioceno tuvo un efecto sobre los volcanes de la Formación Sencca al determinar los centros volcánicos



de orientación horizontal a través de los cuales fluyeron. Para esta etapa, ya se ha establecido un vínculo tectónico volcánico por la alineación de los conductos volcánicos. (Davila , 1988)

Esta etapa tectónica está relacionada con la subducción que dio lugar a la Caldera de Caylloma.

2.3.4 Formación de la caldera Caylloma

a) Los Eventos Pre-Caldera

Edades comprendidas entre el Jurásico y el Mioceno, las rocas volcánicas y sedimentarias que constituyen el basamento de la caldera.

Estas unidades han experimentado eventos tectónicos de ciclo andino, siendo el más significativo, en relación con la caldera, la fase quechua, que consiste de dos etapas: la primera es plegamiento suave, durante la cual se produjo el enorme anticlinal Caylloma-Chivay, y la segunda es de fallamiento, durante la cual se formaron fallas de desgarre conjugadas. (Davila , 1988)

b) La Caldera

La caldera de Caylloma se formó debido al desarrollo, en el mismo espacio, de los siguientes eventos, durante la Fase Quechua, el anticlinal Caylloma-Chivay se formó en Mioceno (Grupo Tacaza). Los flancos del anticlinal son simétricos y presentan un buzamiento moderado, con un rumbo NO-SE.

2.3.5 Fase cuaternaria

Los mecanismos asociados con el volcanismo del Grupo Andagua muestran una orientación N-S, mientras que los mecanismos asociados con el



volcanismo del Grupo Barroso muestran una alineación casi NE-SW y SE-OESTE. (Davila , 1988)

2.4 MARCO CONCEPTUAL

2.4.1 Depósitos de tipo epitermal

Los sistemas hidrotermales generados a temperaturas y profundidades relativamente modestas (-150 °C a ~ 300 °C y ~ 50 a 1500 m por debajo del nivel freático, respectivamente) con presiones de hasta varios cientos de bares se denominan actualmente sistemas epitermales. (Camprubí y Albinson, 2006).

Las soluciones hidrotermales que regulan el transporte y la deposición de metales desempeñan un papel fundamental en la formación de estos depósitos. Estas soluciones difieren en su origen y composición, lo que a su vez influye en su diferente grado de deposición de metales. (Simmons et al., 2005).

De acuerdo con White y Hedenquist (1990), Las siguientes son las principales variables que afectan a los cambios en los parámetros físicos y químicos del entorno de formación de los sistemas epitermales, lo que a su vez afecta a dónde y cómo se produce la mineralización:

- a) Las características litológicas y estructurales del distrito, que controlan la permeabilidad primaria y secundaria de las rocas y el movimiento de los fluidos hidrotermales a través de ellas. Sin embargo, la litología también es importante, sobre todo en las zonas donde las variaciones de porosidad y permeabilidad concentran el flujo de fluidos a través de unidades concretas en el contacto de las rocas o a través de masas de roca fracturada que son permeables. Estas características litológicas también podrían ser



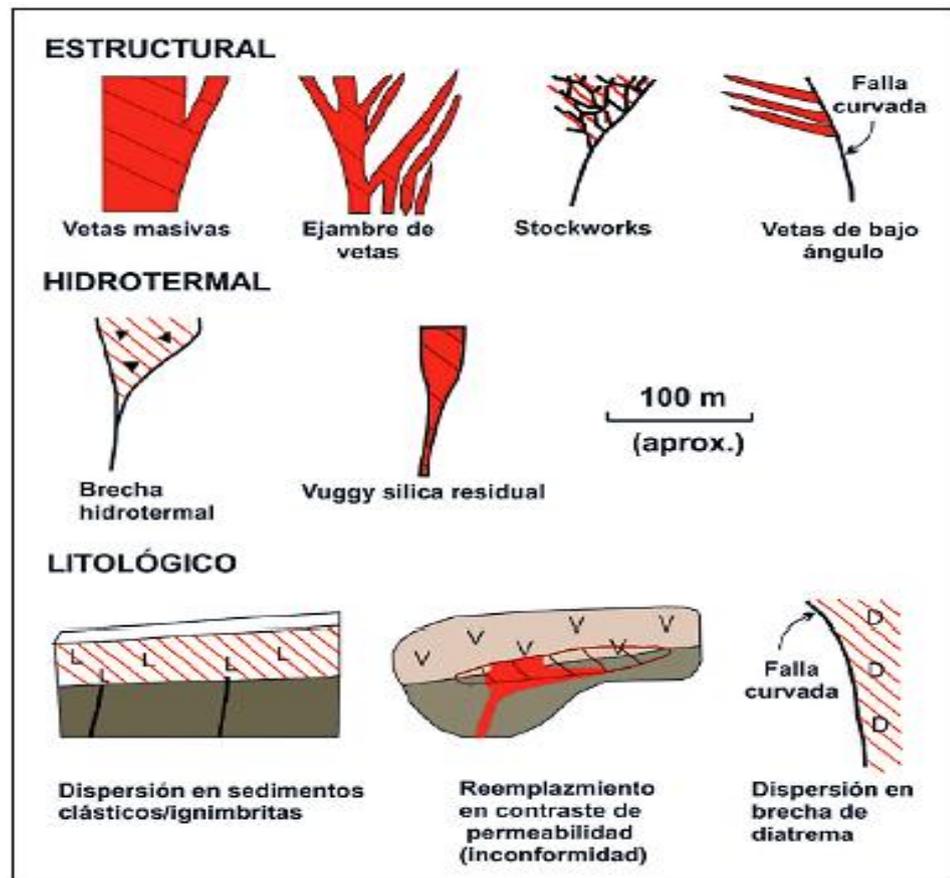
el resultado de brechamiento hidrotermal, la alteración hidrotermal y la disolución química. (Simmons et al., 2005)

- b) La hidrología determina la dirección y el grado del gradiente hidráulico, que a su vez controla la descarga y la recarga de fluidos.
- c) La temperatura y la presión de los fluidos que se mineralizan están directamente correlacionadas con la profundidad del punto de ebullición. (Simmons et al., 2005)
- d) La química del fluido mineralizante, esto establece el potencial para la paragénesis mineral y el transporte de metales, afectando tanto al proceso de mineralización como a la modificación de la roca huésped.
- e) Cambios en el gradiente hidráulico y la permeabilidad provocados por fallas, meteorización, fracturación hidrotermal y deposición de rocas durante la actividad hidrotermal. (Simmons et al., 2005)

En este tipo de yacimiento, Los fluidos de baja sulfuración, generalmente forman vetas de rellenos y “stockworks” o “sheeted-veins”, mientras que los de alta sulfuración penetran más en las rocas huésped formando diseminados, vetiformes y cuerpos mineralizados. (Simmons et al., 2005)

Figura 5

Ejemplos de cuerpos mineralizados en yacimientos epitermales.



Fuente: Sillotoe (1993)

2.4.2 Clasificación de depósitos epitermales

Los dos tipos de yacimientos epitermales han recibido una amplia gama de nombres en la literatura. Tabla 1, (Hedenquist, Arribas, y Urien-Gonzalez, 2000). Los dos miembros extremos del estado de sulfuración deducido de los ensambles minerales de sulfuro se denominaron baja y alta sulfuración. (Wang, 2019)

Estas frases se desarrollaron originalmente para describir el estado de oxidación del azufre en el fluido; sin embargo, se propuso utilizarlas para describir el estado de sulfuración de los conjuntos de sulfuros porque no era factible



caracterizar un prospecto mineralizado. Estos términos se propusieron originalmente en referencia al estado de oxidación del azufre del fluido; sin embargo, como la identificación de un prospecto mineralizado resultó difícil, se sugirió posteriormente que se utilizaran en referencia al estado de sulfuración de los conjuntos de sulfuros.

Clasificaron los depósitos en el miembro final de baja sulfuración identificando depósitos con un estado de sulfuración intermedio además de los depósitos de baja sulfuración.

Tabla 1

Evolución de los esquemas de clasificación para depósitos epitermales

Clasificación		Autor			
Ácido	Alcalino	Sillitoe, (1977)			
Epitermal		Buchanan (1981)			
Oro- Enargita		Ashley (1982)			
	Tipo Fuente Termal (Ambientes Geotermales)	Giles & Nelson (1982)			
Alto Azufre	Bajo Azufre	Bonham (1986, 1988)			
Sulfato Ácido	Sericita-Adularia	Hayba Et Al., (1985), Heald Et Al., (1987)			
Alta Sulfuración	Baja Sulfuración	Hedenquist (1987), White & Hedenquist (1990, 1995)			
Caolinita-Alunita	Sericita-Adularia	Berguer & Hemley (1989)			
	Tipo 1 Sericita-Adularia	Albino & Margolis (1991)			
	Tipo 2 Sericita- Adularia				
	Baja Sulfuración				
Alta Sulfuración	Alto En Sulfuros + Metales Base	Bajo En Sulfuros +Metales Base	Sillitoe (1989, 1993a)		
	Baja Sulfuración				
Depósitos De Au-Ag-Cu Con Cuarzo	Depósitos De Sn-Ag Metales Base	Depósitos De Ag - Au- Metales Base	Depósitos De Au Y Ag Con Rocas Volcánicas Calcoalcalinas	Depósitos De Au Y Ag Con Rocas Volcánicas Alcalinas	White & Poizat (1995)



Clasificación			Autor
Alta Sulfuración	Intermedia Sulfuración	Baja Sulfuración	Hedenquist Et Al., (2000), Einaudi Et Al., (2003), Sillitoe & Hedenquist (2003)
Nomenclatura Descriptiva Basada En Los Metales De La Mena, Forma Del Depósito, Ganga Hipógena Diagnóstica Y Minerales De Alteración Y Mineral Dominante Llevando Cu			Cooke & Deyell (2003)
Alta Sulfuración	Intermedia Sulfuración	Baja Sulfuración	Afiliados Con Rocas Alcalinas Simmons Et Al., (2005)

Fuente: Sucapuca (2019)

Einaudi (2003) utilizó la definición de Barton (1970) de «estado de sulfuración» para caracterizar la estabilidad de los minerales que contienen azufre en términos de fugacidad del azufre.

El descubrimiento de que los conjuntos de minerales de mena podrían clasificarse como estados de sulfuración alta, intermedia o baja y que los fluidos que crean estos conjuntos pueden alterar sus estados de sulfuración en respuesta a la evolución química en el espacio y el tiempo condujo a este desarrollo. (Wang, 2019)

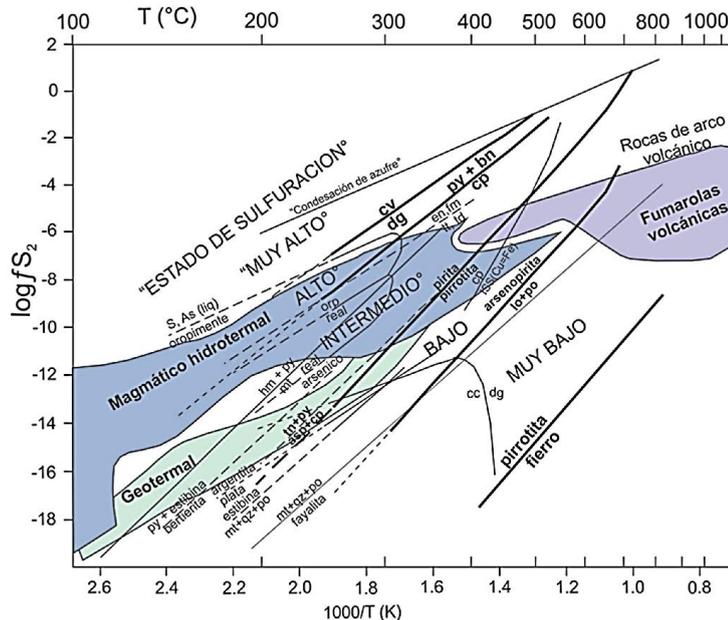
Así, estos autores introducen una nomenclatura de niveles de sulfuración muy bajo, bajo, intermedio, alto y muy alto, a la que se refieren como «informal». Esta terminología es similar a la del estado de oxidación, donde el marco de referencia es la temperatura y la fugacidad del gas S₂ y O₂. La terminología se deriva de las reacciones de sulfuración que se producen a menudo en las vetas relacionadas con los pórfidos, los yacimientos epitermales de metales preciosos y los yacimientos de pórfidos de Cu. Estas reacciones tienen lugar entre minerales del sistema Cu-Fe-As-S. (Wang, 2019)

Las limitaciones vienen establecidas por los campos de estabilidad de las distintas especies minerales y la transición gradual entre estados de sulfuración provocada por los descensos de temperatura, la ebullición y las interacciones entre el agua y la roca, incluso durante la formación de un único yacimiento epitermal. Por ello, la nomenclatura utilizada para describir el estado de sulfuración ayuda a explicar el origen de los yacimientos epitermales y representa la progresión ascendente de los fluidos hidrotermales. (Einaudi et al., 2003).

Este trabajo describe así los tipos de sulfuración alta, intermedia y baja basándose en los tipos genéricos de clasificación de yacimientos epitermales, según sus minerales de alteración, fluidos hidrotermales y ambiente de formación.

Figura 6

El diagrama de correlación de temperatura y fugacidad de azufre.



Fuente: Sillitoe y Hedenquist (2003)



Nota. Ilustra la variedad de conjuntos de sulfuros que se encuentran en los yacimientos epitermales, que incluyen etapas de sulfuración muy alta, intermedia, baja y muy baja.

2.4.3 Formación de depósitos epitermales intermedia sulfuración

Los depósitos epitermales son responsables del 8% de oro Frimmel (2008), 17 % plata Singer (1995), y ciertas cantidades de producción de metales básicos a nivel mundial, siendo la fuente importante de metales preciosos México, Estados Unidos, Japon, Peru, Chile, Papua Nueva Guinea y Canda Lindgren, Mineral Deposits. McGraw-Hill (1933), definió por primera vez los deposito epitermales como acumulaciones de metales preciosos y metales bases formadas por fluidos hidrotermales ascendentes a profundidades relativamente poco profundas (≤ 900 m.) y bajas temperaturas (50 – 200 °C), típicamente alojadas en rocas volcánicas y adyacentes. Por ahora existe un consenso de que los depósitos epitermales se formaron profundidad inferior a -1,5 km y generalmente a una temperatura entre 150 y 300 °C. (Simmons et al. 2005).

La deposición de mineral epitermal ocurre donde los fluidos concentrados que ascienden rápidamente cambian bruscamente la composición dentro de varios cientos de la superficie (ebullición). Este proceso favorece a la precipitación de metales complejados con bisulfuros como el oro. La ebullición y su separación de fases relacionado y el enfriamiento rápido también dan como resultado características asociadas, como la deposición de calcita laminada, cuarzo colofome y aduaría. (Hedenquist et al. 2000)

Entre los tres tipos de depósitos epitermales, es decir, tipo HS, IS y LS, los depósitos IS se diferencian más recientes de sus hermanos LS John (1999).



Debido a la diferente tradición de denominación, los depósitos de IS en la cordillera se han denominado “depósitos de metales base\ polimetálicos cordilleranos” en la región circunpacificada. Sawkins (1972); (Bendezú y Fontboté, 2002)

Los depósitos IS generalmente tienen un grado de Au más bajo que las vetas LS. Sin embargo, lo que hace que los depósitos de IS sean importantes en la exploración es su potencial para contenidos significativos de plata y metales base y su estrecha relación con los depósitos de PCDs, pórfido de molibdeno (PMDs) y depósitos de HS. (Wang, 2019)

En comparación con los depósitos HS y LS, los depósitos IS está relativamente rezagada. Esta revisión resume el conocimiento actual de las características clave de los depósitos de IS, incluidas las distribuciones espaciales temporales, la mineralogía de minerales y gangas, la morfología de los minerales y depósitos, la afinidad magmática, el control tectónico y estructural, los mecanismos de transporte y depósito de metales, los factores que controlan su ocurrencia y las relaciones con el pórfido. Depósitos HS y depósitos LS. Se propone un esquema empírico de subclasificación de los depósitos de IS basado en configuraciones tectónicas distintivas y estados de tensión asociados dentro de los cuales se formaron. Se propone un control tectónico magmático sobre subtipos de IS. Esta clasificación puede facilitar la investigación y exploración de IS y depósitos relacionados. (Wang, 2019)

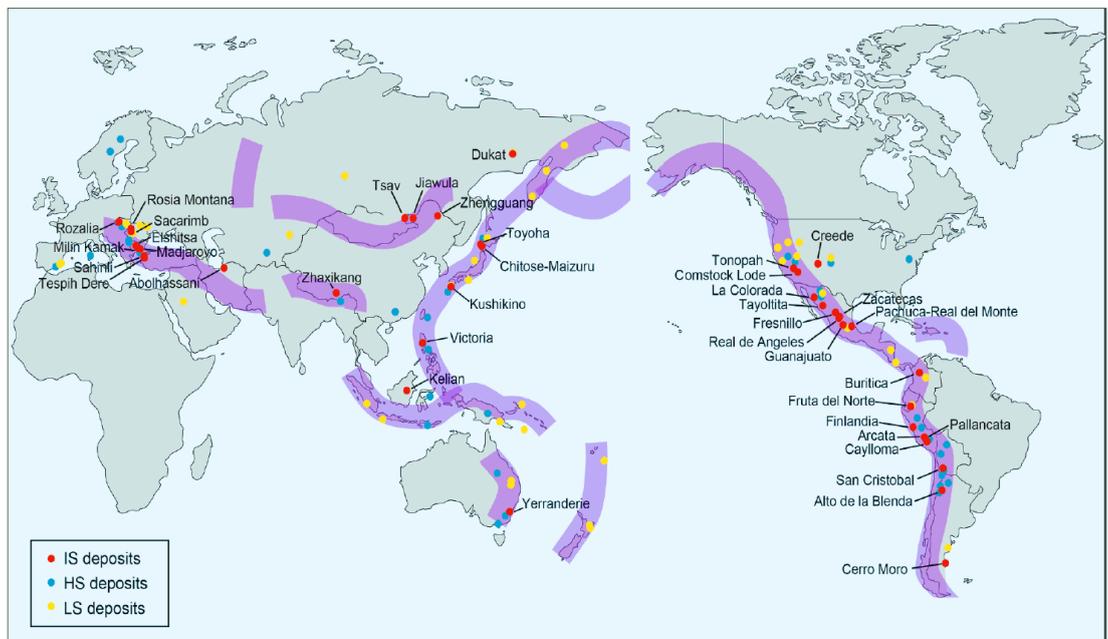
2.4.4 Distribución en espacio y tiempo

La distribución de depósitos de tipo pórfido y epitermales, generalmente se forman en zonas de subducción o colisión de placas tectónicas.

Tres cinturones metalogenéticos globales estrechamente relacionados con la subducción y colisión de placas, es decir, el cinturón metalogénico Circum – Pacífico (borde del pacíficos). El cinturón metalogenéticos Tethys-Himalaya y el cinturón metalogenético de Asia Central, contienen la mayoría de los depósitos de porfido de cobre y todo tipo de depósitos epitermales. La cantidad de depósitos IS. Formados en los cinturones de Asia Central y Tethys – Himalaya es mucho menor que la del cinturón Circum-Pacífico. (Wang, 2019)

Figura 7

Distribución global de depósitos IS.



Fuente: Hedenquist et al. (2000) También se muestran los depósitos HS y LS.

Desde el punto de vista tectónico, los depósitos IS pueden desarrollarse en todos los estados de tensión (compresivo y extensional) en arcos magmáticos Sillitoe y Hedenquist (2003), y cinturón orogénico post - colisión. Esto conduce

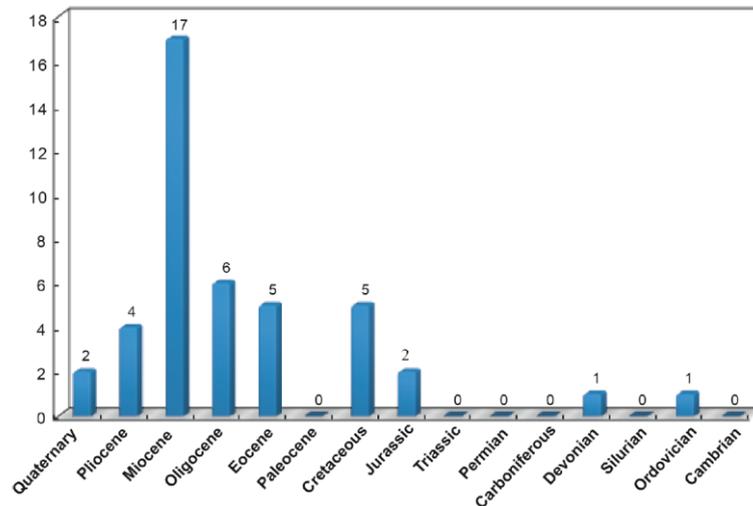
a una distribución mucho más amplia de depósitos de IS que de DPC en el nivel poco profundo de la corteza terrestre.

En cuanto a las edades de mineralización, la mayoría de los depósitos de IS son bastante jóvenes, se formaron principalmente en el cenozoico y alcanzaron su punto máximo en el mioceno.

También hay varios depósitos de IS de mesozoico. Se informaron vetas de IS paleozoicas muy raras, con cuatro de nueve depósitos de IS pre-cenozoicas en el cinturón metalogenético Circum-Pacífico, y tres de ellos en la parte este del cinturón metalogenético de Asia Central, mientras que los Dos de ellos restantes en el Cinturón Metalogénico de Tethys-Himalayan. (Wang, 2019)

Figura 8

Distribución de la edad de mineralización de los depósitos de SI en el mundo (n = 43).



Fuente: Wang (2019)



2.4.5 Características de depósitos IS.

2.4.5.1 Mineralogía y paragénesis

El ensamblaje de minerales de sulfuro en la mayoría de los depósitos IS puede ser relativamente simple, incluidas las combinaciones de pirita, esfalerita pobre en Fe, galena, calcopirita y tetraedrita/tenantita Einaudi et al. (2003) los depósitos IS de metales preciosos también contienen electrum, oro nativo, acantita-argentita y muchos otros minerales de sulfosales de plata. Hay ocurrencias menores de arsenopirita, Fresnillo (Gemmell y Simmons, 1988)

Los contenidos relativos de mineral y ganga en las vetas se pueden usar fácilmente como características de diagnóstico para distinguir los depósitos IS y LS en el campo. En los depósitos IS, las etapas productivas tienden a ser sulfurosas (> 5%) y ricas en mica blanca y pobres en cuarzo, mientras que en los depósitos LS, las etapas productivas tienden a ser pobres en sulfuros (< 1%) y ricas en cuarzo y adularia (Sillitoe y Hedenquist, 2003)

2.4.5.2 Morfología y texturas de depósitos IS

Los minerales en la mayoría de los depósitos IS ocurren como vetas y/o cuerpos brechados de hasta varios kilómetros de largo, y los yacimientos que contienen metales preciosos se encuentran dentro de intervalos verticales generalmente de 300 a 800 m (Hedenquist et al., 2000).



La distribución vertical de los minerales puede variar considerablemente en función de la conectividad de las fracturas y del mecanismo de deposición.

Las vetas pueden unirse localmente en profundidad para formar vetas más anchas en algunos casos, las zonas de unión de las vetas corresponden a bonazas. Debido a la similar configuración estructural y nivel de mineralización, texturas de los minerales de mena y ganga en las vetas IS comparten mucha similitud con las vetas de LS. Las texturas más comunes incluyen bandas crustiformes, bandas simétricas, vugs, cockade y textura en peine, las texturas de minerales que indican ebullición son bastantes comunes en los yacimientos IS, como el cuarzo coliforme y la calcita laminar. (Camprubí y Albinson, 2006).

Las vetas IS y los yacimientos brechosos rara vez se formaron bajo un único episodio hidrotermal. Cierta número de yacimientos epitermales de IS presentan un sistema de vetas polifásico y multietapa, que parecen ser el producto de un proceso episódico de agrietamiento y sellado de vetas.

2.4.6 Deformación superficial asociada a una falla de desgarre en profundidad: el experimento de Riedel

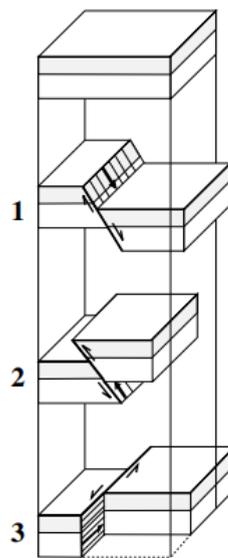
En el mundo natural, la deformación de las rocas suele adoptar la forma de fracturas discontinuas a través de superficies distintas en las que se pierde la cohesión inherente a la roca, en lugar de procesos continuos como el plegamiento. Las juntas y las fallas son las estructuras que surgen de este comportamiento

frágil, que es común en la corteza superior y sirve para distinguir unos bloques de roca de otros (Hobbs, 1981).

Estas últimas consisten en discontinuidades planas en las que los bloques de roca han migrado en dirección paralela a la discontinuidad, unos respecto a otros. Las fallas de rumbo, normales e inversas son las tres categorías diferentes de fallas basadas en la forma en que se mueven los bloques en relación con el plano de falla.

Figura 9

Tipos de fallas atendiendo al movimiento



El objetivo de esta reconstrucción es examinar cómo una capa más dúctil se ve afectado por el cizallamiento provocado por el desplazamiento de una deformación dirigida en el basamento frágil. A pequeña escala, puede considerarse como las franjas en las que se resuelve la diminuta deformación plástica que se produce antes de que se forme una falla visible y la ruptura de la roca. (Román, 1997)

2.4.7 Análisis estructural de la deformación frágil

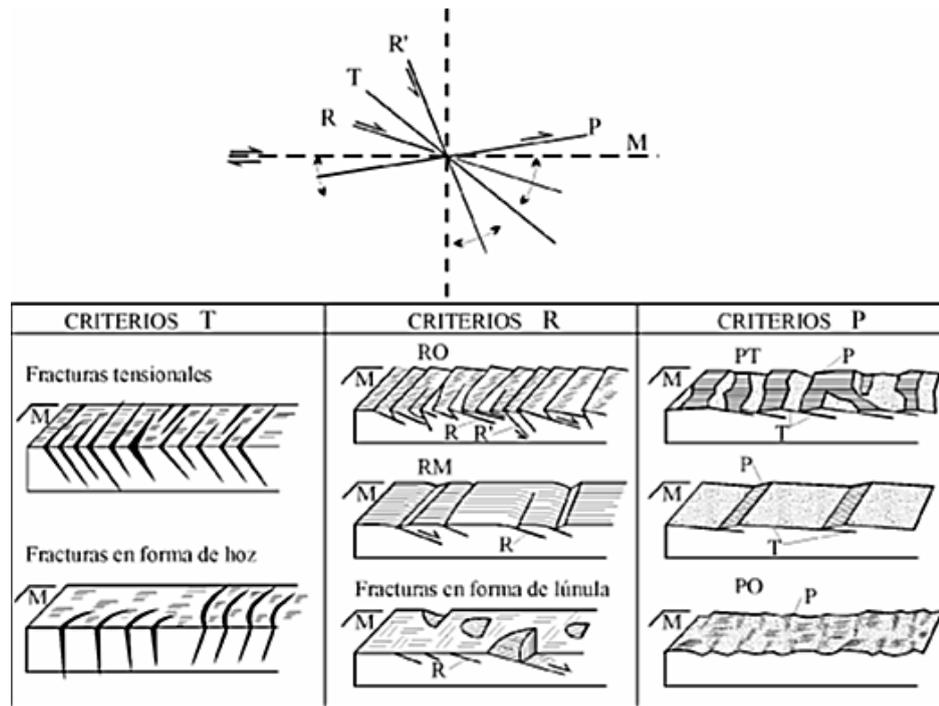
2.4.7.1 Indicadores cinemáticos

Existen estudios de los diferentes criterios para determinar el sentido de movimiento de fallas o criterios cinemáticos. Gran cantidad de autores han dedicado papers específicos al tema, entre los cuales los más usados son el de Petit (1987), por la facilidad que presentan para recordar los diferentes criterios.

A partir de las fracturas secundarias que se produjeron en un experimento similar al modelo Riedel, se establecieron varias normas, en que se somete a cizalle una capa de arcilla húmeda sobre un par de bloques rígidos de madera, que se deslizan paralelamente. Un experimento de este tipo reproduce exactamente las circunstancias de fractura que se dan en la naturaleza, y las fracturas suelen identificarse por sus iniciales características, basadas en su orientación y dirección de deslizamiento. Así las fracturas R son sintéticas con el movimiento principal, formando un ángulo de 15° con la falla principal. Las fracturas R' son conjugadas respecto de las fracturas R, con movimiento antitético respecto de la falla principal, con la cual forma un ángulo de unos 75° . Ambos tipos de fracturas se denominan Riedel. Son fracturas tensionales o fracturas de tipo T. Las fracturas P obedecen al nombre de “pressure”, debido a que se originan por presión local entre fracturas Riedel. Presentan un ángulo de 15° , pero en sentido contrario a las fracturas R. (Riedel, 1929)

Figura 10

Fracturas secundarias en un experimento similar al modelo Riedel,



(a) Distintos tipos de fracturas secundarias asociadas a un plano de falla principal M. Las fallas Riedel sintéticas y antitéticas, de bajo y alto ángulo respecto del movimiento a lo largo del plano de falla principal, son R y R'. Las fracturas de tensión son T. Las fallas P presentan bajo ángulo respecto del plano principal pero opuesto a la orientación de R. (b) Tres tipos de indicadores cinemáticos en fallas con comportamiento frágil: criterios T, criterios R y criterios P. (Riedel,1929)

2.4.7.2 Dinámica estructural Riedel

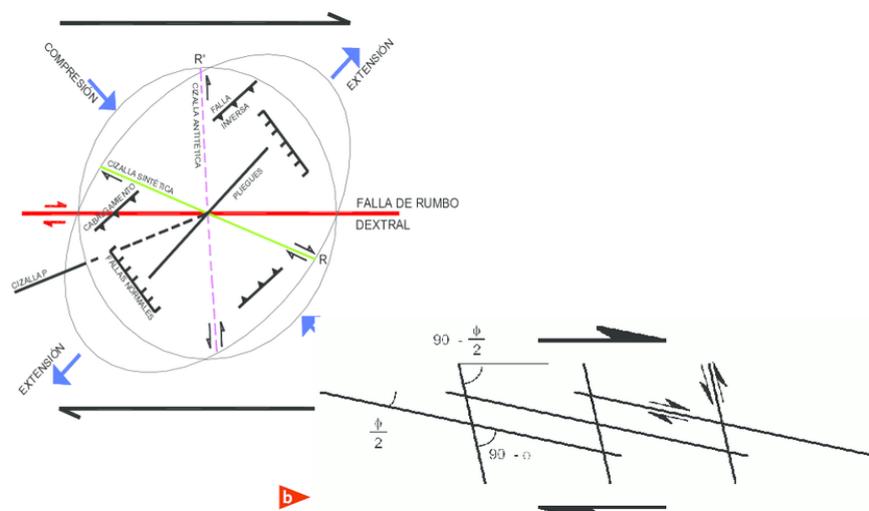
La deformación experimentada por una zona de cizalla puede explicarse mediante el modelo cinemático. Esta zona de cizalla se encuentra entre dos fallas, y dentro del sistema de cizalla existen estructuras compatibles con el esfuerzo que genera las fallas mayores. Es posible que existan fallas con la misma cinemática que las fallas mayores; estas fallas se conocen como fallas sintéticas. (Riedel,1929)

Según (Riedel, 1929), también se tiene fallas con ángulos mayores a los 70° respecto las fallas mayores, las cuales van a tener cinemática contraria a los Riedel, y se denominan antitéticas o antiriedels, con ángulos de 45° se forman fallas compresionales o tensionales según la dirección del σ_1 .

El gráfico representa la deformación experimentada por una zona de cizalla situada entre dos grandes fallas. El sistema de Riedels, compatible con la tensión producida por las fallas mayor y menor, está presente en el interior del sistema de cizalla. (Riedel,1929)

Figura 11

Comportamiento estructural de cizalla simple y sistema de Riedel



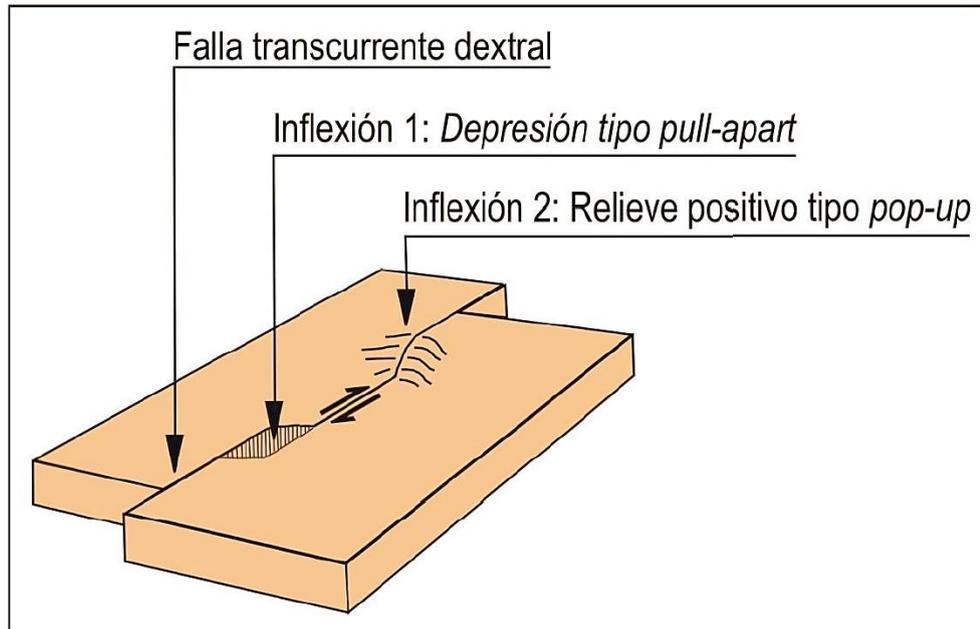
Fuete: Rodríguez (2008)

2.4.8 En busca de los “espacios” para la masa de mineral

Se tiene dos zonas en apertura y en cierre (en inflexiones y saltos) pueden dar lugar respectivamente a depresiones (pull-apart) susceptibles de ser rellenadas por sedimentos o volcánicos, o a levantamiento compresionales (pop-up)

Figura 12

Relieves tipo pull-apart y pop-up

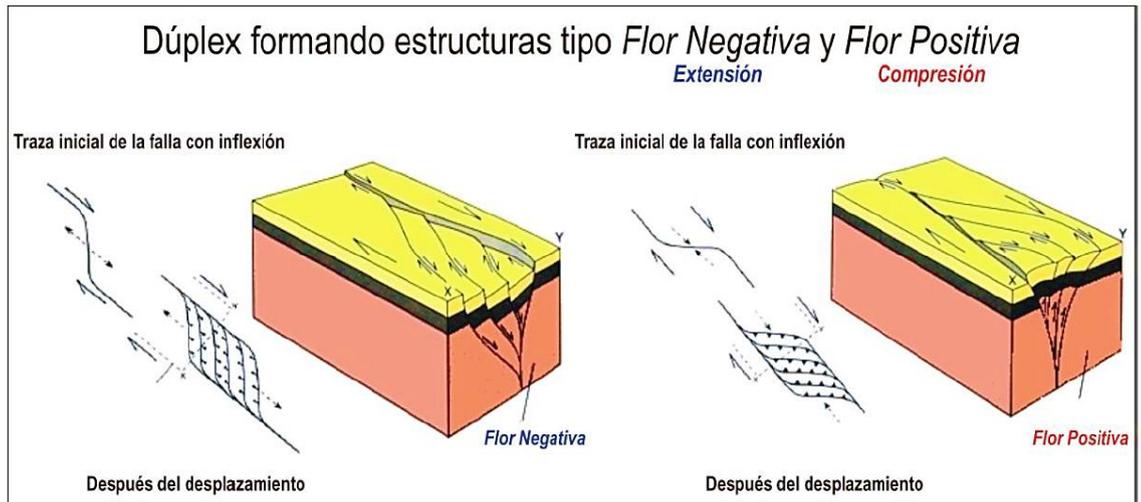


Fuente: Adaptada de Davis y Reynolds (1996)

Como resultado, el levantamiento se formará en dúplex compresionales y la subsidencia se formará en dúplex extensionales conectados a fallas transcurrentes. Unas de las estructuras más notables derivadas son las denominadas “flores positivas” y “flores negativas que a su vez se corresponden con los casos de dúplex compresional y extensional. (Woodcock y Fischer, 1986)

Figura 13

Desarrollo de un dúplex en extensión y compresión con estructuras tipo flor negativa y positiva



Fuente: Adaptado de Davis y Reynolds (1996)

La geometría interior de las fallas secundarias de un dúplex muestra que estas convergen en profundidad hacia una zona de falla única (sistema anastomosado):

- Estructura en flor negativa, las fallas secundarias dentro del dúplex tendrán un comportamiento mixto: transcurrente-normal, definimos que la zona interior está en extensión y sometida a hundimiento.
- Estructura tipo flor positiva, las fallas interiores se comportarán como transcurrentes-inversas, por lo cual decimos que la zona está en compresión y por lo tanto sometida a levantamiento.



CAPÍTULO III

MÉTODOS Y MATERIALES

3.1 METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

El trabajo de investigación de zona de estudio es descriptiva e interpretativa de las características geológica.

3.1.1 Para determinar las características geológicas que presenta la Mina el Santo.

Se toma los siguientes pasos para realizar la investigación como el cartografiado geológico y escala de mapas, secciones transversales, muestreo en interior mina como se detalla en lo siguiente.

3.1.2.1. Métodos de cartografiado geológico y escalas de mapas.

Se utiliza como base topográfica para el mapeo geológico en subniveles y galerías.

Todos los datos geológicos deben documentarse en el siguiente orden en un documento A4 que se adjuntará debidamente al plano.

- Características estructurales, como juntas, estratificación y fallas.
- Estructuras formadas por minerales.
- La diseminación de los minerales.
- Contacto y litología.
- Los porcentajes de cada mineral en las estructuras mineralizadas deben indicarse en las estructuras cartografiadas.



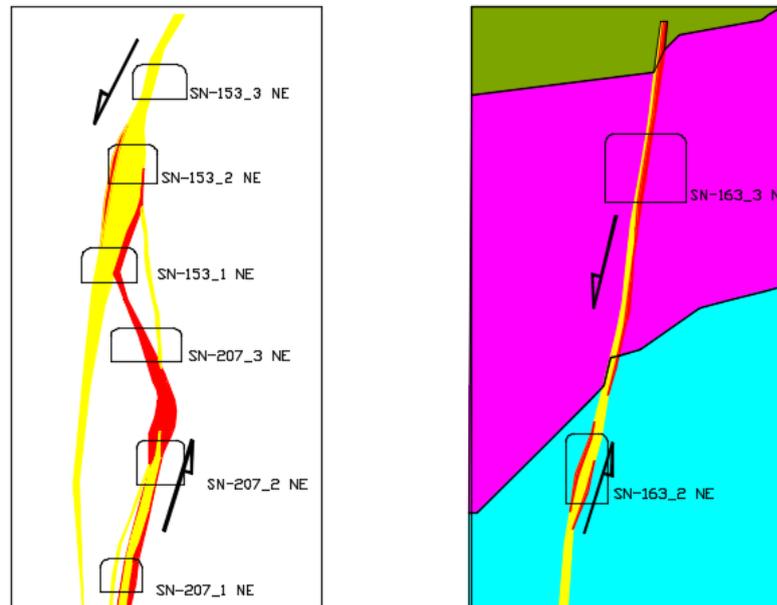
- Es indispensable indicar los azimut y buzamientos de las estructuras.
- La geología se grafica con la simbología y los colores creados en las empresas.
- Los datos geológicos recogidos sobre el terreno se transfieren a planos master en gabinete en formato A0 para su interpretación y posterior uso en la exploración.
- Cada dato está tomado a 1,50 metros, es decir, a la altura del pecho.
Hay tres escalas gráficas: 1/250, 1/1000 y 1/5000.

3.1.2.2. Secciones transversales geológicas

La realización de secciones geológicas se efectuó con el fin de controlar el yacimiento, a su vez correlacionarlas con cada una de las labores mineras y obtener una mejor interpretación de la profundización de las estructuras mineralizadas, realizar las secciones transversales operativas, utilizando el ángulo de corrección de buzamiento de las estructuras mineralizadas, así mismo identificando los movimientos de las estructuras.

Figura 14

Sección transversal de la estructura



3.1.2.3. Muestreo en interior mina

El método de muestreo realizado en la unidad minera El Santo es muestreo por canales sistemático.

1. Muestreo por canales

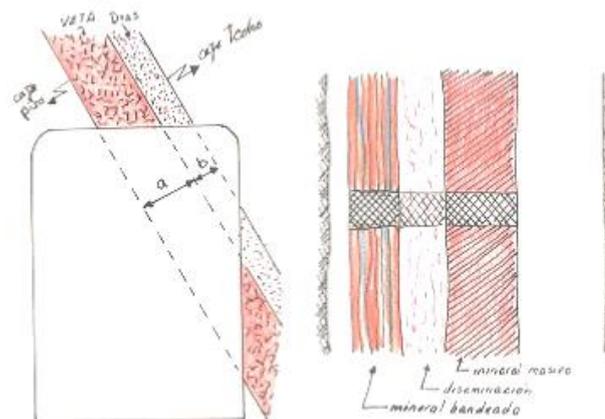
El muestreo de canales es la técnica de muestreo más utilizada, ya que nuestras formaciones mineralizadas tienen una morfología tabular muy simple. Los siguientes métodos se explican para mostrar cómo deben utilizarse correctamente.

Es posible separar los canales de muestreo utilizando un criterio de evaluación adecuado si las estructuras mineralizadas son mayores de 3 metros, si hay mineralización en bandeado, si hay caballos y si se observan disseminaciones significativas en las cajas de las vetas. Este proceso permite una mejor definición de la anchura de explotación económica

durante la extracción, así como la capacidad de distinguir entre las partes más ricas de la estructura.

Figura 15

Muestreo de canales.



Muestreo de canales sistemático cada 2 metros.

2. Procedimiento de muestreo sistemático

Marcar con pintura el intervalo de muestreo en los hastiales cada 2 mts. sistemáticamente en las labores de avance y cada 4 mts en los tajos o de menos metraje, dependiendo las necesidades y variabilidad estructural y mineralógica de las estructuras.

Limpiar el canal, delimitar con pintura los canales de cada muestra y tomar la muestra con las herramientas adecuadas directamente a la bolsa de muestreo, la profundidad del canal de muestreo no debe ser menor a 1" (1 a 2").

- La longitud mínima del canal es de 0.20 m., en caso de canales mayores a 1.00 m., se toma como máximo el canal la longitud de 1.00 m. (aplicando el criterio de muestreo selectivo). En ancho del canal no debe ser menos de 0.20 m.



- Repintar los canales de muestreo si fueran necesarios.
- Las muestras no deben ser menores de 2 kg.
- Ubicar el canal a muestrear en base a los puntos topográficos.
- Guardar la muestra tomada en bolsas de plástico de un calibre superior a 4, la bolsa se cierra y se coloca el precinto junto con el talón desglosable de la tarjeta respectiva dejándola visible, se escribe en la bolsa el código de la muestra con plumón indeleble.
- Llenar la tarjeta de muestreo teniendo en cuenta la codificación, descripción de la muestra y el croquis, etc.
- Repintar el canal de muestreo e intervalos de cada muestra.
- Las muestras se trasladan al final de la guardia al almacén de geología para su preparación y traslado al laboratorio.
- El maestro muestrero tiene la obligación de ingresar la data de muestreo diario al software MS Acces.
- Coordinar con el área de Topografía para el levantamiento de las muestras tomadas con ayuda de la estación total.

Figura 16

Identificación de estructuras mineralizadas



A) Identificación de estructuras y delimitación. B) Muestreo sistemático a cada 2 metros. C) Codificación de muestras para su levantamiento topográfico.

3.1.2 Para identificar los controles estructurales de la mineralización que presenta la Mina El Santo

Para identificar los controles estructurales se toma los siguientes pasos para realizar la investigación como el método de toma de datos estructurales y su análisis a partir de software, controles estructurales sobre sistema de vetas, así como de detalla en los siguiente.

3.1.2.4. Método de toma de datos estructurales y su análisis a partir de software.

La información estructural que estamos recopilando precedente de características encontradas en el interior de la mina, como fallas, fracturas y vetas. En el software estructural, se tratan de forma integrada, aunque se han dividido en dos grupos en función de su comportamiento transcurrente o gravitatorio.

Utilizando software especializado, se han determinado los movimientos de deformación sólo para las fracturas que se han sido desplazados y muestran



tectoglifos. El azimut y el buzamiento del plano de la falla o veta, la inclinación, el rumbo y el buzamiento de la estría, la dirección del movimiento de la falla o veta.

El ángulo entre la dirección de las estrías y la horizontal del plano de falla, medido en el mismo plano y acompañado del azimut de inclinación, es el paso de la estría.

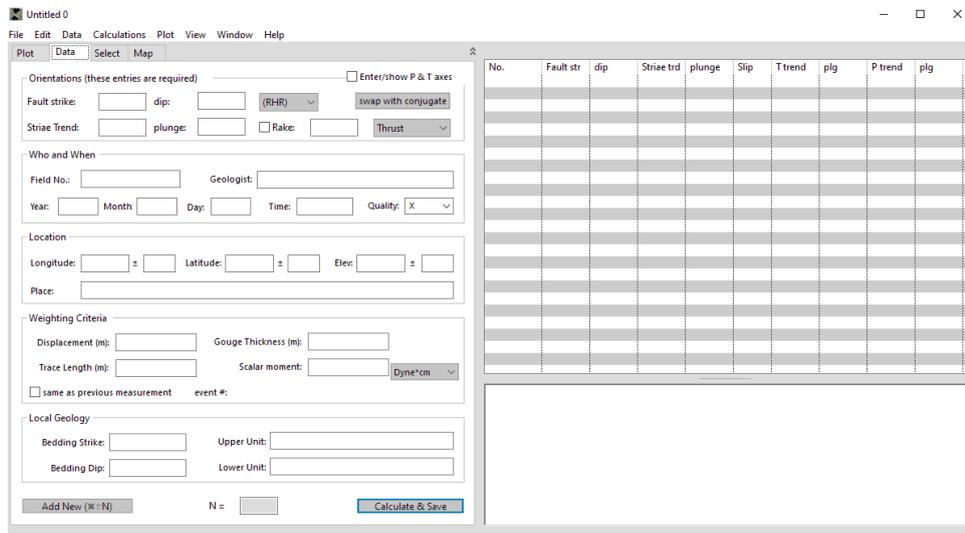
El presente trabajo de investigación, se utilizará el método de investigación correlacional donde las unidades de análisis serán identificadas de acuerdo a sus características que presentan.

Para llevar a cabo los objetivos, será necesario realizar la descripción de los modelos estructurales que presentan, con el fin de cumplir con la hipótesis de planteadas.

Procedimiento del uso de software Faultkin 7. El trabajo de investigación de utiliza este software para obtener los esfuerzos principales como σ_1 (compresivo), σ_2 (intermedio) y σ_3 (tensional). Estos tomando datos estructurales de campo, para así ingresar a software Faultkin 7, con tipo de falla, azimut, buzamiento de la falla, dirección de buzamiento, pich de la estría.

Figura 17

Software libre, Faultkin 7.

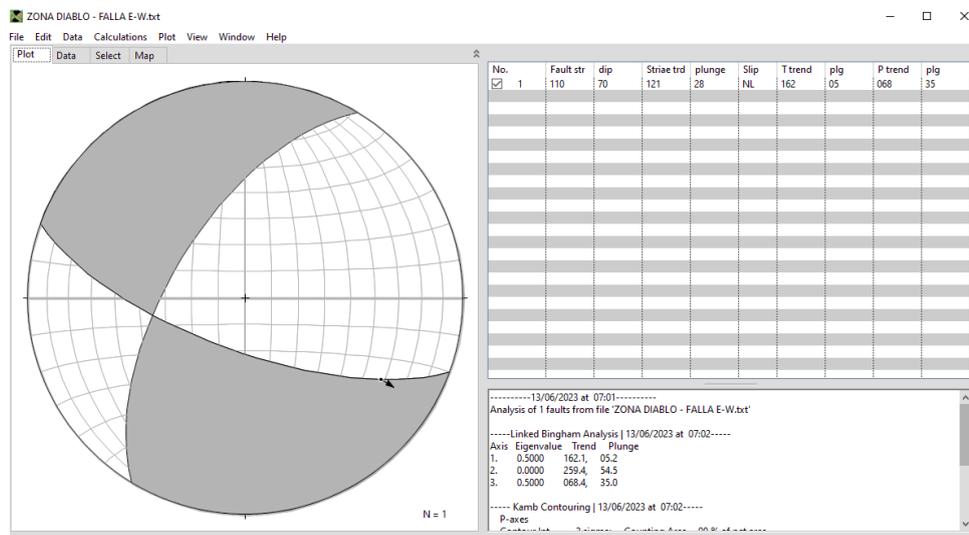


Vista para ingresar los datos estructurales de campo como azimut, buzamiento de la falla, pich de la estría, tipo de falla, esto considerando la regla de la mano derecha.

- Graficar los planos de falla y dirección de movimiento
- Graficar los diedros de acortamiento y extensión

Figura 18

El programa Faultkin 7, análisis cinemático de la falla.





Nos muestra la gráfica de los planos de falla y la dirección de los esfuerzos principales, para ser llevado a una interpretación estructural de la zona.

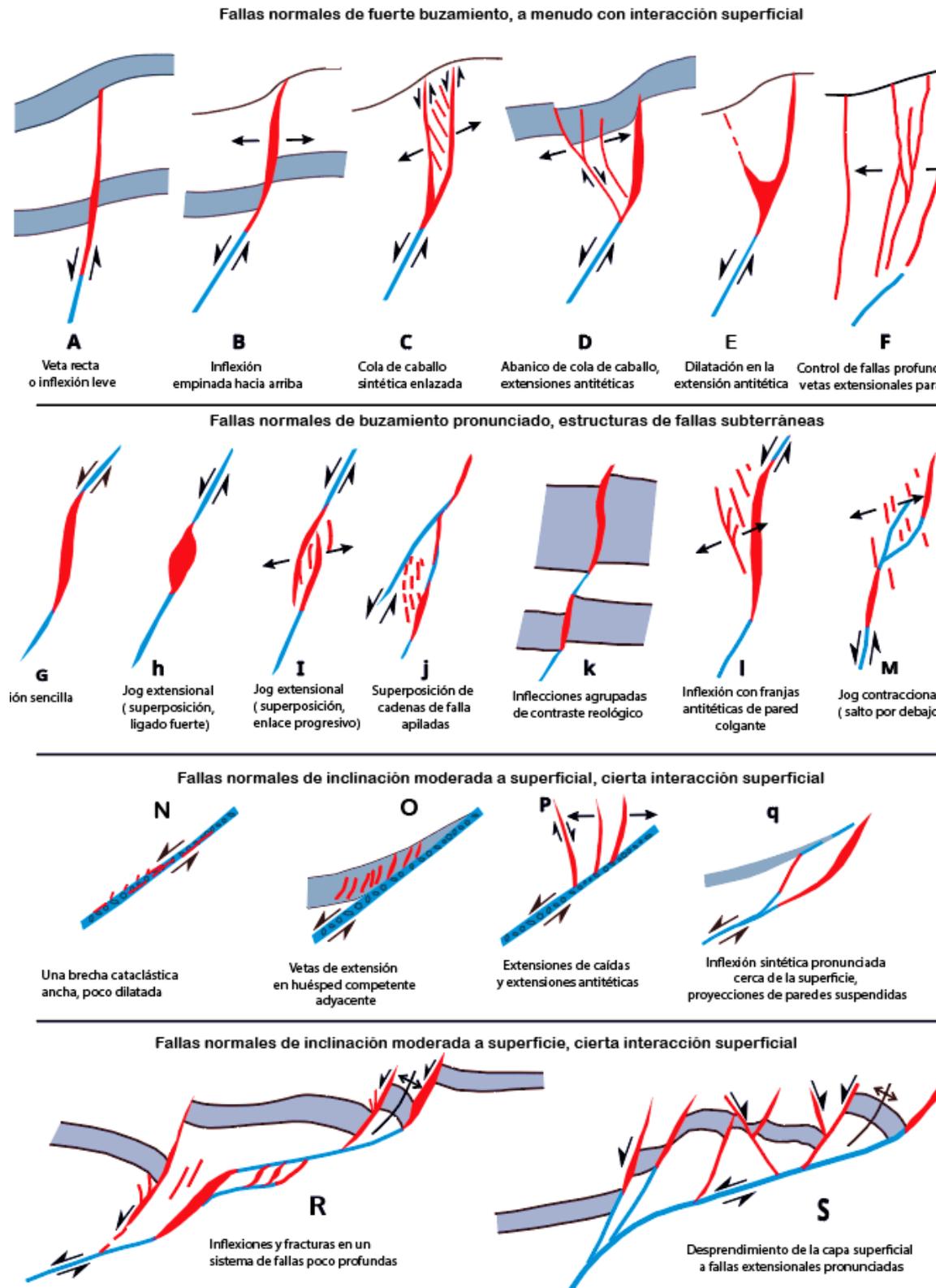
3.1.2.5. Controles estructurales sobre sistema de vetas

En las siguientes secciones se analizan los procesos de deformación y los emplazamientos estructurales que controlan la distribución del mineral y el desarrollo de los yacimientos epitermales.

Los yacimientos epitermales pequeños y estructuralmente sencillos pueden presentar un único tipo de control de los yacimientos, mientras que una mayor variedad de controles estructurales es común y en distritos más grandes con complejas redes de fallas o donde las condiciones cinemáticas han evolucionado a lo largo de la vida del sistema hidrotermal. Nos centramos en los entornos de fallas normales, oblicuas-normales y de deslizamiento de rumbo, que son los entornos estructurales más comunes en los yacimientos epitermales. Donde las variaciones en el buzamiento de la falla normal de control producen la inclinación de los estratos de la pared colgante, las unidades reológicamente débiles con baja resistencia al cizallamiento.

Figura 19

Ilustraciones transversales de controles comunes de oreshoot en sistemas de falla normal y normal-oblicua.





Fuente: (Rowland y Rhys, 2020)

Las flechas asimétricas ilustran el sentido de la cizalla, mientras que las simétricas ilustran la dirección de apertura de las venas extensionales asociadas. Las vetas aparecen en rojo, los segmentos de las estructuras dominados por fallas en azul; las unidades de roca marcadoras en gris son esquemáticas. (Rowland y Rhys, 2020)

A a F: En niveles poco profundos, la inclinación de las fallas suele producirse entre 200 y 500 metros de la superficie, donde las estructuras se dividen en fallas y vetas extensionales o forman una fisura que se ensancha. Los conjuntos de vetas extensionales (abanicos de cola de caballo, conjuntos de vetas extensionales o vetas mayores en láminas pueden emanar de estructuras de fallas maestras o enlazarlas.

G a M: Los filones ciegos en inflexiones, escalones y jogs formados por refracción, vinculación e interacción de filones de falla son comunes en muchos sistemas de sulfuración intermedia y contribuyen a la formación de zonas de mineral de suave hundimiento. Estos incluyen flexiones y jogs extensionales cuando son continuos o fuertemente enlazados (G. H), o como jogs suavemente enlazados y enlaces de filones de falla superpuestos en echelon o en forma de filones apilados (I, J). Las flexiones extensionales pueden apilarse en unidades de rocas estratificadas que tienen reología y permeabilidad diferentes (K), y pueden desarrollarse fallas extensionales conjugadas periféricas y conjuntos de vetas laterales a las flexiones extensionales (L) o jogs normales contraccionales (curvas de compresión; M) en áreas de deformación local compleja. (Rowland y Rhys, 2020)



N a Q: Las fallas de buzamiento moderado a suave pueden contener mineralización diseminada o alojada en brechas en zonas de gouge cataclástico más gruesas asociadas con vetas de extensión periféricas (N), particularmente en unidades huésped más competentes (O). La mineralización también puede producirse en fallas extensionales colgantes (P) o inflexiones (Q). (Rowland y Rhys, 2020)

R y S: Los distritos con fallas maestras lítricas de buzamiento suave pueden contener mineralizaciones dentro de inflexiones de buzamiento más pronunciado, jogs y grietas de dilatación cercanas a la superficie, o a lo largo de fallas de desprendimiento de pendiente suave por debajo de vetas suprayacentes de buzamiento más pronunciado. La autorrotación de los bloques de pared colgante puede producir pliegues que tienen una vergencia opuesta a los pliegues monoclinales que acomodan el desplazamiento cerca de la superficie por encima de las fallas de buzamiento pronunciado en A a F. (Rowland y Rhys, 2020).

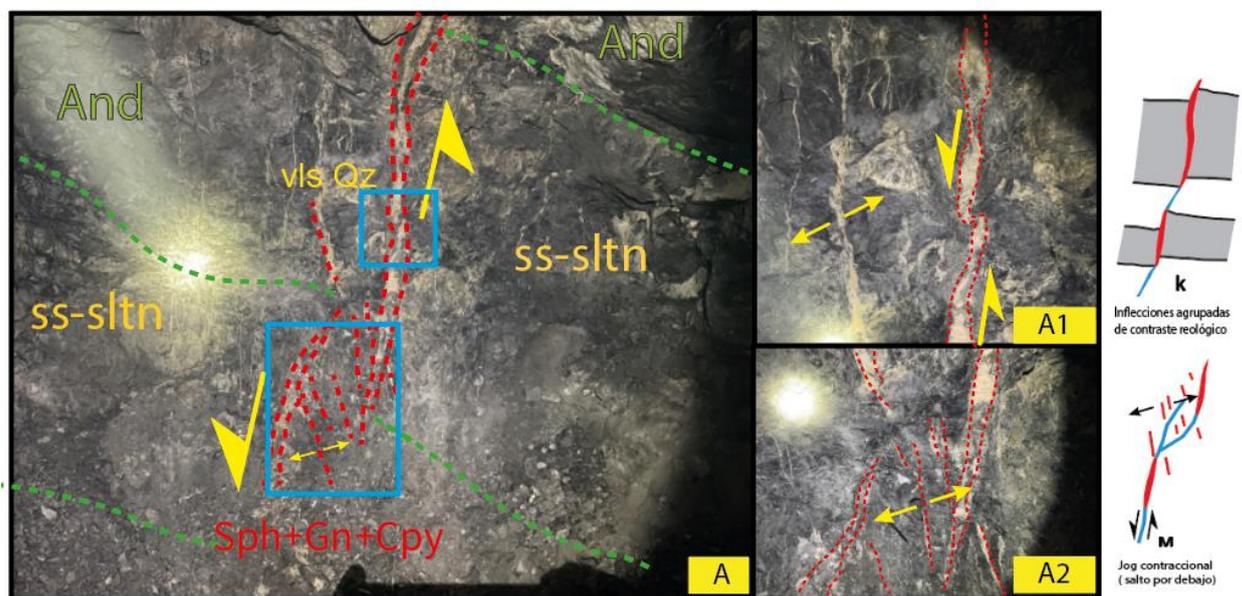
3.1.3 Para relacionar los controles litológicos sobre la distribución del mineral en los sistemas de vetas epitermales de Mina El Santo

Para relacionar los controles litológicos es importante conocer el tipo de estructura en cada secuencia litológica, la identificación de los esfuerzos principales de los frentes de las labores, así como también en planta, las secciones geológicas operativas sistemáticamente transversales a las estructuras mineralizadas tabulares, como el uso de las ilustraciones transversales de controles comunes de oreshoot en sistemas de falla normal y normal-oblicua (figura 20)

El control litológico se refiere a cómo las características de la roca en la que se forman estas vetas afectan su génesis y distribución, como se observa en la figura A) frente de una labor, A1) la estructura es más definida en secuencia volcánica, A2) el comportamiento de la estructura es en venillas y la disminución del contenido metálico en muy bajo en limolitas -lutitas.

Figura 20

La identificación de estructura y tipo de estructura en job extencional.



a) Relación entre la litología y izovalores de Zn%

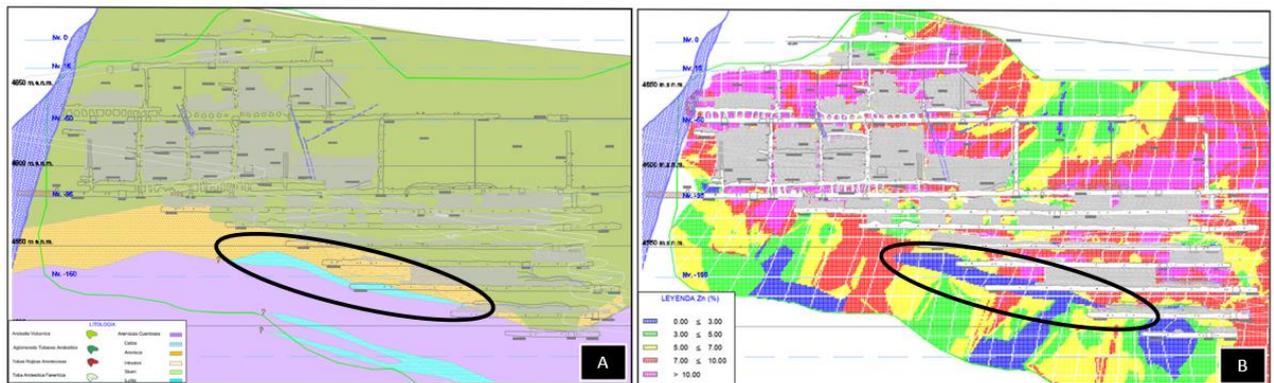
El control litológico en vetas de depósitos epitermales es un factor clave que influye en la formación y distribución de estos sistemas minerales, como el comportamiento de las estructuras en cada litología.

Como de observa en la figura A, una sección longitudinal de litología el comportamiento en las limolitas-arcillas, se observa el control de la litología y estructural, donde podemos corroborar que el comportamiento es muy irregular

con la figura B, sección longitudinal de izovalores de Zn%, proporcionado de área de recursos minerales.

Figura 21

Sección longitudinal litológica y izovalores de Zn%



Las zonas marcadas podemos corroborar que los controles litológicos si es de mucha importancia ya que estos se rigen a la distribución y formación de minerales, ya sea de muy buena concentración o baja concentración de minerales.

3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

En este sentido, el estudio será descriptivo en el sentido de describir e Interpretar el conjunto de características geológicas, control geológico, estructural de la mineralización de tipo sulfuración intermedia - Mina El Santo, Caylloma

3.2. ETAPAS DE LA INVESTIGACIÓN

Se completaron las siguientes fases de la investigación minera de El Santo:

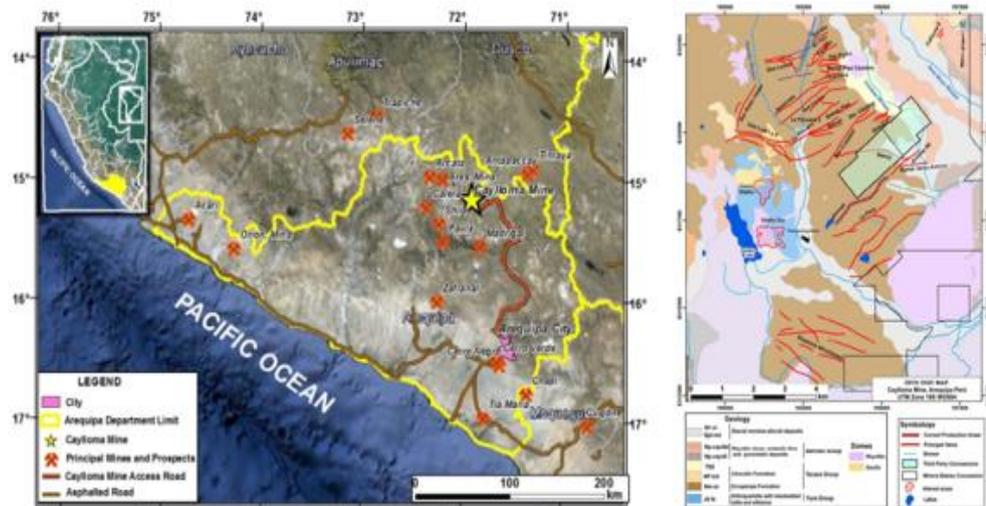
3.1.1 Recopilación y revisión de fuentes de información

Esta fase se centra en la recopilación de información de investigación y datos sobre el terreno, que aportarán los conocimientos necesarios para el proyecto.

También se considera mapas geológicos, estructurales locales y regional. las cuales fueron proporcionadas por la empresa AuPlata Mining Group. También se recopiló las informaciones publicadas de investigaciones relacionadas al tema de estudio, los boletines informativos del INGEMMET de la Geología del cuadrángulo de Caylloma, hoja 31-s - boletín A 40, caracterización petromineralógica tres yacimientos epitermales del sur peruano - boletín B 58.

Figura 22

Recopilación de información basado en revisión de planos geológicos y estructurales regionales, locales.



3.1.2 Trabajo de campo

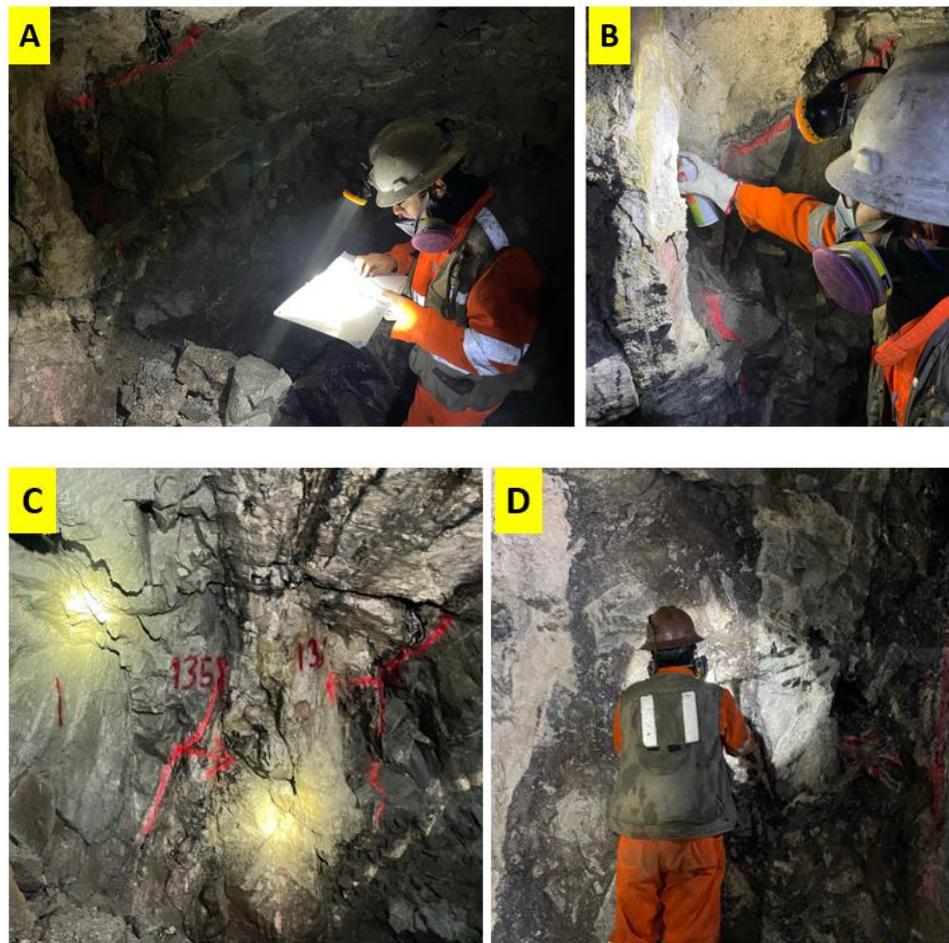
Durante los trabajos de campo realizamos el reconocimiento de zona estudio, los trabajos (in situ) son los siguientes.

- Mapeo geológico a una escala 1/250, 1/1000, 1/5000 (estructural, litológico)
- Características geológicas (mineralogía, geología estructural, alteraciones)

- Muestreo sistemático (2 m) de labores de explotación (subnivel, galerías, tajos).
- Toma de datos estructurales en interior mina y superficie.
- Identificación de tipos de estructuras existente

Figura 23

Caracterización geológica en interior mina. El Santo.



A) Mapeo geológico, toma de datos estructurales, B) Caracterización geológica mineralógica, descripción litológica C) Marcado de canales de muestreo D) Muestreo sistemático cada 2 m.

3.1.3 Trabajo de gabinete

Con la ayuda de software tales como AutoCad 2022, SAT planet, ArGis 10.5, FaultKin 7, Leagfrog Geo, Datamine RM, Stereonet, dips7, con estos programas o Software se realizará el procesamiento y automatización de los datos obtenidos durante la fase de campo, así mismo de realiza la redacción final del proyecto final de investigación.

- Realizar las secciones transversales.
- Realizar el análisis cinemático de las fallas
- Realización de secciones transversales operativas
- Gráfico de contorno de estructuras
- Gráfico de roseta de las orientaciones

Figura 24

- Mapeo geológico de Subnivel, b) interpretación de la estructura (veta, falla),
c) Análisis cinemático de las fallas

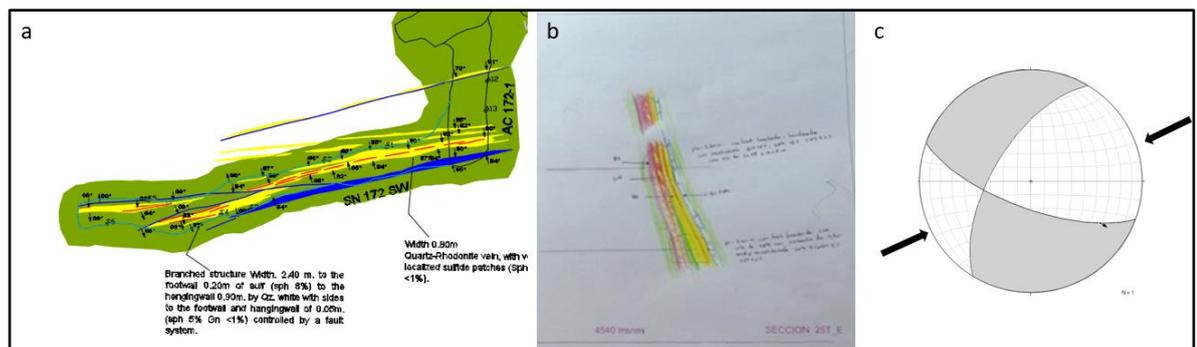
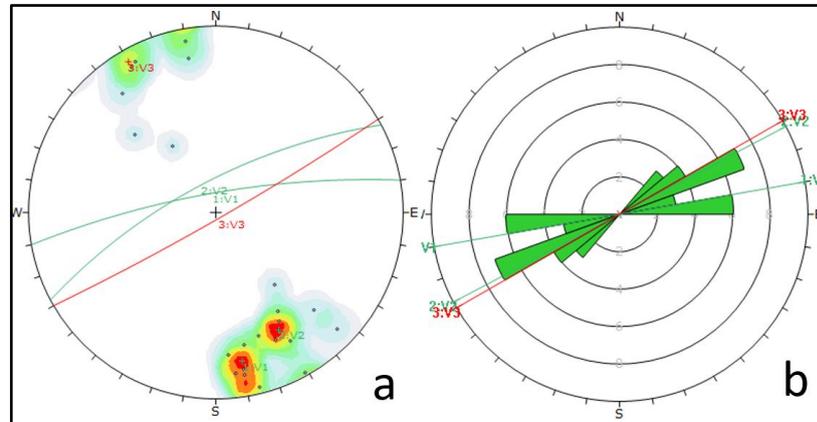


Figura 25

Las orientaciones de las estructuras a partir de software dips, en determinación de familias V1:260°/78°, V2:242°/72°, V3:060°/86°.



3.3. MATERIALES Y EQUIPOS

- **Materiales**
 - Brújula Brunton o brújula de geólogo, se usa generalmente para mediciones del rumbo y buzamiento de estratos, estructura mineraliza, fracturas y fallas.
 - Lupa Iwamoto acromático de 20x, para describir las rocas y minerales
 - Picota de geólogo Estwing de mango corto.
 - Lápiz de dureza
 - Tablero de mapeo
 - Libreta rite in the rain
 - Cámara fotográfica Canon
- **Equipos**



- Softwares AutoCad 2022, SAT planet, ArGis 10.5, FaultKin 7, Leagfrog Geo, Datamine RM, Stereonet.
- Laptop.

CAPÍTULO IV

CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

4.1 UBICACIÓN

Geográficamente, está situada entre 4.500 y 5.000 metros sobre el nivel del mar en el centro-sur de Perú, en el extremo occidental de la cordillera de los Andes. Se encuentra enmarcado dentro de las coordenadas UTM WGS84, zona 19 del hemisferio Sur.

- Departamento : Arequipa
- Provincia : Caylloma
- Distrito : Caylloma

Tabla 2

Coordenadas de Ubicación del Área de Estudio

Vértices	Coordenadas UTM		Datum	Zona
	Este (m)	Norte(m)		
1	193640.07	8318797.28	UTM WGS 84	19S
2	195953.27	8321031.08	UTM WGS 84	19S
3	196601.03	8320269.23	UTM WGS 84	19S
4	194225.26	8318109.01	UTM WGS 84	19S

4.2 ACCESIBILIDAD

La zona de estudio es accesible desde la ciudad de Lima hasta Arequipa, luego de la ciudad de Arequipa hacia el Distrito de Caylloma. (Ver **Tabla 3**).

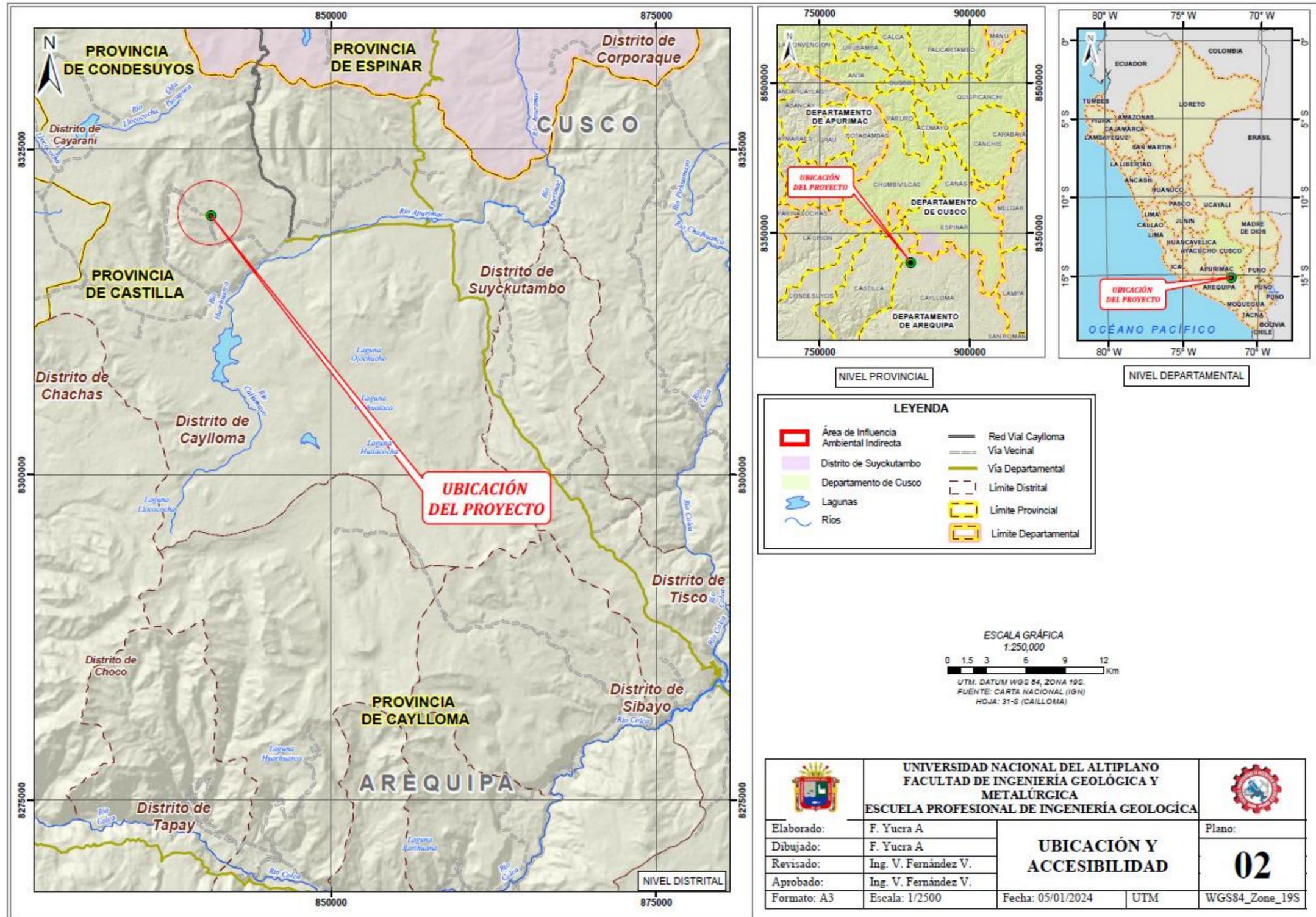


Tabla 3

Accesibilidad a la Mina El Santo

Accesibilidad	Distancia (Km)	Tiempo (Horas)	Tipo de vía
Lima - Arequipa	1010	14	Asfaltada
Arequipa - Caylloma	265	12	Afirmada
Caylloma - Mina	8	0.5	Afirmada

Anexo: Plano N° 02: Plano de ubicación y accesibilidad





4.3 GEOMORFOLOGIA

La zona de interés se sitúa entre los 4600 y los 5100 metros sobre el nivel del mar. Grandes depresiones, picos elevados, depósitos fluvio-glaciares, morrenas y otras características son ejemplos de las geoformas típicas de la actividad glacial y volcánica.

A continuación, se describen cada una de estas geoformas:

4.3.1 Unidad montañosa

Se compone de geoformas resultantes de la denudación íntimamente ligada a la composición litológica, así como de geoformas surgidas del modelado tectónico y volcánico.

a) Montañas

Es la unidad que se adhiere a una topografía accidentada con pendientes pronunciadas y altitudes más elevadas; en la zona de estudio se observan montañas -colinas, y el yacimiento puede verse al sur de la misma.

b) Colina

En la unidad que tiene la topografía de poco tamaño que no supera los 300 m. de la base a la cima, suelen tener formas redondeadas, su origen son geológicos, erosivos y sedimentarios.

c) Lomada

En la unidad de menor altura que no supera los 100 m. de la base a la cima, su origen falla tectónicas y origen geológico, ocurridos en el cuaternario.

4.3.2 Unidad glacial

1. Morrena



Se encuentran en los lechos de los valles, tienen una amplia distribución regional y se componen de arenas, gravas, rocas volcánicas y limos poco consolidados.

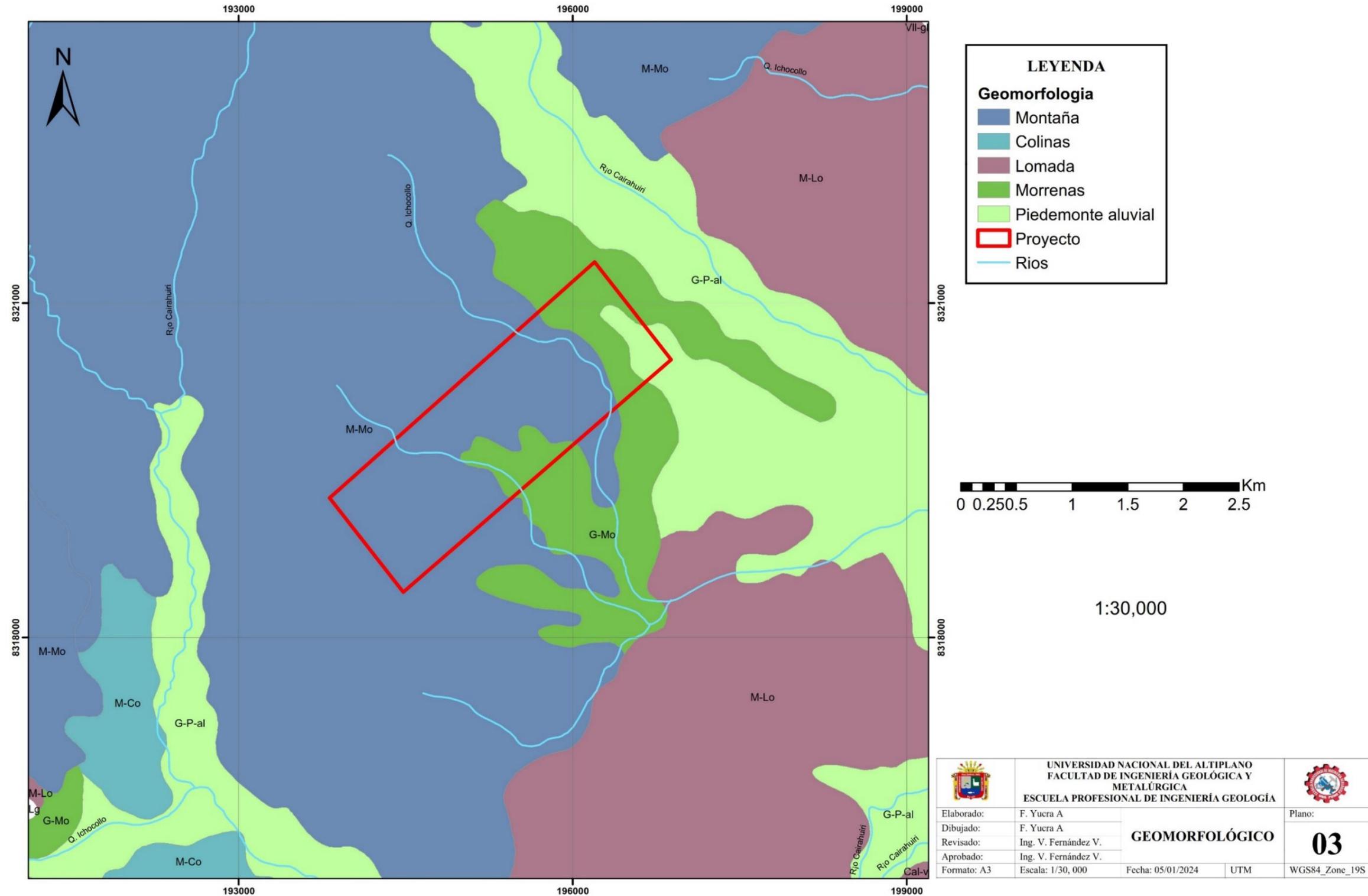
2. Valle Glaciar

Debido al movimiento de los glaciares a través de los valles preexistentes, que dejaron estrías de abrasión en las rocas de las paredes y lechos de valle, éstos tienen la característica forma de U.

3. Piedemonte

En los flancos de piedemonte y los conos de deyección se encuentran en las laderas de estos valles, se depositan material fluvioglaciar y dan lugar a zonas pantanosos (Bofedales)

PLANO GEOMORFOLOGICO



4.4 GEOLOGIA LOCAL

El cuadrángulo de Caylloma alberga unidades volcánicas y sedimentarias que datan desde el Jurásico hasta la actualidad. El Grupo Yura, que es la unidad más antigua surgida en la región y presenta formaciones diferenciadas, es: Puente, Cachios, Labra, Gramadal y Hualhuani. Los domos de lava riolítica postmineral invaden la secuencia sedimentaria y volcánica; su emplazamiento está asociado a fallas y diques locales. La secuencia de la caldera de Chonta se corresponde a los diques.

Un flujo de lava andesítica con abundantes fenocristales de plagioclasa y matriz rica en vidrio se sobrepone en discordancia a la secuencia volcánica del Mioceno inferior y está genéticamente relacionado con los domos riolíticos

Finalmente, las coladas de lava del Plioceno-Pleistoceno de composición intermedia a básica del Grupo Barroso abarcan todo este período, los cuales forman mesetas.

Figura 26

Contacto geológico de los 3 tipos de litología.



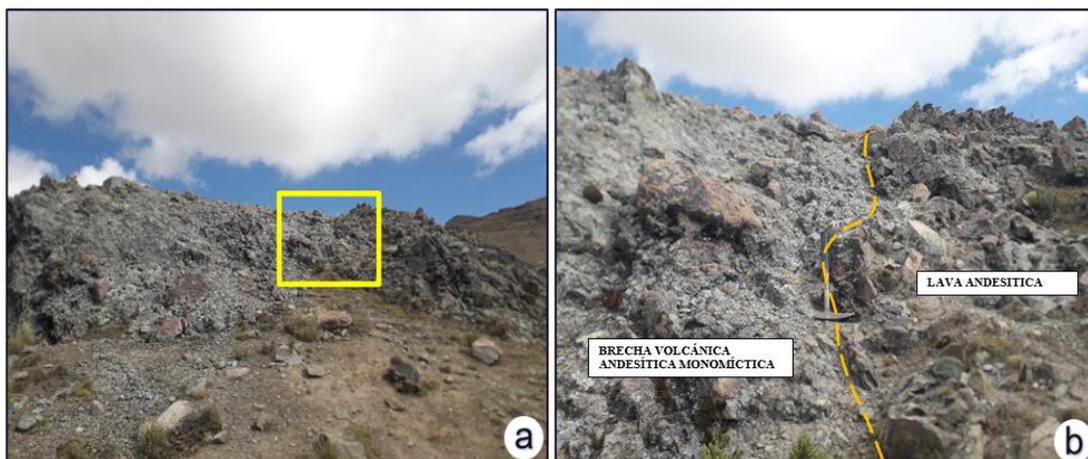
Vista al W. (194350E, 8319023N, cota 4948m): Contacto litológico entre lava andesítica en la parte superior, brecha volcánica andesítica monomítica en la parte media y toba andesítica en la parte inferior.

4.4.1 Lava andesítica

En la parte central y sur de la concesión suprayaciendo a toda la secuencia volcánica, se tiene lava andesítica. Presenta coloración violácea y textura porfirítica con moderado fracturamiento. Se encuentran remanentes que cubren parcialmente a los afloramientos de brecha volcánica andesítica monomítica.

Figura 27

Lava Andesítica.



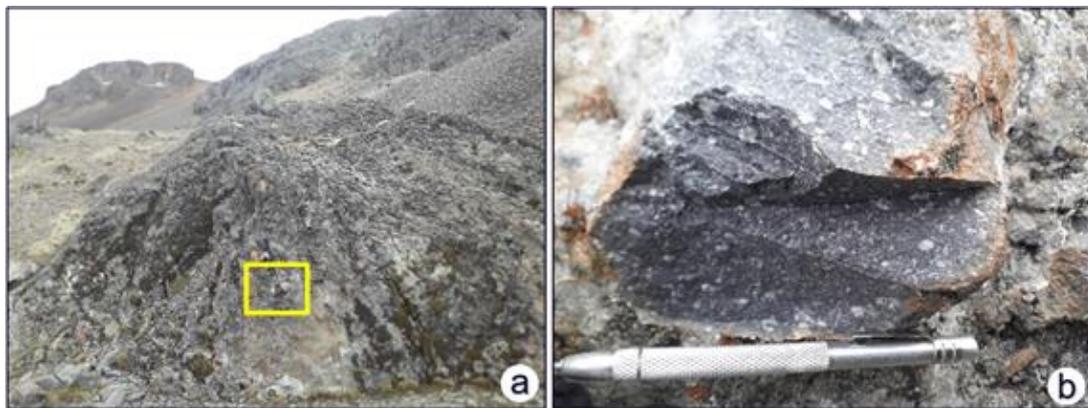
Vista al NW (194531E, 8319882N, 4845m): a) Lava andesítica suprayaciendo a brecha volcánica andesítica. b) A la izquierda: clastos subangulosos de la brecha volcánica andesítica. A la derecha la lava andesítica fuertemente fracturada.

4.4.2 Brecha volcánica andesítica monomíctica

Con gran predominancia en la zona sur y oeste del proyecto. Presenta coloración gris violácea y en algunos casos verdusca por intemperismo, comprende una matriz andesítica con clastos de tamaño variable hasta 25 cm; sub-redondeados de andesita porfirítica distribuidos caóticamente. Infrayace a la lava andesítica.

Figura 28

Brecha volcánica andesítica monomíctica



Vista al N. (194811E, 8319902N, 4829m): a) Afloramiento de brecha volcánica andesítica con disposición de clastos distribuidos caóticamente dentro de una matriz andesítica. b) Foto detalle, se aprecia un clasto sub-redondeado de andesita porfirítica con alteración propilítica débil selectiva en algunos fenocristales.

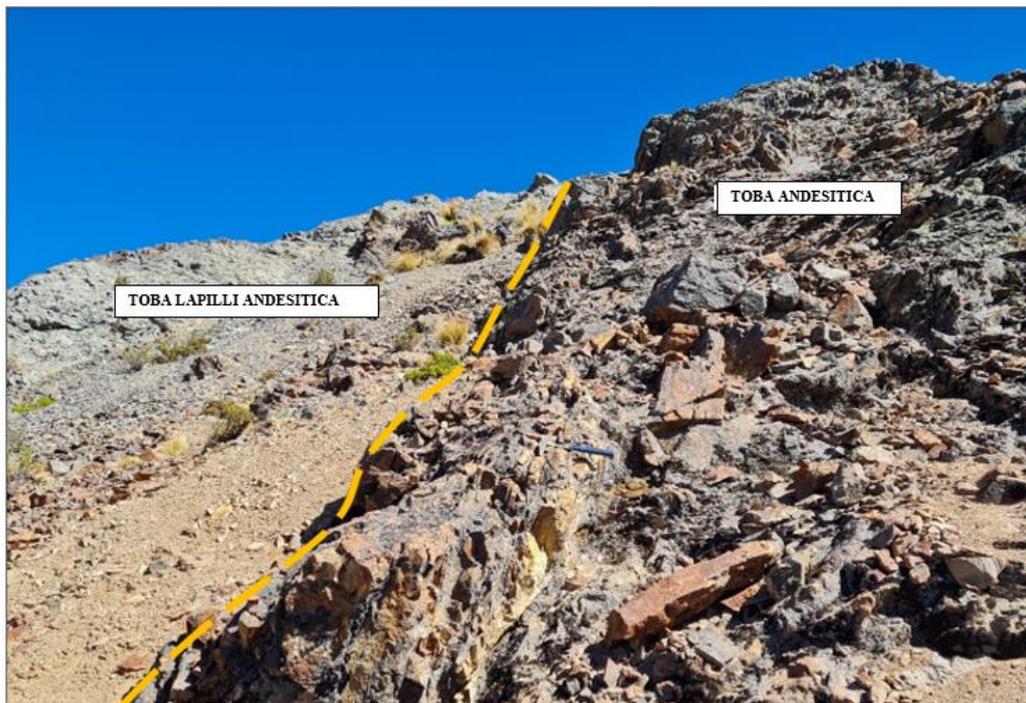
4.4.3 Toba andesítica

Predomina principalmente en la zona norte del proyecto. Generalmente presenta coloración verdusca producto de la alteración hidrotermal. Están compuestas por matriz de ceniza con fenocristales y fragmentos que en ocasiones

se presentan ligeramente elongados. Se encuentra infrayaciendo a la brecha volcánica andesítica monomítica. También es apreciable toba andesítica violácea, que se caracteriza por su coloración, además de ser más compacta; por lo que presenta mayor grado de fracturamiento.

Figura 29

Toba andesítica.



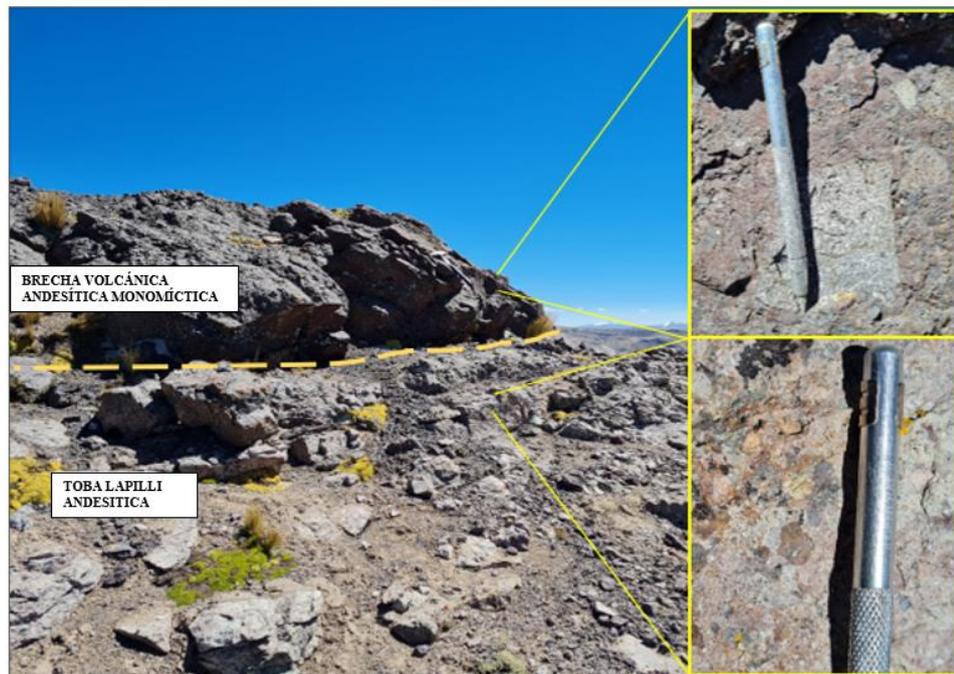
Vista al W. (193885E, 8318787N, cota 4978m): Lava andesítica (derecha) suprayaciendo a toba lapilli andesítica (izquierda).

4.4.4 Toba lapilli andesítica

Se ha observado mejor exposición de afloramientos en la parte alta de la zona suroeste de la concesión Sandra. Presenta coloración verduzca, textura piroclástica y matriz de cenizas con fenocristales y fragmentos líticos hasta 2 cm de diámetro con gradación granulométrica normal.

Figura 30

Afloramiento de toba lapilli andesítica.



Vista al W. (194065E, 8319012N, cota 5056m): Contacto litológico entre brecha volcánica monomíctica andesítica en la parte superior y toba lapilli andesítica en la parte inferior. (Az/Bz: 140/37).

4.4.5 Dique andesítico

Sub - volcánico con coloración gris violácea de forma tabular y siguiendo la orientación del sistema de fracturas predominante, textura de grano medio, fenocristales ligeramente alterados y magnetismo débil.

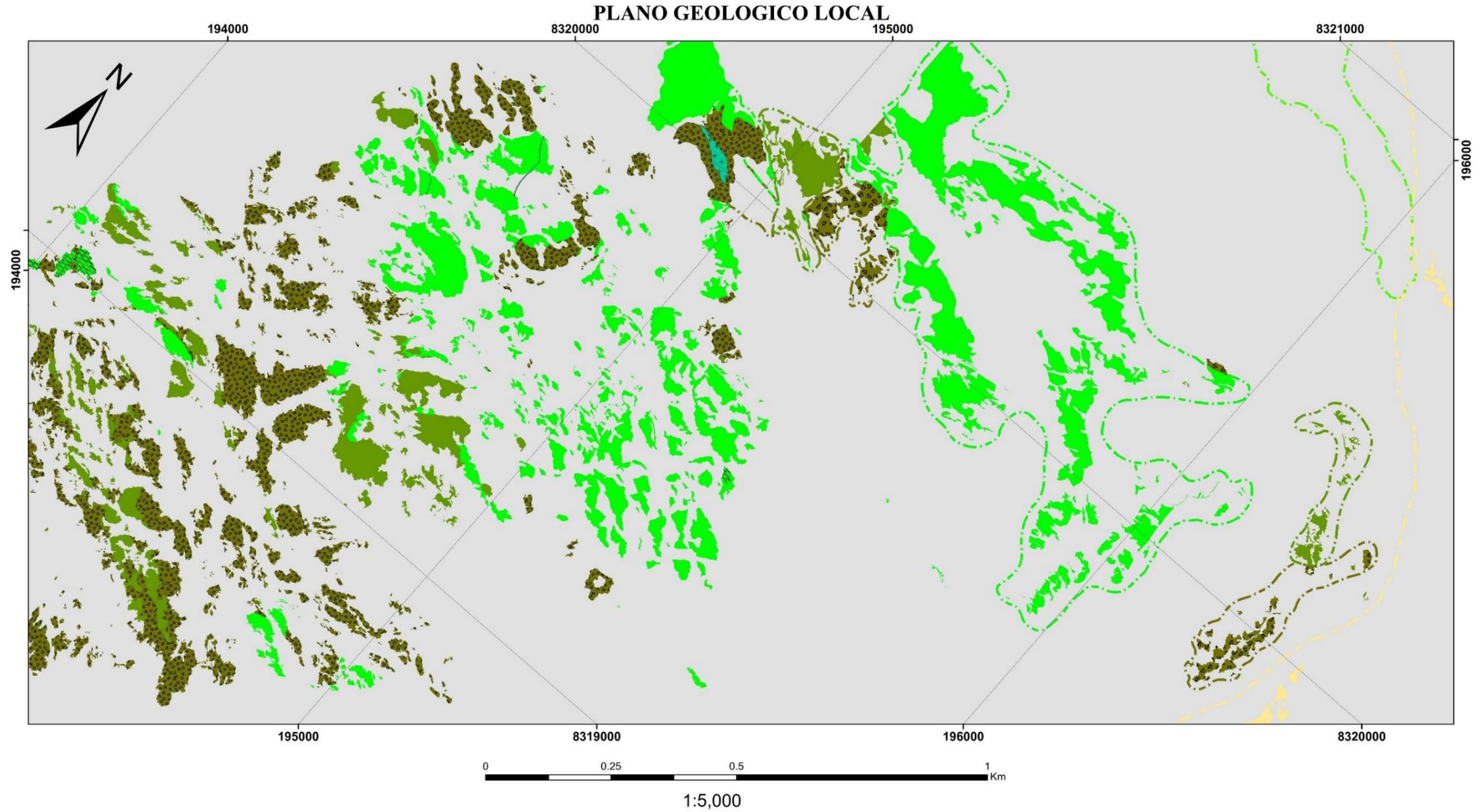
Figura 31

Dique andesítico.



Vista al N. (194496E, 8319577N, cota 4850m): Dique andesítico intruyendo a la toba andesítica. En detalle se observa textura de grano medio con fenocristales ligeramente alterados, presenta magnetismo débil (Az/Bz: 123/76).

Anexo: Plano N° 04: Plano Geológico Local



Litología	
	Cuaternario
	Andesitas del Barroso
	Toba Andesítica
	Lava Andesítica
	Brecha Volcánica
	Dique Andesítico

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y METALÚRGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLOGÍA				
Elaborado:	F. Yucra A.	Plano:		
Dibujado:	F. Yucra A.	GEOLOGÍA LOCAL 04		
Revisado:	Ing. V. Fernández V.			
Aprobado:	Ing. V. Fernández V.			
Formato: A2	Escala: 5,000	Fecha: 05/01/2024	UTM	WGS84_Zone_19S



4.5 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL LOCAL

El sistema estructural está controlado por 2 tipos de fallas, falla Trinidad y Falla Santiago que son de primer orden, el sistema de segundo orden este compuesto por la Fallas Animas y San Cristobal. La mineralización de vetas del yacimiento de la mina El Santo se debe a estructuras con buzamientos de 60° y 80° SE y orientaciones de $N57^\circ$ E y $N40^\circ$ E. Estas estructuras forman fallas normales con dirección NE favorables para la mineralización y tienen un movimiento de cizalla dextral.

4.5.1 Veta San Cristóbal

La veta de San Cristóbal tiene un afloramiento de 2,5 kilómetros con un rumbo $N35^\circ$ a 55° E y buzamiento 50° a 80° SE; su potencia varía de 5 a 6 metros en los niveles superiores a 2 a 2,5 metros en los niveles inferiores. La esfalerita, la galena, la polibasita, la pirargirita, la calcopirita y la tetraedrita son los sulfuros primarios que se encuentran en la pirita, el cuarzo, la rodonita y la calcita. La estructura más desarrollada del distrito es ésta. La tendencia para que los valores de plata descendan gradualmente con la profundidad se encuentran en los enriquecimientos que se originan por la distribución irregular de los valores de plata a lo largo del rumbo de la veta.

4.5.2 Veta Ánimas

Situada a más de 4 km entre la quebrada Santiago y Trinidad, la veta La Plata es una fractura rellena a lo largo de una falla regional. Cuarzo, rodonita, calcita y óxidos de manganeso se encuentran en la parte media de la porción más representativa, que se extiende 400 metros a lo largo del rumbo. Cuarzo con diseminado de pirita y plata roja con partículas de óxido de manganeso componen

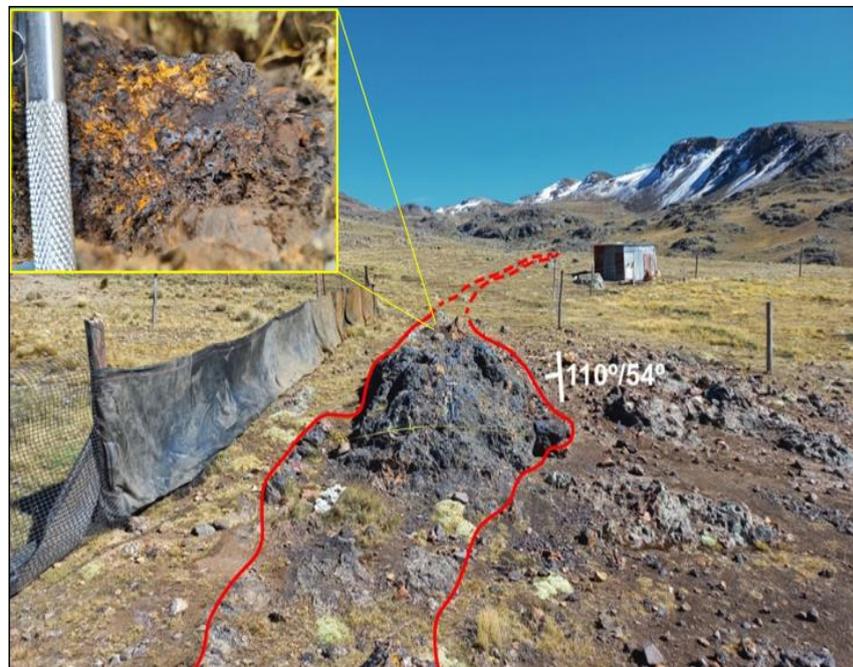
la sección este de la veta. Además de estibina, pirita y tetraedrita, presenta un sigmoide gris lleno de sílice.

4.5.3 Veta Lucero

Veta con potencias que van de 0.10 m a 2 m y proyección de longitud total aproximada 550 m. En el extremo NW de la estructura está caracterizado por cuarzo blanco con textura crustiforme – bandeada, reticular en las paredes y relleno de cuarzo con sulfuros (galena - pirita) en el centro; y con presencia de pátinas de goethita. En el extremo SE de la estructura existe un incremento de óxido de manganeso (psilomenano) y óxido de hierro (hematita, limonita y jarosita).

Figura 32

Veta Lucero



Vista al NW. Veta Lucero. (195527E, 8319196N, cota 4708m): Veta de 2 m de potencia. En detalle se observa cuarzo gris con óxido de manganeso (psilomenano) y óxido de hierro (hematita, limonita y jarosita). (Az/Bz: 110/54).

4.5.4 Veta Milett

Veta de sílice calcedónica gris, blanquesino con esporádico cuarzo hialino y óxidos de hierro (hematita, jarosita) presente en forma de parches y rellenando fracturas. Su mejor exposición está en su extremo NW (120 m continuos) y proyección de longitud total aproximada 420 m, con potencias que van de 5 cm a 45 cm.

Figura 33

Veta Milett.



Vista al W. Veta Milett (194264E, 8319368N, cota 4933m): Veta de 45 cm de potencia. En detalle se observa sílice calcedónica gris con cuarzo

blanquesino en parches. Óxido de hierro 1% (limonita, jarosita) en patinas.
(Az/Bz: 84/83).

4.5.5 Veta Barita

Veta bandeada de cuarzo hialino, silice calcedónica y silice gris con puntual desarrollo de drusas, óxido de manganeso y de hierro en parches. En algunas zonas presenta abundante calcita cristalizada de textura fibrosa. Se ha observado potencias que van de 0.3 m a 1.5 m y longitud total aproximada 670 m.

Figura 34

Veta Barita



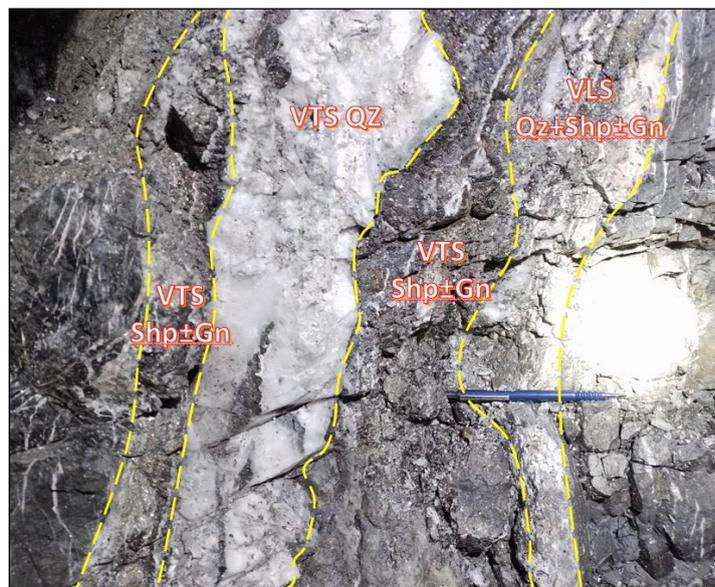
Vista al W. Veta Barita. (194637E, 8319386N, cota 4808 m): Veta bandeada de 60 cm de potencia, En detalle se observa silice calcedónica blanquesina, silice gris y cuarzo hialino con puntual desarrollo de drusas. Trazas de óxido de manganeso y de hierro

4.5.6 Veta el Ángel

Estructura mineralizada que aflora de 300 m con un azimut N235°/78° - 80° y con una potencia de 1,5 a 5,0 m. Tiene una estructura de vetas de cuarzo que rellenan fracturas de vetas y están asociadas a sulfuros de esfalerita (Sph), calcopirita (Cpy), galena (Gn). Los carbonatos que son visibles en las fracturas rellenas de cuarzo. La ley media es de 2,80 oz/ton Ag, 0,37% Cu, 3,54% Pb, 4,71% Zn y 0,60 g/ton Au.

Figura 35

Veta el Ángel



Veta de potencia de 1.90 m. con textura bandeada – crustiforme, con vls de Qz+Rdn con parches de Cpy, ambas cajas de andesitas.

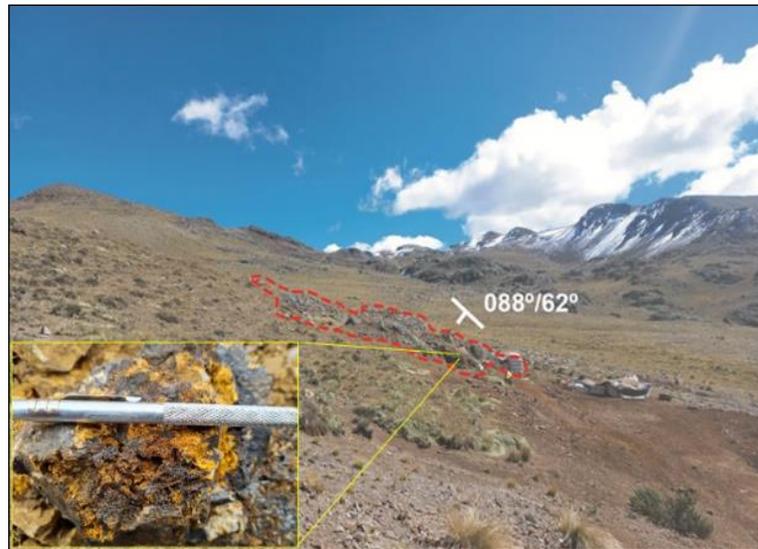
4.5.7 Veta Nancy

Veta compuesta por cuarzo blanco grisáceo, presenta textura crustiforme brechada, laticce y bandeada; parches de óxido de manganeso (pirolusita) y óxido de hierro (limonita, hematita y jarosita) relleno de cavidades y fracturas. El único

aflorescimiento expuesto se encuentra al E del proyecto y presenta una potencia de 12 m. La muestra histórica contiene 6 gAu/t y 3 OzAg/t.

Figura 36

Veta Nancy



Vista al NW. Veta Nancy. (195486E, 8319176N, cota 4727m): Veta de 12 m de potencia. En detalle se observa cuarzo gris, textura brechada – latices, parches de óxido de manganeso (psilomelano) y óxido de hierro (limonita, hematita y jarosita) en parches

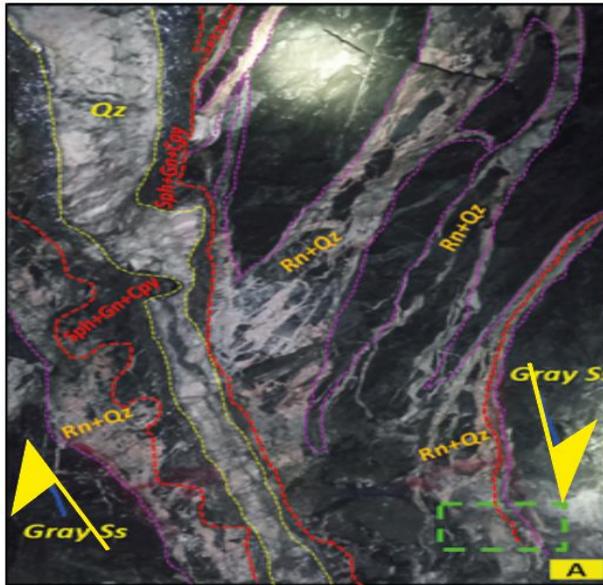
4.5.8 Veta el Diablo

Su textura crustiforme presenta claras apariciones de mineralización, con bandas de cuarzo y rodonita. La estructura mineralizada tiene una dirección N245°E, un buzamiento subvertical y una potencia variada que oscila entre 0,50 y 2,00 metros. El cuarzo se encuentra en formas irregulares y hexagonales que van desde cristales euhedrales a subhedrales con diámetros milimétricos. Está ligado a mineralización de sulfuros que incluye calcopirita, esfalerita, galena, calcosina. La esfalerita es apreciada por sus cristales anhedrales de hábitos

irregulares y diámetros milimétricos. Con leyes de. 0,70 g/ton Au, 2,90 Oz/ton Ag, 0,45% Cu, 3,50% Pb y 4,79% Zn.

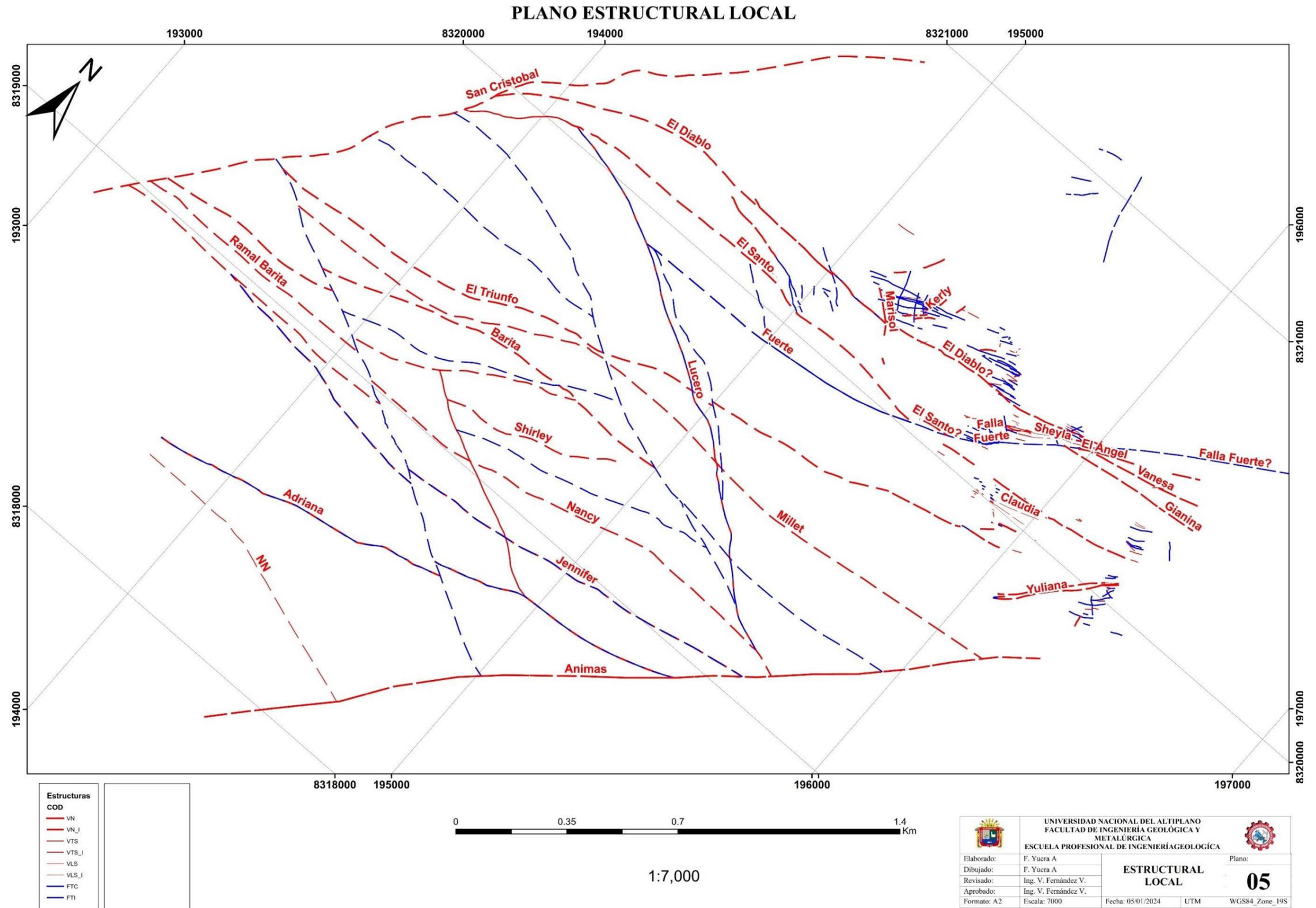
Figura 37

Veta Nancy



Veta de potencia de 0.90 m. con textura bandeada – crustiforme, con vls de Qz+Rdn con parches de Cpy, ambas cajas de arenisca.

Anexo: Plano 05- Plano de Geología Estructural Local



CAPÍTULO V

RESULTADOS

5.1 CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE LA MINA EL SANTO

5.1.1 Cartografiado geológico

a) Mapeo geológico

Todos los datos geológicos deben documentarse en el siguiente orden en un documento A4 que se adjuntará debidamente al portador de plano.

Figura 38

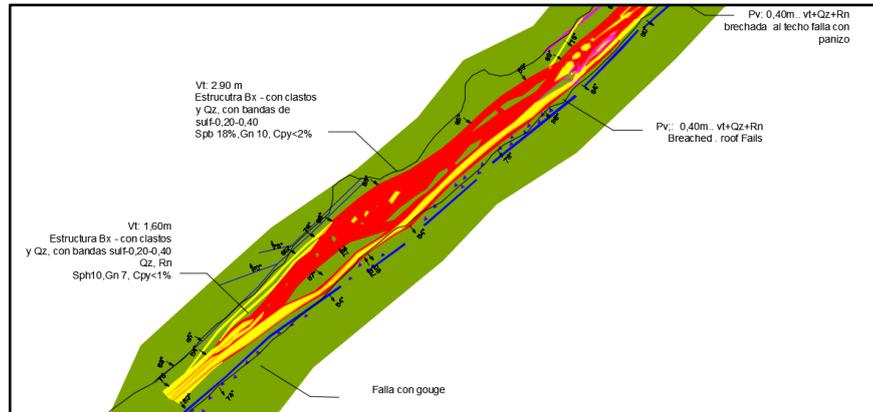
Caracterización geológica.



- A) Mapeo a la altura de pecho, donde se toma datos estructurales como azimut, buzamiento, B) Descripción de las estructuras, mineralogía, textura, alteración, tipos de estructura.

Figura 39

Mapeo geológico

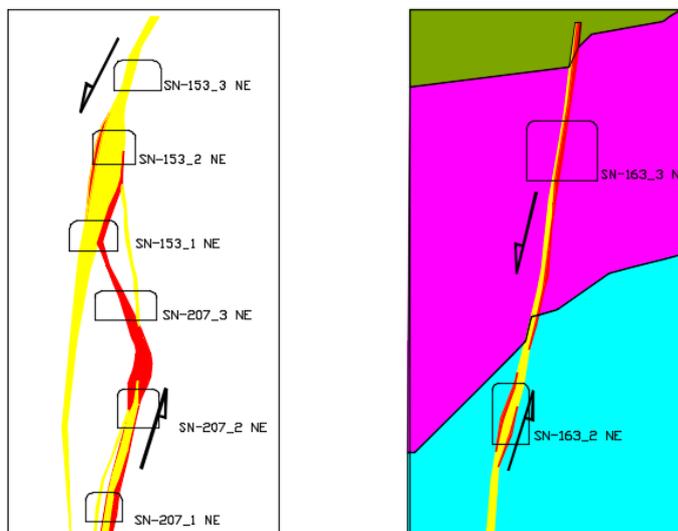


b) Secciones geológicas

Las importancias de las secciones transversales operativas cada 5 m. y master cada 25 m. y 50 m. nos ayuda a identificar zonas de apertura y controles reológicos, (por ejemplo, horizontes sedimentarios de grano fino o de toba) pueden flexionar por la formación de fallas extensionales de bajo ángulo que pueden controlar la posición de las vetas.

Figura 40

Secciones geológicas



5.1.2 Muestreo en interior mina

La toma de muestra iniciamos con marcado con pintura y el intervalo de muestreo en los hastiales cada 2 mts. sistemáticamente, limpiar el canal, delimitar con pintura los canales de cada muestra y tomar la muestra con las herramientas adecuadas directamente a la bolsa de muestreo, la profundidad del canal de muestreo no debe ser menor a 1" (1 a 2"), cumpliendo con los procedimientos de muestreo.

Figura 41

Identificación de estructuras mineralizadas



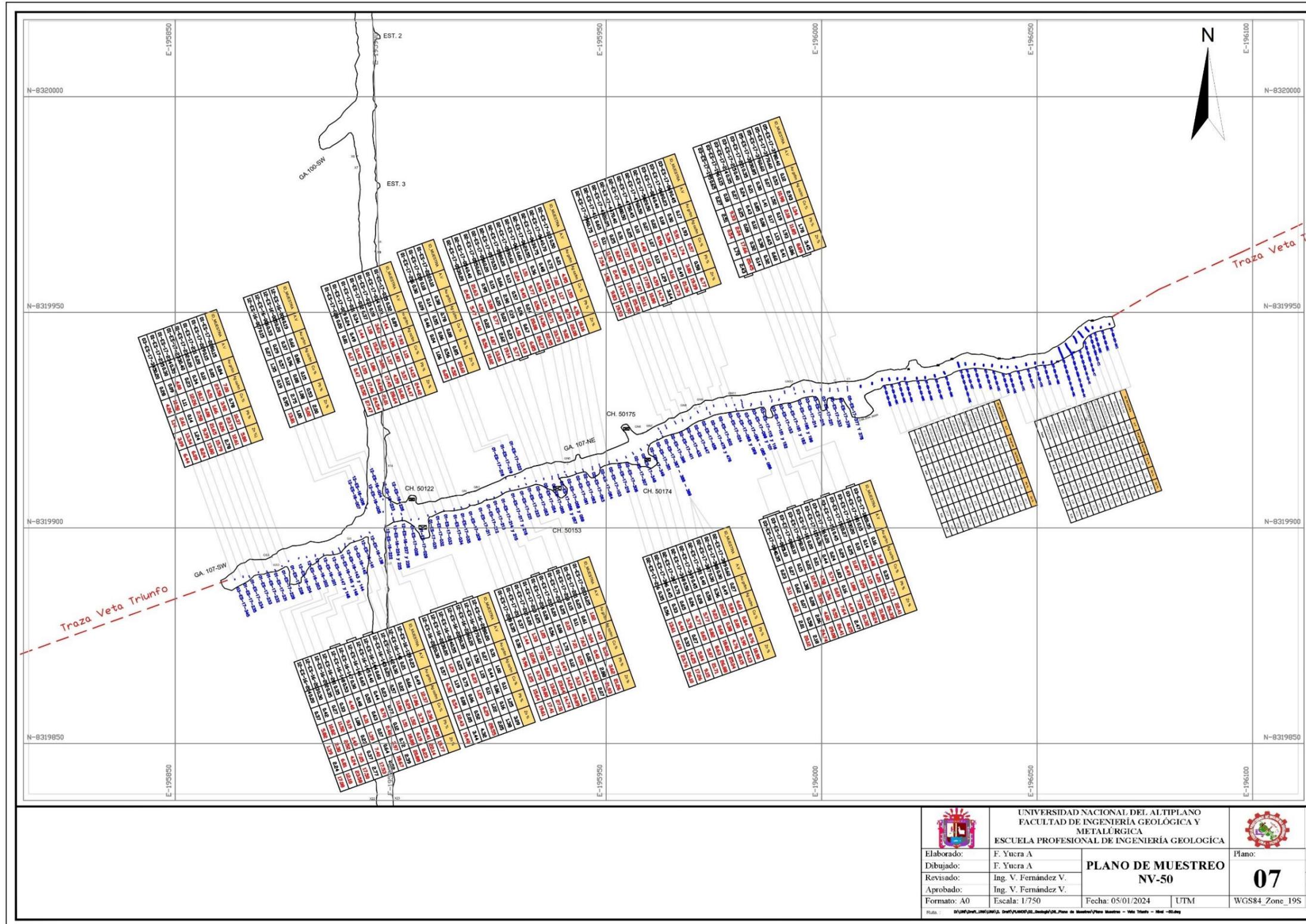
A) Identificación de estructuras y delimitación. B) Muestreo sistemático a cada 2 metros. C) Codificación de muestras para su levantamiento topográfico.

Figura 42

Preparación de las muestras.



Anexo: Plano N° 7: Plano De Muestreo Nv-50



 UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y METALÚRGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA		 Plano:
Elaborado: F. Yucra A.	Dibujado: F. Yucra A.	Fecha: 05/01/2024 UTM WGS84_Zone_19S
Revisado: Ing. V. Fernández V.	Aprobado: Ing. V. Fernández V.	
Formato: A0	Escala: 1/750	



5.1.3 Mineralización

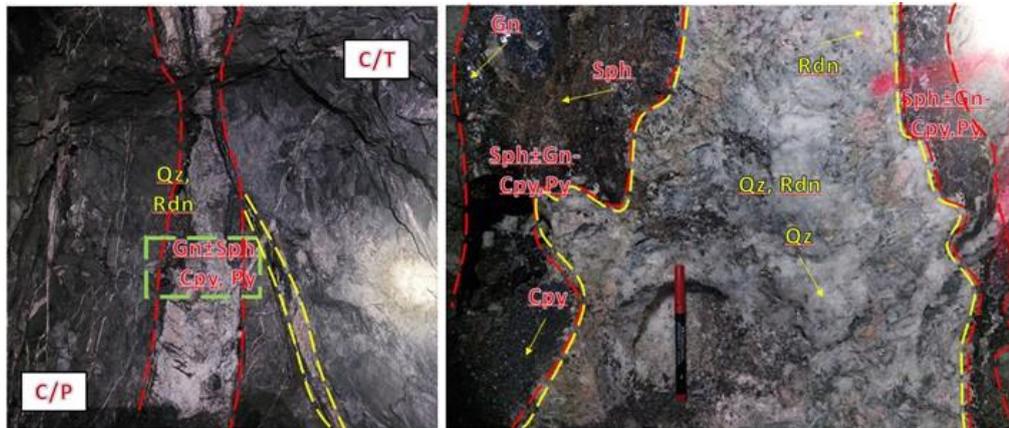
Las vetas son de naturaleza tabular, con espacios abiertos rellenos por deposición esporádica de sulfuros metálicos y minerales de ganga.

La mineralogía de mena de las muestras está comprendida por Ag, Cu, Zn, Pb y Au. Estos comprenden los siguientes minerales: Esfalerita, sulfosales de plata y muy probablemente polibasita, calcopirita, pirita, argentita, galena, galena argentífera, y oro (tal vez como electrum y libre en tamaño submicroscópico). la esfalerita, que tiene una baja concentración de hierro y un color principalmente caramelo.

Aparecen como bandas dispersas, de grano grueso y vetillas de grano fino en las brechas, también pueden encontrarse como lentes que forman fragmentos. Los carbonatos de calcio y manganeso (manganocalcita), el cuarzo y en menor cantidad, el yeso que rellena cavidades que forman los minerales de ganga. Los carbonatos son indicativos de varios episodios o pulsos hidrotermales. Las texturas que presenta como las bandeadas, coloformes, oquerosas, en peine, drúsicas con cristales “diente de perro”, brechosas y de reemplazo.

Figura 43

Estructura bandeada de mena comprendida por Ag, Cu, Zn, Pb.



Veta bandeada- drusicas, alojada en una andesita porfírica silicificada, con las bandas más antiguas organizadas simétricamente hacia el exterior y las más jóvenes orientadas hacia el centro de la veta, están presentes todos los procesos deposicionales.

5.1.4 Paragénesis

Se han determinado cuatro etapas de precipitación de los minerales de carácter cíclico, mostrando cambios bruscos de mineralogía, texturas, composición y fluidos (estudio de inclusiones fluidas, prueba de isótopos de azufre de alta salinidad, (Echevarría, 2003)), la mineralización económica se ha formado aproximadamente a 650 m de profundidad y a una temperatura de 300°C. (Figura 43).

a) Primera fase

Se depositaron cuarzo I de textura azucarada-calcedónica y escasa calcita y pirita, revistiendo las paredes de la caja con grosores de 5 a 10 cm, siendo la mayor cantidad está en caja piso.



b) Segunda Fase

Se depositan cantidades menores de pirita de gran tamaño, rodonita con pirita diseminada y minerales de manganeso.

c) Tercera Fase

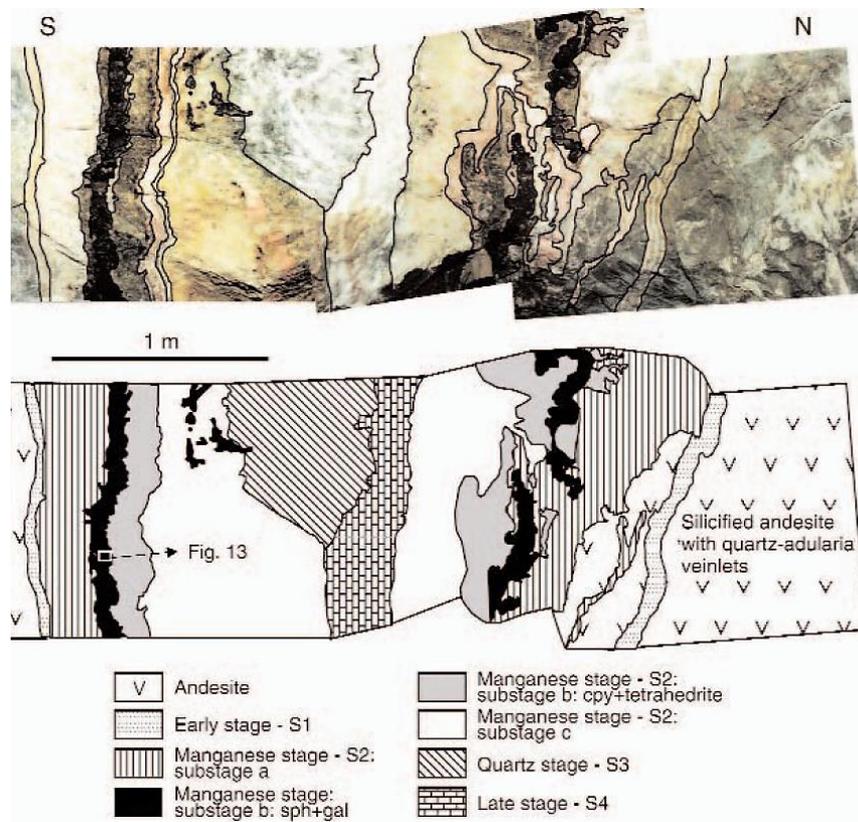
Se deposita el cuarzo II hialino transparente y los sulfuros como galena, argentita, esfalerita, calcopirita y tetraedrita, generalmente en venillas paralelas.

d) Cuarta Fase

Se deposita cuarzo III y la calcita con bandas de rodonita, en la primera etapa de fase los sulfuros y cuarzo de grano medio a grueso y al final la rodonita, calcedonia y calcita con espesor de hasta 5 cm.

Figura 44

Paragénesis



Alojada en una andesita porfírica silicificada. Están presentes todos los estadios deposicionales descritos, con las bandas más jóvenes dispuestas hacia el centro de la veta y las antiguas dispuestas simétricamente hacia el exterior. El estadio de manganeso (S2) ocupa más del 75% vol. de veta, donde los tres subestadios principales están claramente identificados. El subestadio intermedio(S2b) muestra una zona clara con una banda exterior de esfalerita (Sph) – galena (Gn) que pasa hacia el exterior a una banda de calcopirita-tetraedrita.

Fuente: (Echavarría et al., 2006)



5.1.5 Alteración hidrotermal

La alteración predominante en la unidad El Santo es la propilítica débil (clorita, calcita y escasa piritita); seguida por silicificación débil a moderada restringida a vetas y venillas principalmente de cuarzo; argilización débil a moderada relacionada a zonas de falla.

5.2 CONTROLES ESTRUCTURALES SOBRE SISTEMA DE VETAS EPITERMALES

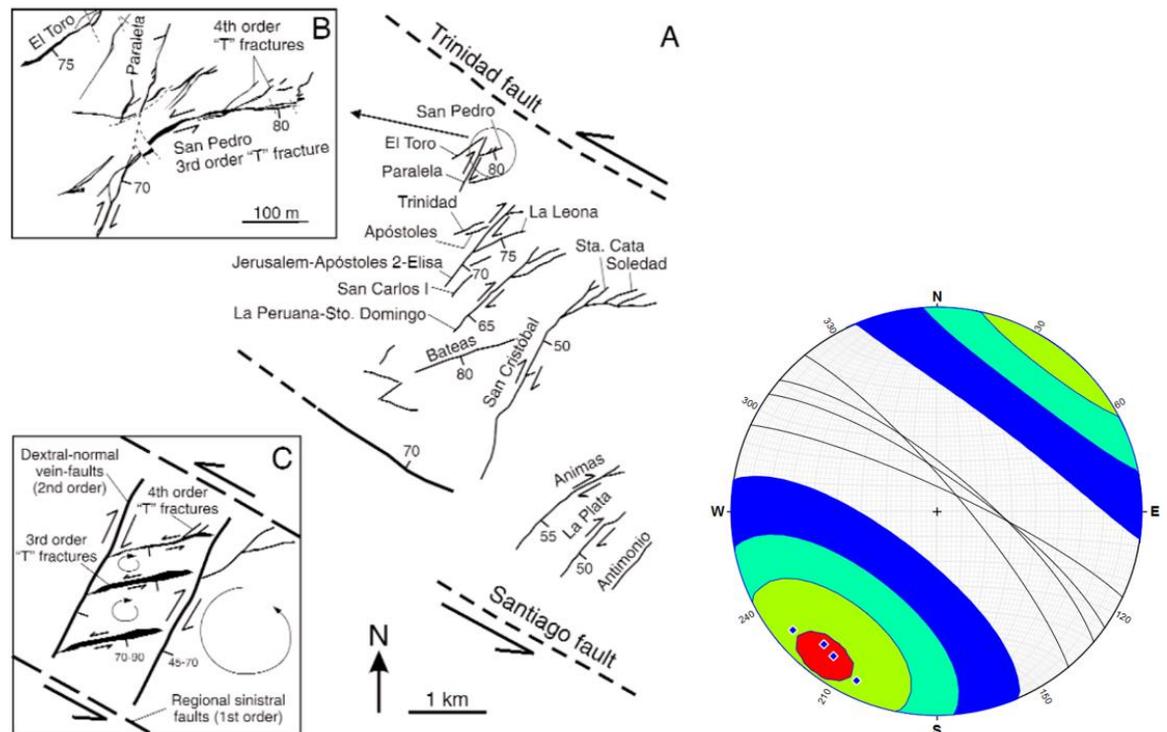
5.2.1 Orientaciones de sistemas estructurales en la mineralización

Se interpreta un conjunto de lineamientos controlado el emplazamiento de la caldera posmineral de Caylloma.

Por lo general, también tienen una mayor longitud de rumbo que las fallas de rumbo noroeste. Las vetas de Caylloma, están presentes en un corredor estructural entre dos importantes lineamientos de rumbo noroeste interpretados como fallas, las fallas de Trinidad y Santiago.

Figura 45

Modelo estructural de Caylloma



Fuente: (Echavarría, 2006)

Mapa de vetas están registradas entre dos fallas de primer orden con rumbo noroeste (Falla Trinidad y Santiago) que muestran sistema de vetas paralelas.

Localmente las estructuras en mina El Santo pertenecen al modelo Riedel, teniendo como controles primarios las vetas San Cristóbal y Animas, ubicadas al NW y SE respectivamente en el área de trabajo, las estructuras tensionales y Riedel entre estas dos vetas muestran un evidente movimiento dextral; con tres sistemas de estructuras principales:

- Sistema Estructural NE – SW.
- Sistema Estructural NW – SE.
- Sistema estructural E – W.

5.2.1.1. Sistema estructural NE – SW.

Las dos vetas principales que controlan este modelo Riedel son las vetas San Cristóbal y Animas, con direcciones de N50-55°E, ubicadas en los extremos del modelo, estas estructuras muestran un movimiento dextral. Pertenecen también a este sistema estructural las vetas El Diablo, El Ángel, El Santo, Yanina, etc. con direcciones N240 – 270°E, estas mismas presentan direcciones con tendencia E-W.

5.2.1.2. Sistema estructural NW – SE

A este sistema corresponden las vetas y fallas con dirección N45-75°W, por lo general estas estructuras formadas posterior al sistema NE-SW presentan movimientos sinistral, a estas corresponden las vetas Marisol, Carisbel, Nancy, etc.

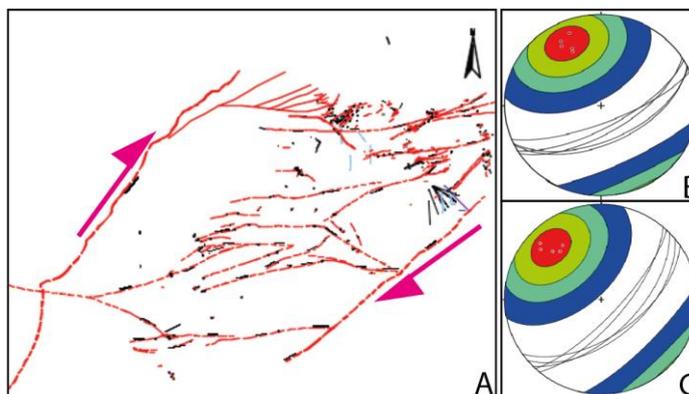
5.2.1.3. Sistema estructural E – W.

A este sistema corresponden las vetas Mayte, Barita, Alastor 2.

Figura 45.

Figura 46

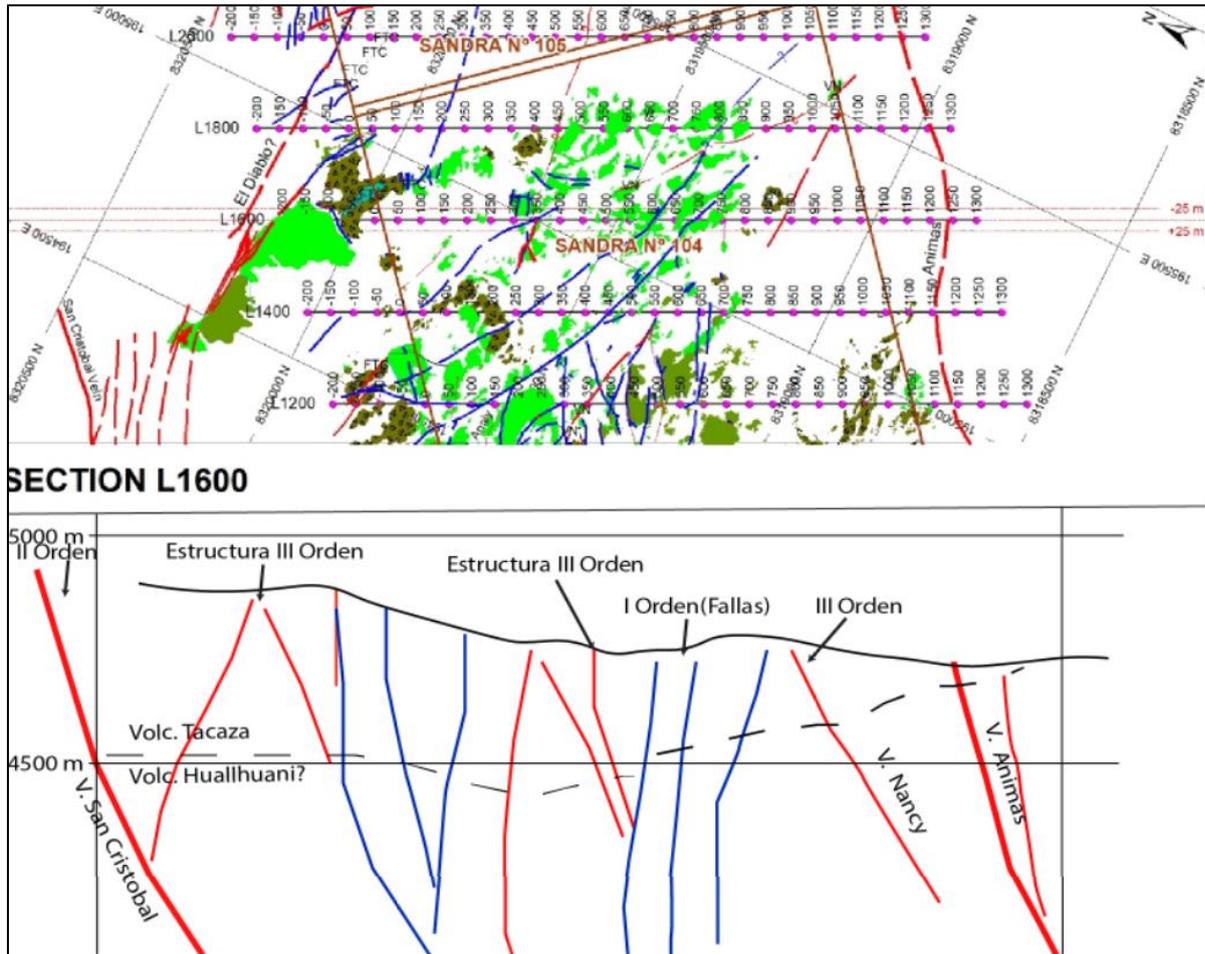
Sistema estructura de la mina El Santo.



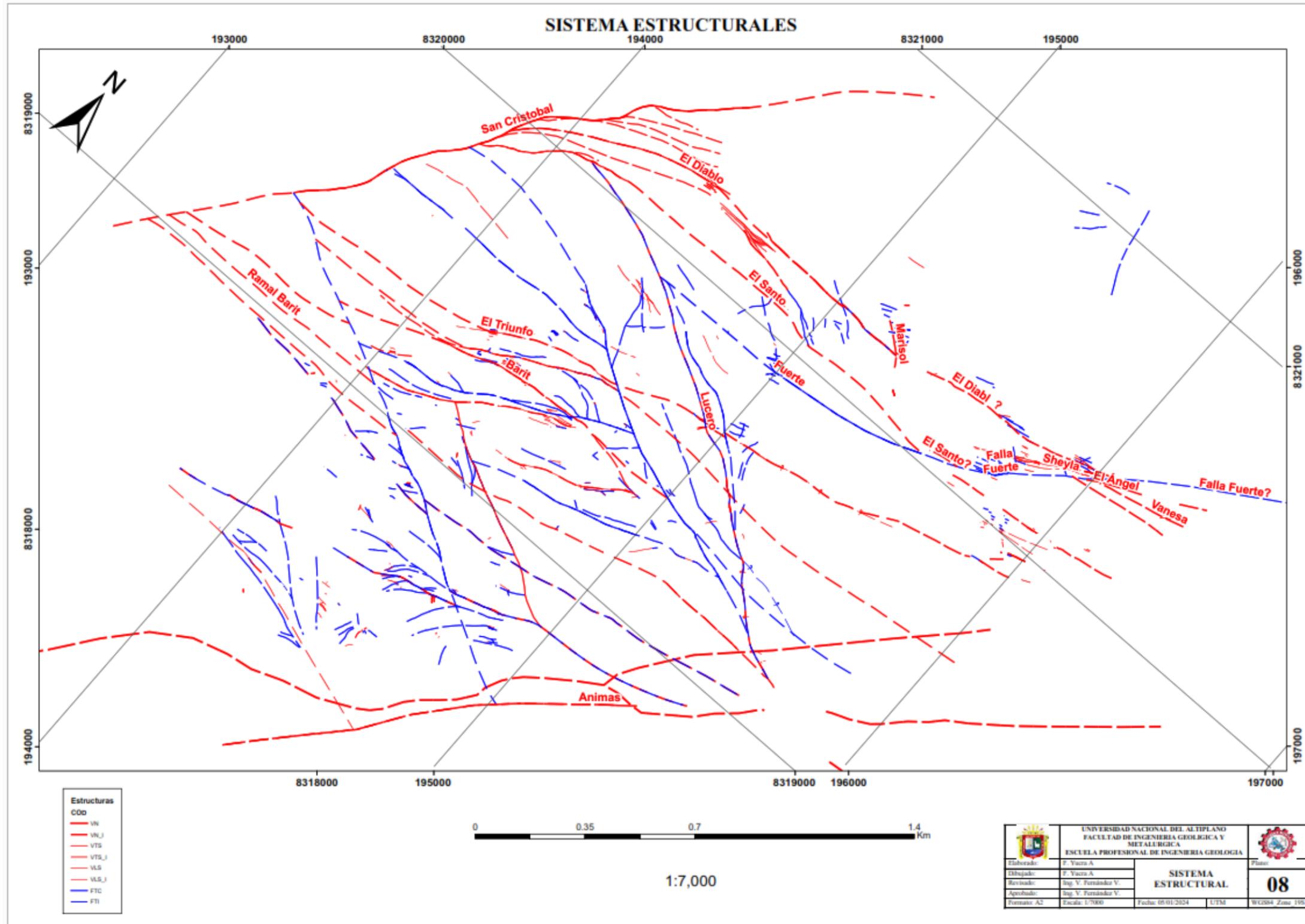
- A). estructuras de segundo orden entre el sistema San Cristóbal y Animas
- de segundo orden B) Proyección estereográfica de sistema San Cristóbal. C) Proyección estereográfica de sistema Animas.

Figura 47

Sección transversal de la mina El Santo.



Plano N°8: Plano Sistemas Estructural



5.2.2 Peleoesfuerzos tectónicos en sistemas estructurales

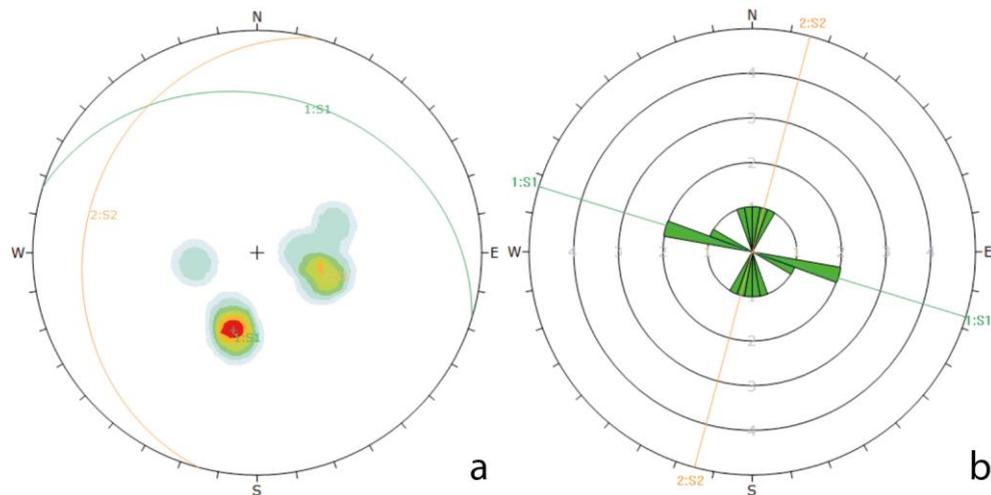
5.2.2.1 Orientaciones de la Seudoestratificación, dique, fracturas, falla definida.

a) Seudoestratificación

Seudoestratificación está determinado por la toma de datos estructurales azimut y buzamientos (Az-Bz). Se tiene dos familias S1: N287°/ 30°E y S2: N195°/24°E

Figura 48

Gráfico de contorno y roseta de seudoestratificación.



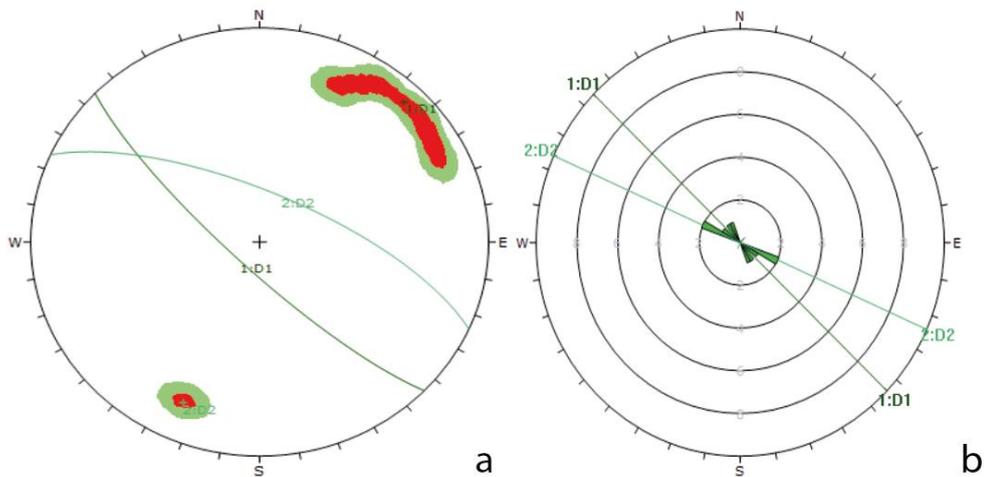
a) Grafico de contorno y planos nos muestra 2 familias S1:N287°/30°E y S2:N195°/24°E b) Grafico de roseta de las orientaciones de la seudoestratificación.

b) Dique

Sub - volcánico con coloración gris violácea de forma tabular y siguiendo la orientación del sistema de fracturas predominante. Se han identificado afloramientos dentro del nivel piroclástico. Toma de actitudes azimut y buzamientos (Az-Bz) en superficie. D1: N134°/80°E y D2:N294°/71°E.

Figura 49

Gráfico de Contorno y roseta de dique.



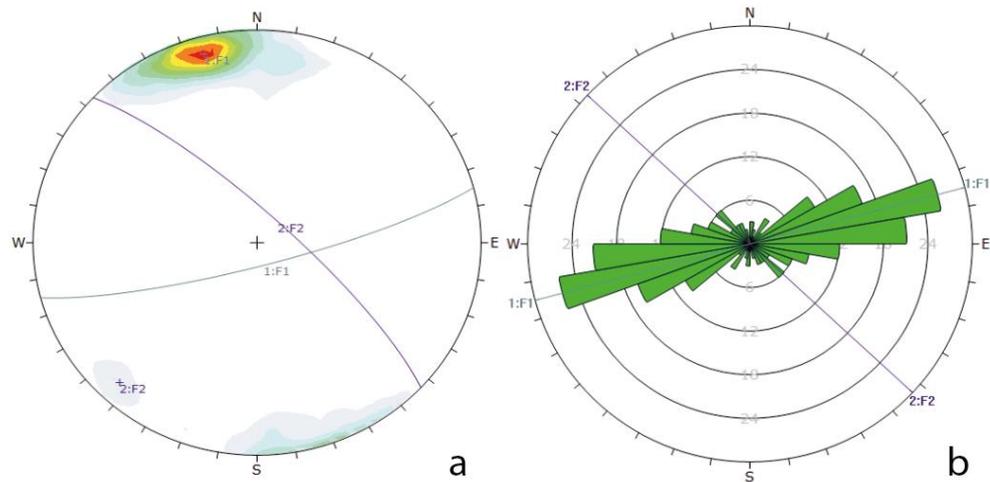
a) Grafico de contorno y planos nos muestra 2 familias D1: N134°/80°E y D2:N294°/71°E. b) Grafio de roseta de las orientaciones

c) Fractura

Sistema de fracturamiento en una zona de cizallamiento relacionado a modelo riedel, las fracturas tensionales asociadas a cizallamiento son muy importantes, debido a que son las más favorables para albergar mineralización, ocurren a diferentes escalas y pueden adoptar geometrías complejas, está determinado por la toma de datos estructurales azimuth y buzamientos (Az-Bz) en interior mina y superficie. F1: 075°/81°E y F2:N313°/79°E.

Figura 50

Gráfico de Contorno y roseta de fractura.



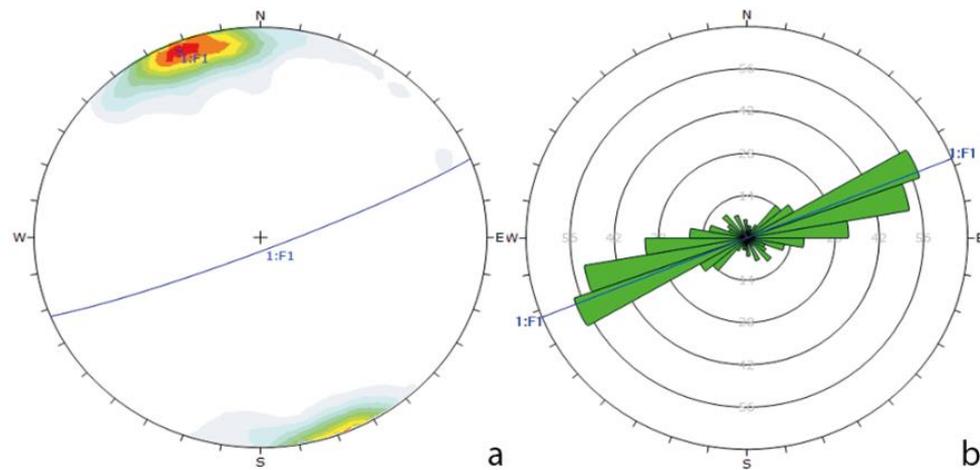
Sistema de fracturamiento tenemos dos gráficos a) Grafico de contorno y planos nos muestra 2 familias F1: $075^{\circ}/81^{\circ}E$ y F2: $N313^{\circ}/79^{\circ}E$. b) Grafico de roseta de la orientación

d) Falla definida

Las orientaciones de las fallas tienen la orientación de estructuras de 3er orden, son controlados por los sistemas San Cristóbal y Animas. Está determinado por la toma de datos estructurales azimut y buzamientos (Az-Bz) en interior mina y superficie F1: $068^{\circ}/85^{\circ}E$.

Figura 51

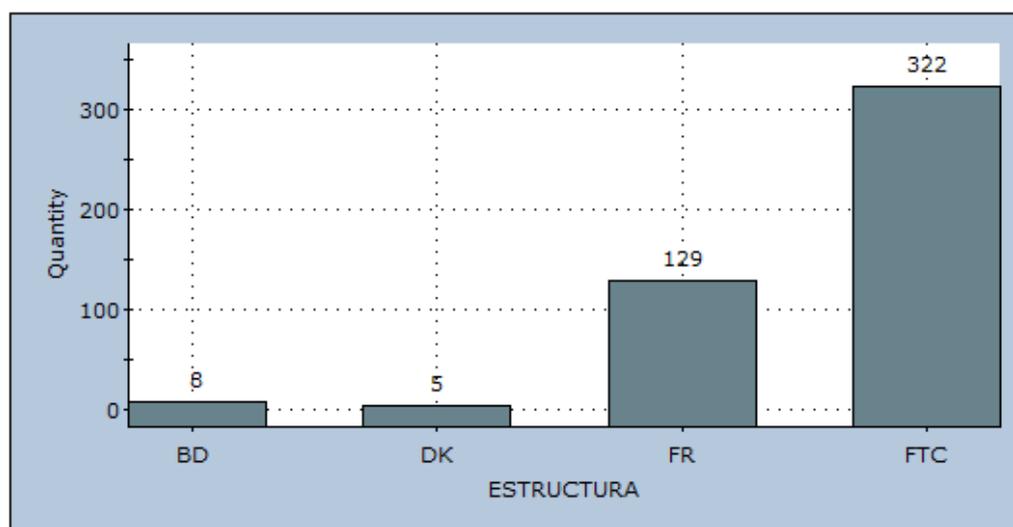
Gráfico de Contorno y roseta de falla definida.



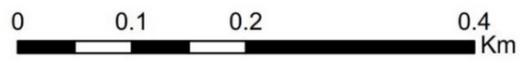
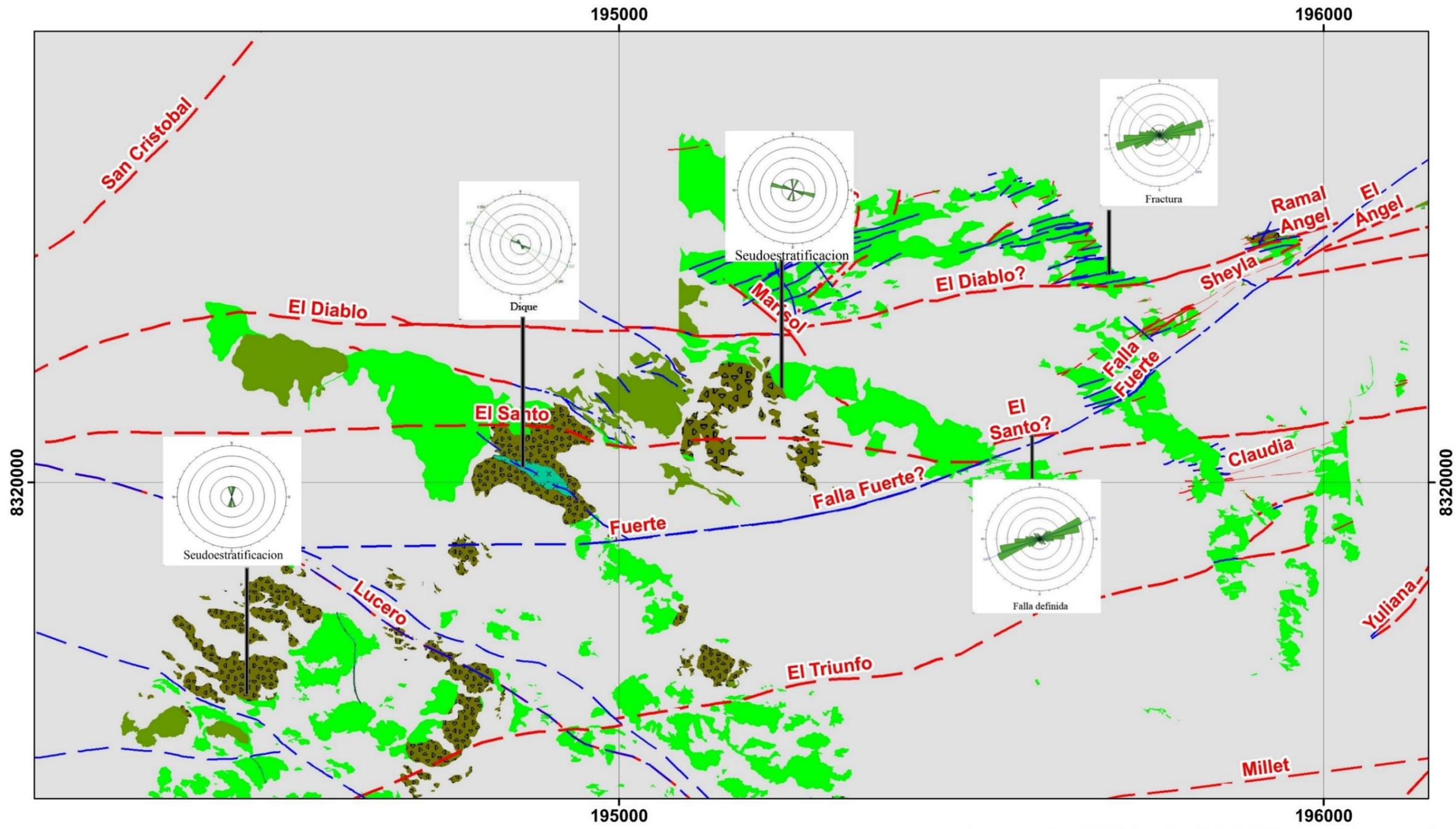
Sistema de fallas en la unidad de El Santo la orientación de la cantidad de datos a) Grafico de contorno y planos nos muestra 1 familia mayor F1: $068^{\circ}/85^{\circ}E$
b) Grafio de roseta de la orientación

Figura 52

Cuadro de cantidad de datos estructurales BD: Seudostratificación, DK: Dique, FR: Fractura y FTC: Falla definida



Anexo: Plano N° 09: Diagrama de Rosetas



1:5,000

Estructuras	Litología
COD	Cuaternario
VN	Andesitas del Barroso
VN_I	Toba Andesítica
VTS	Lava Andesítica
VTS_I	Brecha Volcánica
VLS	Dique Andesítico
VLS_I	Lutita
PTC	
PTI	

 UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y METALÚRGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLOGICA			
Elaborado:	F. Yucra A	DIAGRAMAS DE ROSETAS	Plano:
Dibujado:	F. Yucra A		09
Revisado:	Ing. V. Fernández V.	DIAGRAMAS DE ROSETAS	
Aprobado:	Ing. V. Fernández V.		
Formato: A3	Escala: 5000	Fecha: 05/01/2024	UTM WGS84_Zone_19S

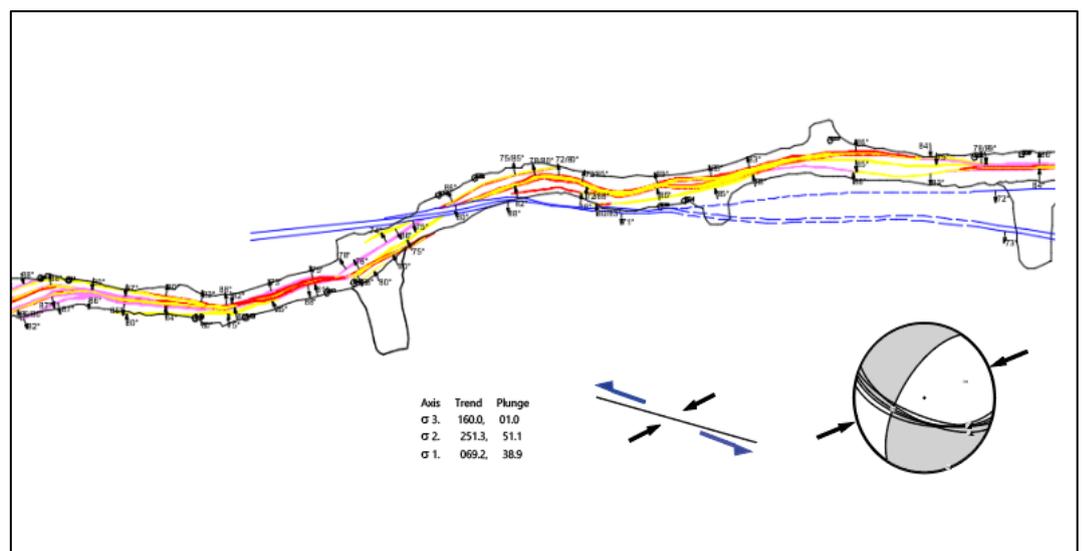
Con sigma 1 (σ_1) se determinó que tiene una dirección NW-SE con una tendencia/inmersión(trend/plunge) de $123.9^\circ/44.3^\circ$, con movimiento dextral-normal.

b) Análisis cinemático de la falla en zona El Diablo

El análisis cinemático y la interpretación de la falla longitudinal de la zona El Diablo, se tomaron varias estaciones estructurales en la falla principal más representativa por nivel. En niveles de -95,-125, -135. El plano de falla que se analizó tiene una dirección/buzamiento (strike/dip) $N107^\circ/76^\circ E$, el vector de máxima compresión, sigma 1 (σ_1) se obtiene que tiene una dirección NE-SW con una tendencia/inmersión(trend/plunge) de $069.2^\circ/38.9^\circ$ y el esfuerzo principal menor sigma 3 (σ_3) se obtiene una dirección NW-SE con una tendencia/inmersión (trend/plunge) de $160.0^\circ/01.0^\circ$

Figura 54

Análisis cinemático de la falla longitudinal de veta El Diablo.



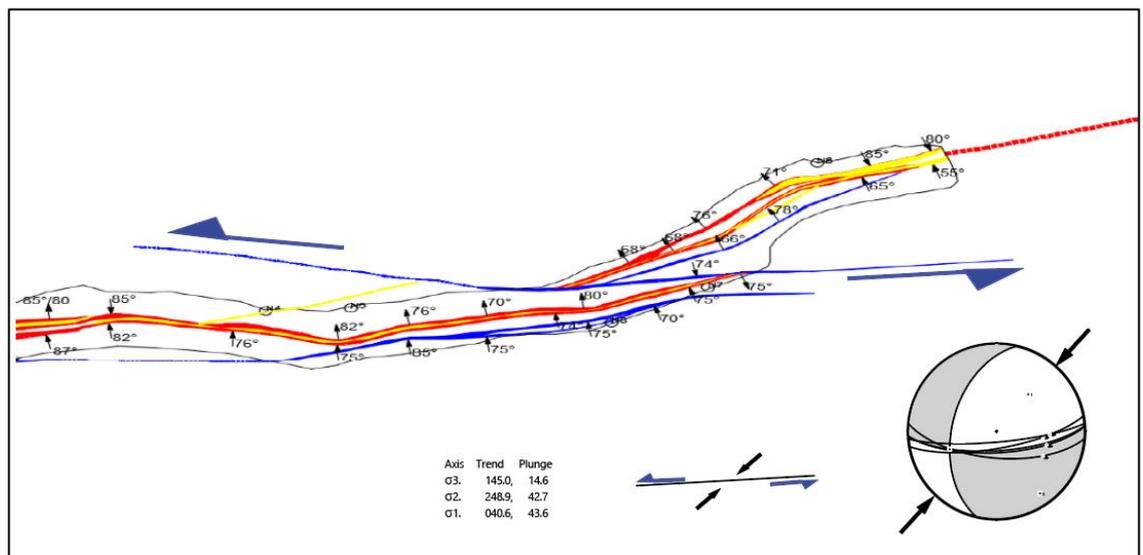
Con sigma 1 (σ_1) se determinó que tiene una dirección NE-SW con una tendencia/inmersión(trend/plunge) de $069.2^\circ/38.9^\circ$, originando una falla sinestral - normal.

c) Análisis cinemático de la falla en zona El Triunfo

El análisis cinemático de la falla longitudinal de zona El Triunfo, se toma datos estructurales en la falla más representativa en nivel. NV - 50. La dirección del plano de falla tiene una dirección/buzamiento (strike/dip) $N040^\circ/76^\circ E$, el vector de máxima compresión, sigma 1 (σ_1) tiene una dirección NE-SW con una tendencia/inmersión(trend/plunge) de $040.6^\circ/41.6^\circ$ y el esfuerzo principal menor sigma 3 (σ_3) tiene una dirección NW-SE con una tendencia/inmersión (trend/plunge) de $145.0^\circ/14.6^\circ$.

Figura 55

Análisis cinemático de la falla de la zona de triunfo.



Con sigma 1 (σ_1) con una dirección NE-SW y con una tendencia/inmersión(trend/plunge) de $040.6^\circ/43.6^\circ$, teniendo una falla de movimiento normal-sinestral.

5.2.2.3 Controles estructurales sobre la distribución del mineral en los sistemas de vetas epitermales

En mina El Santo alberga varias estructuras mineralizadas de epitermales de intermedia sulfuración, con mineralización de Au-Ag±Pb±Zn en las partes altas del sistema y mineralizaciones Ag-Pb-Zn±Cu en las partes bajas de la mina, a mayor profundidad se tiene mineralización de Pb-Zn-Cu±Ag. La mineralización de vetas está alojada en toda la columna estratigráfica (rocas volcánicas del Grupo Tacaza y rocas sedimentarias del Grupo Yura).

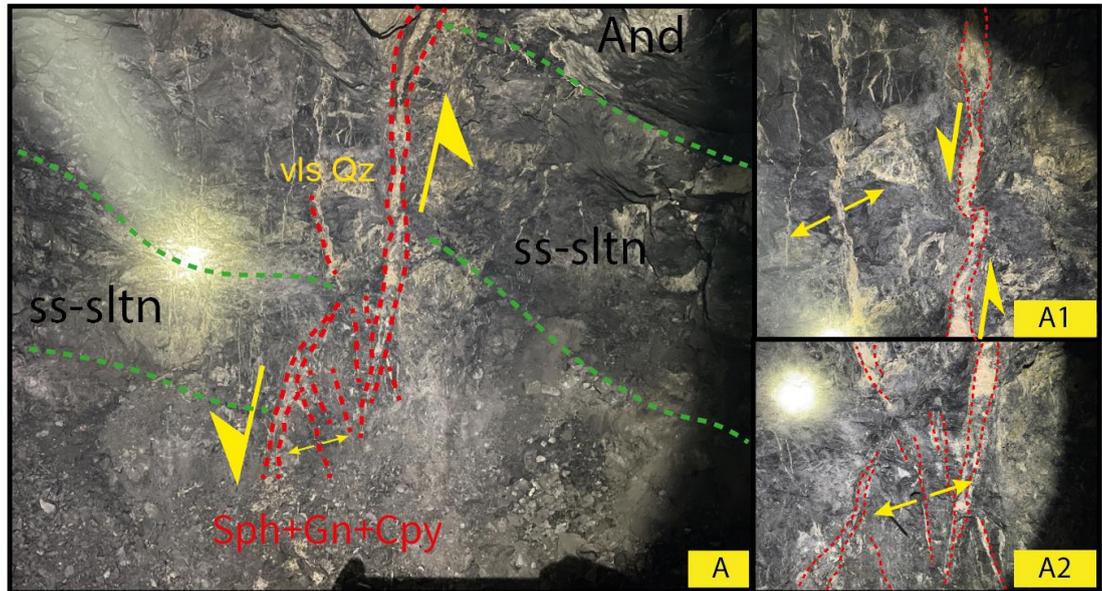
Los estilos de mineralización consisten en el llenado de espacios vacíos, donde los fluidos mineralizantes precipitaron directamente aprovechando los espacios generados por los esfuerzos cortantes pre-mineral; el intercrecimiento cristalino es secuencial desde la pared hacia el centro (Vetas Vanesa, El Ángel, El Diablo, El Santo); con potencias que van desde 0.20 m. hasta 2.50 m.

A. Veta Vanesa

Estructura vetiforme con pequeños lazos sigmoides formando zonas de dilatación (Jogs), la cinemática de la veta Vanesa, son de movimientos dextrales y caídas normales.

Figura 56

Veta Vanesa frente de la labor



A) 0.60 m. de estructura de Qz+Rdn con venillas y parche (Sph+Gn±Cpy), se tiene contacto litológico de andesitas con capas delgadas de arenisca – limolita. A1) fracturas extensionales de movimiento normal. A2) Estructura de tipo lazo sigmoide. Veta Vanesa, Mina El Santo.

Figura 57

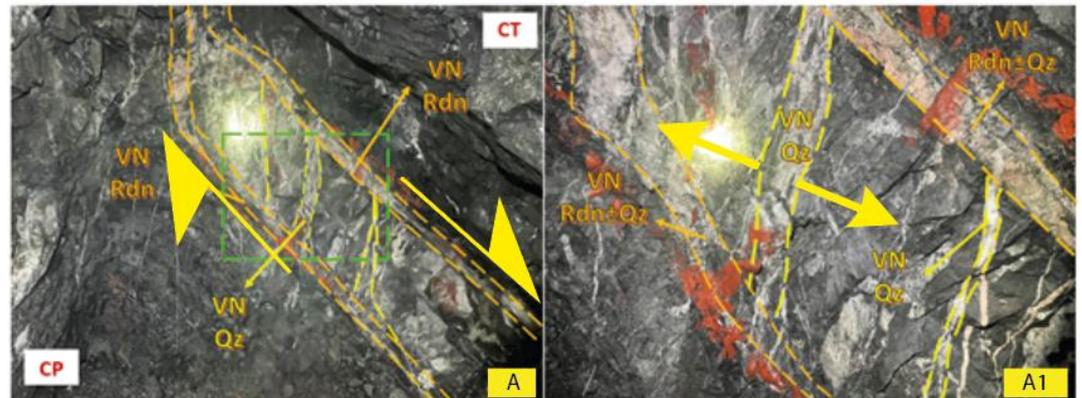
Veta Vanesa estructura Job extensional.



A) Mapeo de subnivel de veta Vanesa se observa jog extensional o lazo sigmoide de movimiento normal – dextral.

Figura 58

Veta Vanesa, Estructura en echelon con potencia de veta de 0.95 m.



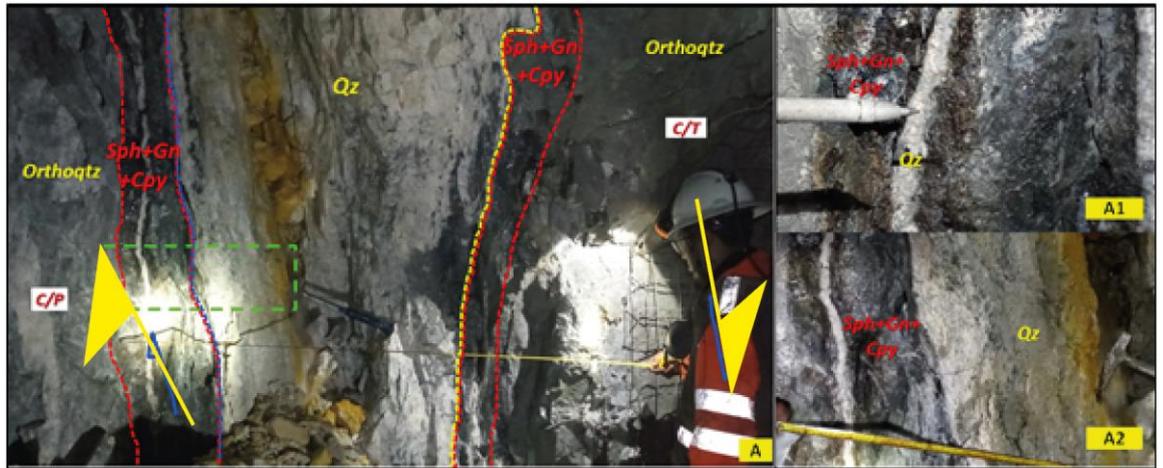
Estructura con bandas de Sph+Gn+Cpy, y cuarzo blanco con Py fina 2%, textura bandeada – coloforme, ambas cajas de arenicas grises. A1) estructuras tipo en echelon, de venillas de Qz+Rdn con traza de parches de sulfuros, Veta Vanesa, Mina El Santo

B. Veta el ángel

La veta El Ángel presenta una textura bandeada con una composición mineral de cuarzo, sulfuros con alteración propilítica. Es subparalela a la veta El Diablo y se ha trazado a lo largo de 220 m con una anchura media de 2,2 m. Tiene rumbo N240°E y buzamiento 85°. Se ha desarrollado en los niveles 0, -15 y -50.

Figura 59

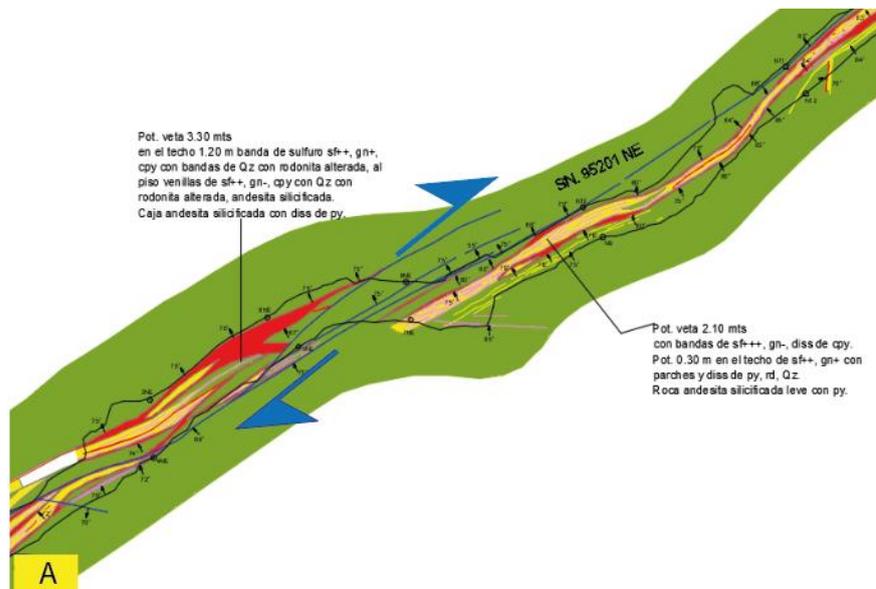
Veta El Ángel, estructura bandeada. Crustiforme



A, A1, A2) Veta, Pot: 1.20m, N240°/75°-85°, Veta, bandas de Sph+Gn+Cpy, y cuarzo blanco con Py fina 2%, textura colorme y bandeada. Ambas cajas con Areniscas cuarzosas. – Veta El Ángel, Mina El Santo.

Figura 60

Falla longitudinal, veta El Ángel.



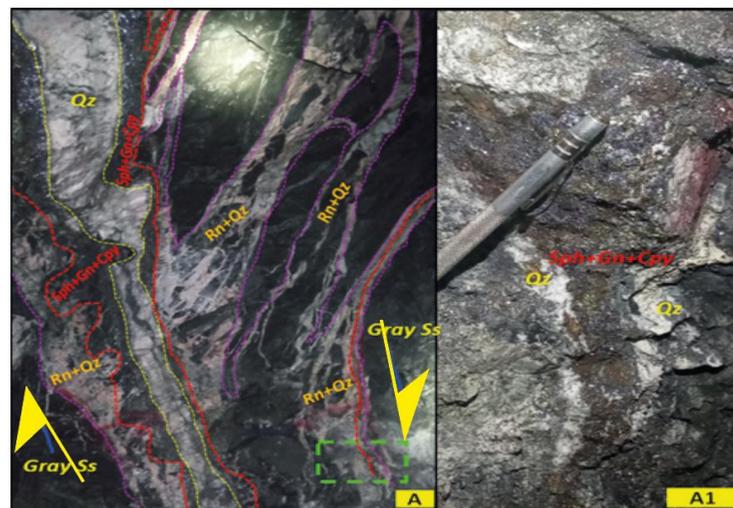
El movimiento de fallas de 4to orden tiene la cinemática normal dextral, que desplaza a la veta El Ángel.

C. Veta el diablo

La Veta El Diablo tiene un rumbo promedio de N255°E, una profundidad subvertical y un ancho de hasta 2,0 m. Presenta bandeamientos, con vetas paralelas de cuarzo, rodonita y una zona central de sulfuros de Pb, Ag y Zn. Ha sido trabajado en diferentes niveles de mina (-95, -50, -15) Su geometría define una veta de tipo rosario. Las ramificaciones están localmente presentes, formando secciones estrechas de leyes económicas. La veta puede seguirse en superficie a través de un afloramiento de 200 m, con un ancho promedio de 1,5 m, con sulfuros como galena, esfalerita y calcopirita, y ganga de rodonita, cuarzo, pirita y óxidos.

Figura 61

Veta EL Diablo, estructura vetiforme.



Potencia: 0.50 – 1.00m, N250°-255°/60°-80°E, relleno hidrotermal con textura coliforme y bandeado de Rn-Qz, Sph+Gn+Cpy. C/P y C/T, Areniscas grises oscuras N265°/25° – Veta El Diablo, Mina El Santo.

Figura 62

Estructura tipo Jog extensional.



A

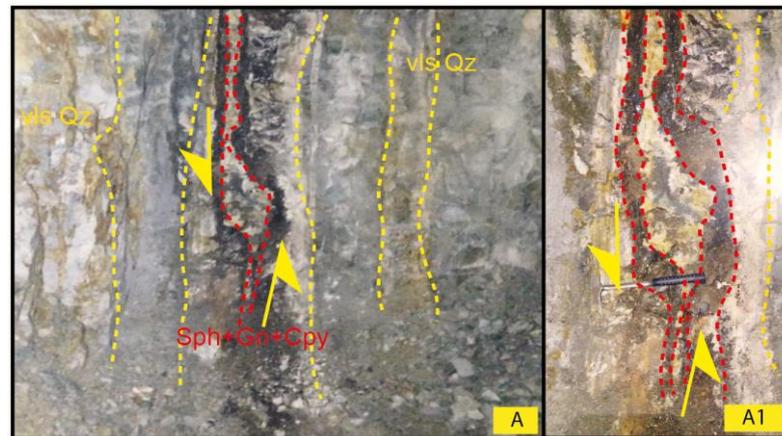
Mapeo de subnivel de veta El Diablo con azimuth N250E/78, se observa job extensional de alto buzamiento con movimiento normal – dextral.

D. Veta el santo

Estructura mineralizada con N240°-255°/75°-88°, potencia variable de 1 a 2 m y buzamiento subvertical en algunas zonas constituye la mineralogía de la veta. Las bandas de ganga (cuarzo-rodonita) están dispersas por todo el filón, lo que le confiere una textura crustiforme. Los sulfuros contienen galena, esfalerita, calcopirita, pirita y bornita. Una falla longitudinal que se encuentra al norte de la estructura controla esta veta.

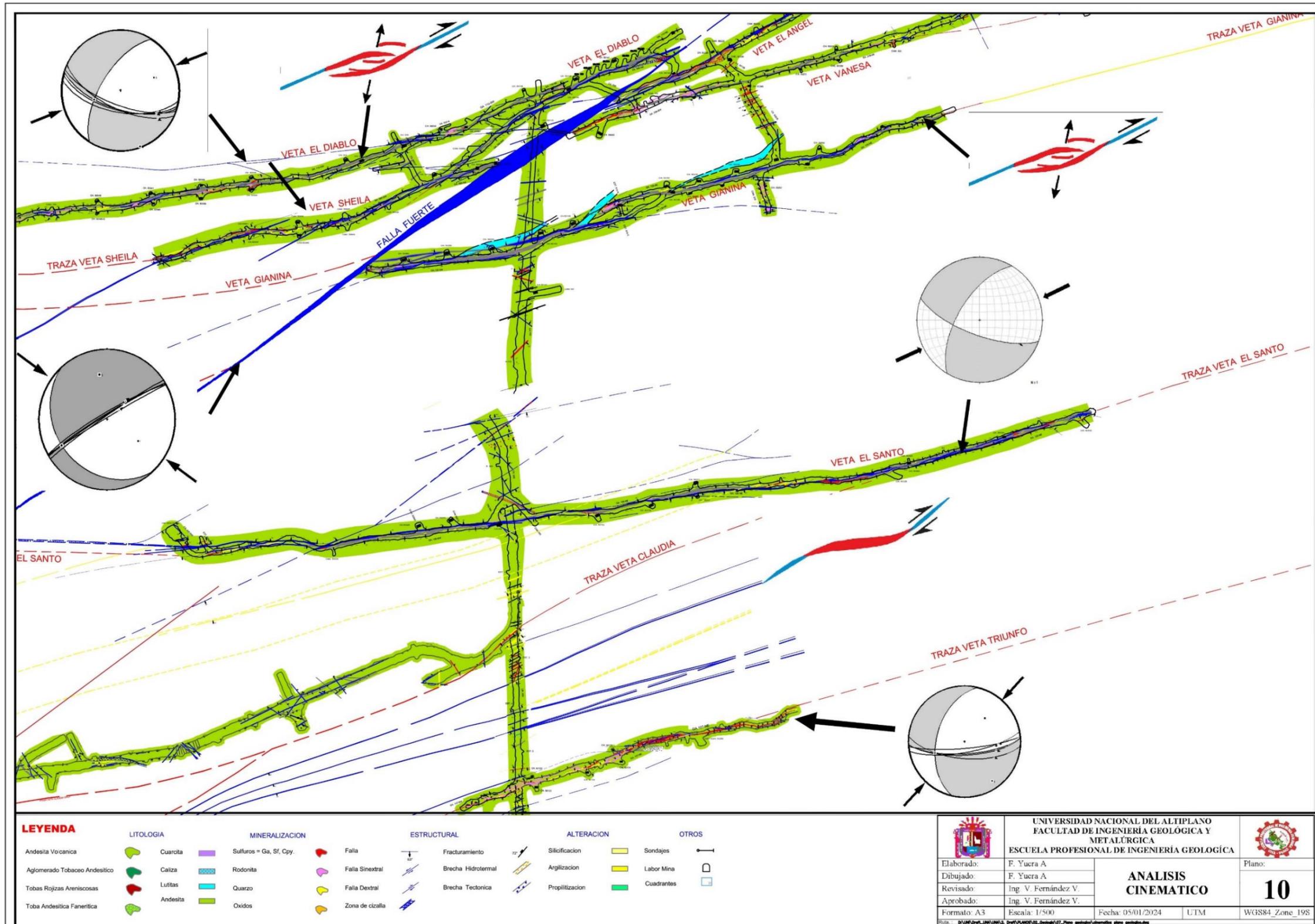
Figura 63

Veta El Santo vista hacia SW-NE.



Estructura vetiforme, Potencia: 0.45 – 1.50m, N240°-255°/75°-88°, relleno hidrotermal con textura coloforme y bandeado de Rn-Qz, Sph+Gn+Cpy. C/P y C/T, Andesitas – Veta El Diablo, Mina El Santo

Anexo: Plano N° 10: Análisis Cinemático



LEYENDA

LITOLÓGICA	MINERALIZACIÓN	ESTRUCTURAL	ALTERACION	OTROS
Andesita Volcanica	Cuarcita	Sulfuros = Ga, Sf, Cpy.	Falla	Fracturamiento
Aglomerado Tobaceo Andesítico	Caliza	Rodonita	Falla Sinistral	Brecha Hidrotermal
Tobas Rojizas Areniscosas	Lutitas	Quarzo	Falla Dextral	Brecha Tectonica
Toba Andesítica Fanerítica	Andesita	Oxidos	Zona de cizalla	Silicificación
				Argilización
				Propilitización
				Sondajes
				Labor Mina
				Cuadrantes
				Otros

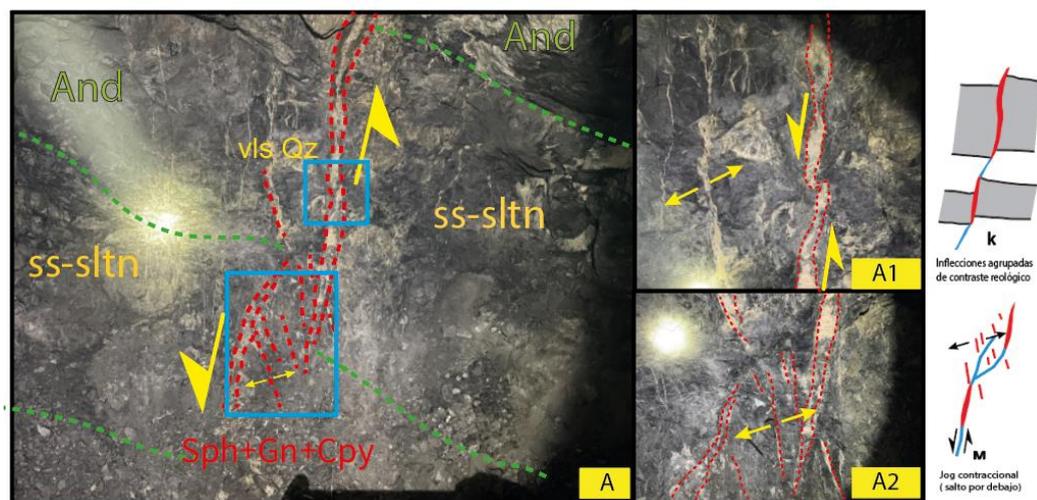
		UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y METALÚRGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA					
Elaborado:	F. Yucra A.	ANÁLISIS CINEMÁTICO		Plano:			
Dibujado:	F. Yucra A.			10			
Revisado:	Ing. V. Fernández V.						
Aprobado:	Ing. V. Fernández V.						
Formato:	A3	Escala:	1/500	Fecha:	05/01/2024	UTM	WGS84_Zone_19S

5.3 CONTROLES LITOLÓGICOS SOBRE LA DISTRIBUCIÓN DEL MINERAL EN LOS SISTEMAS DE VETAS EPITERMALES.

El control litológico en vetas de depósitos epitermales es un factor clave que influye en la formación y distribución de estos sistemas minerales. Las vetas epitermales son depósitos de minerales que se forman cerca de la superficie de la tierra, generalmente en ambientes volcánicos activos o extintos. El control litológico se refiere a cómo las características de la roca en la que se forman estas vetas afectan su génesis y distribución. Aquí hay algunos puntos importantes sobre este tema:

Figura 64

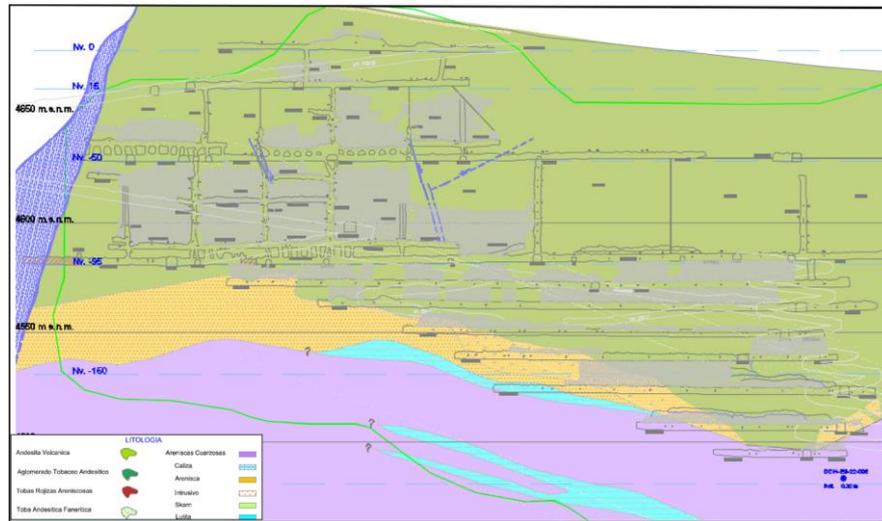
Veta Vanesa inflexiones agrupadas de contraste reológico



A) Vista de perfil (esquemática) de la geometría de dilatación de una veta de angosta formando jog contraccional, A1 y A2) Fracturas extensionales de Qz+Rdn con parches de sulfuros.

Figura 65

Sección longitudinal de la veta Vanesa con vista SW-NE.

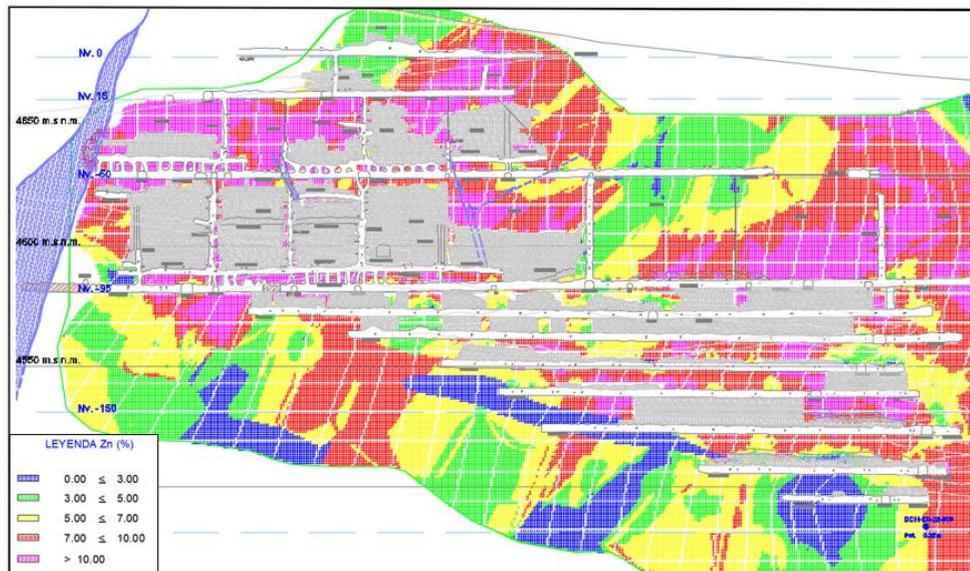


Fuente: Área Recursos Minerales -AMG.

Comportamiento de la veta Vanesa se tiene la litología, lavas andesitas, areniscas grises, areniscas cuarzosas, limolitas – lutitas, el control litológico se refiere a cómo las características de la roca en la que se forman estas vetas afectan su génesis y distribución mineralógica.

Figura 66

Sección longitudinal de Zn de la veta Vanesa con vista SW-NE



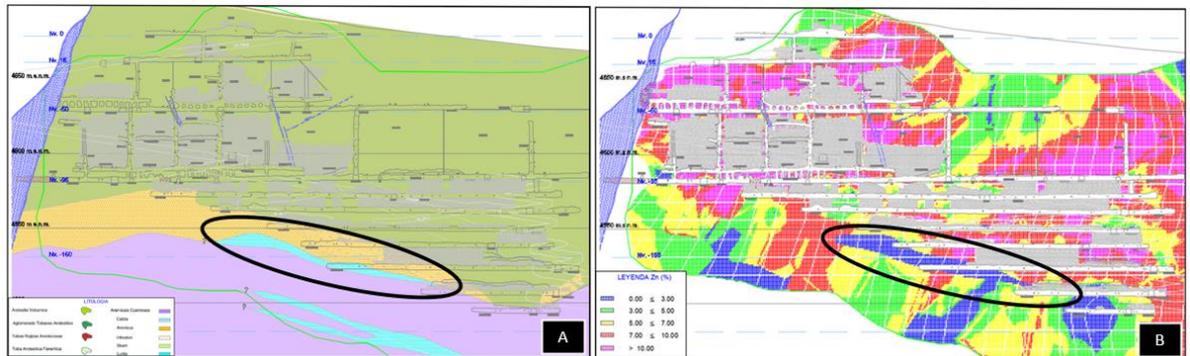
Fuente: Área Recursos Minerales – AMG

La variación en la estimación de recursos en el campo de la geología puede influir en el comportamiento estructural y la litología pueden afectar a la estimación de recursos minerales.

Asegurar que los modelos geológicos sean construidos para los fines de estimación como modelo geológico, estadística, contactos, dominios definidos así también la densidad de la roca es esenciales, La densidad aparente es la relación entre la masa de un material y el volumen que ocupa, incluyendo los espacios vacíos entre sus partículas y asegurar para cada tipo de rocas en toda la extensión del depósito mineral.

Figura 67

Sección longitudinal litológica y izovalores de Zn%



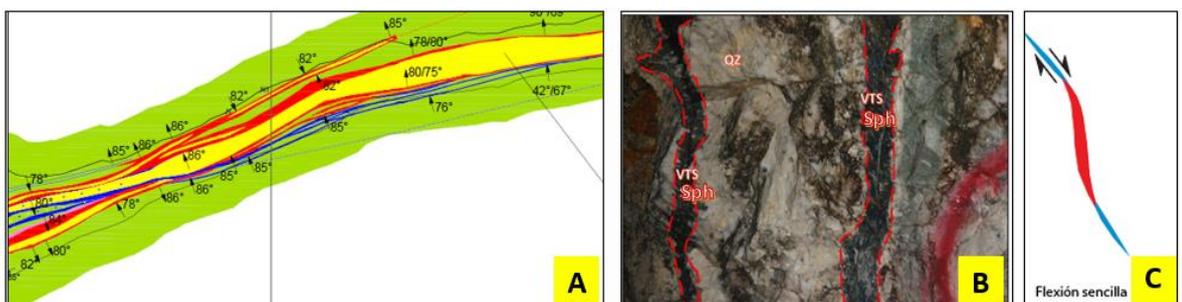
En la figura A y B) Las zonas marcadas podemos corroborar que los controles litológicos si es de mucha importancia, ya que estos se rigen a la distribución y formación de minerales, ya sea de muy buena concentración o baja concentración de minerales.

5.3.1 Rocas volcánicas - Andesitas

Las rocas volcánicas son las más idóneas para los controles de mineralización con presencia de halos de alteración propilítica débil a moderado con fracturamiento moderado, podemos encontrar zonas de apertura con potencias promedio 1.40 – 2.65 m, leyes geológicas 4.38oz/tm Ag, 0.40% Cu, 9.20% Pb, 15.70% Zn.

Figura 68

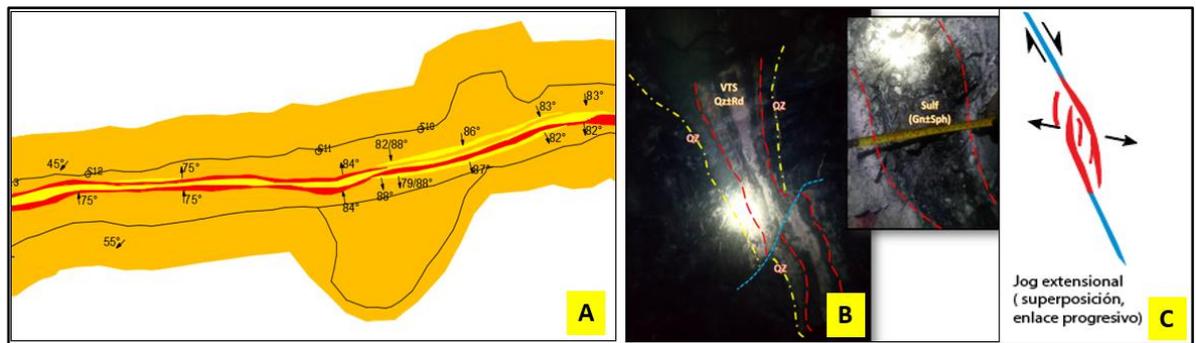
Mapeo geológico en rocas volcánicas - Andesitas



5.3.2 Areniscas

Secuencias de areniscas grises de textura clástica de grano medio con niveles de grano grueso, presentan halos de alteración propilítica débil con fracturamiento moderado se tiene estructuras regulares, con potencias promedio 0.72 – 1.20 m, leyes geológicas 4.18oz/tm Ag, 0.42% Cu, 10.12% Pb, 12.54% Zn.

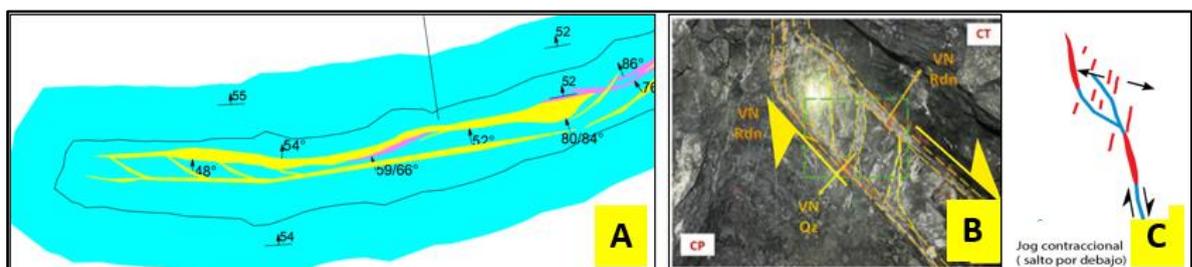
Figura 69 Mapeo geológico en areniscas



5.3.3 limolitas-lutitas

Secuencia de limolitas con capas delgadas de lutitas grises oscuras con textura clástica de grano fino a muy fino, estructuras muy irregulares de tipo echelon, job extensionales, presentan halos de alteración propilítica débil con fracturamiento moderado a fuerte, con potencias promedio 0.61 – 1.00. m, leyes geológicas 0.85oz/tm Ag, 0.26% Cu, 1.10 % Pb, 3.00 % Zn.

Figura 70 Mapeo geológico en limolitas - lutitas

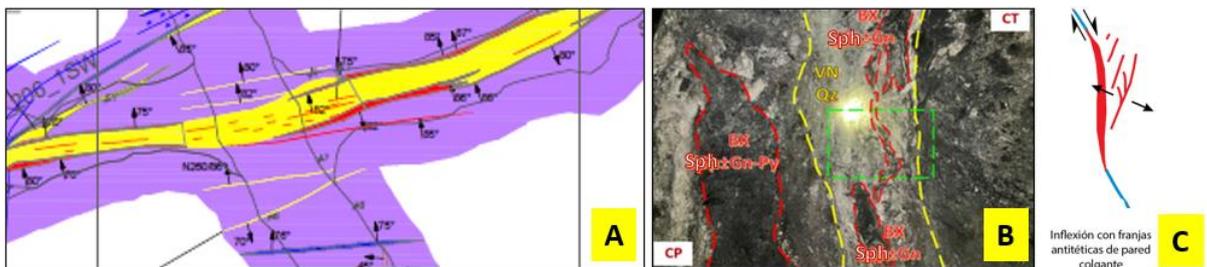


5.3.1 Areniscas Cuarzosas

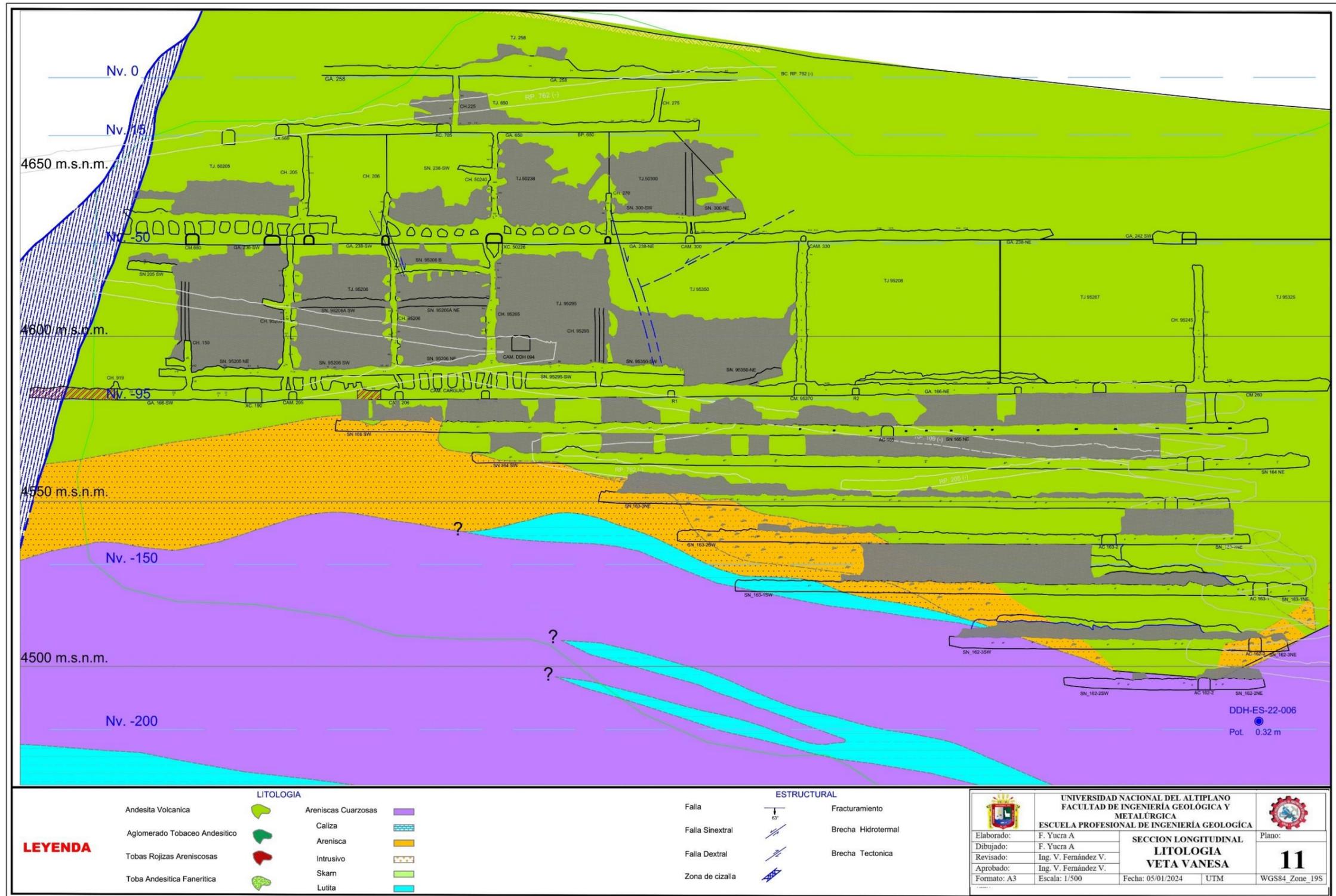
Secuencia de areniscas cuarzosas blanquecinas con textura clástica de grano medio a fino, tipo de estructuras job extensionales muy regulares, presentan halos de alteración propilítica moderado con fracturamiento moderado, con potencias promedio 1.00 – 1.80 m, leyes geológicas 4.39oz/tm Ag, 0.60% Cu, 7.43% Pb, 9.45% Zn.

Figura 71

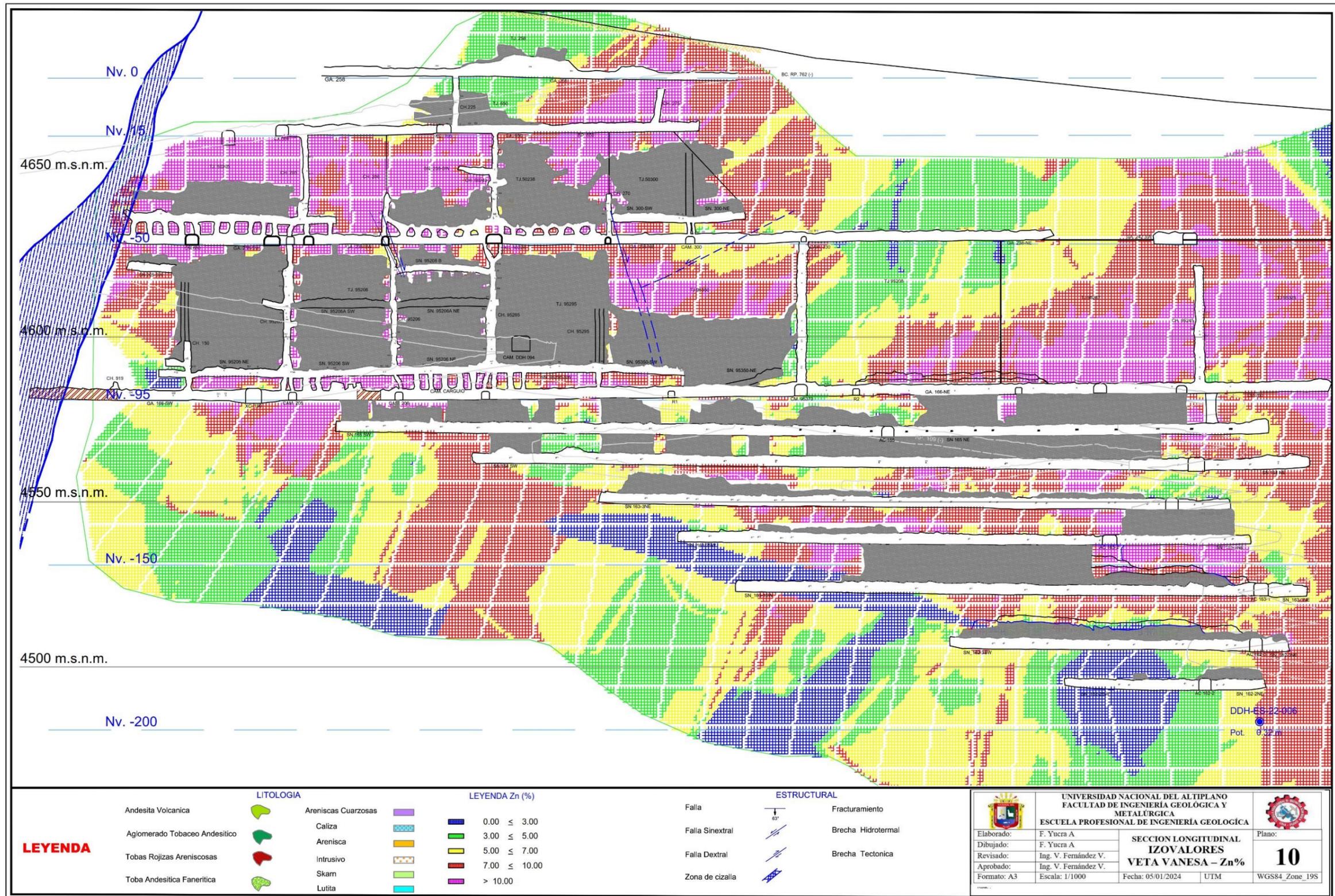
Mapeo geológico en areniscas cuarzosas



Anexo: Plano N° 11: Sección longitudinal Litología



Anexo: Plano N° 12: Sección longitudinal izovalores





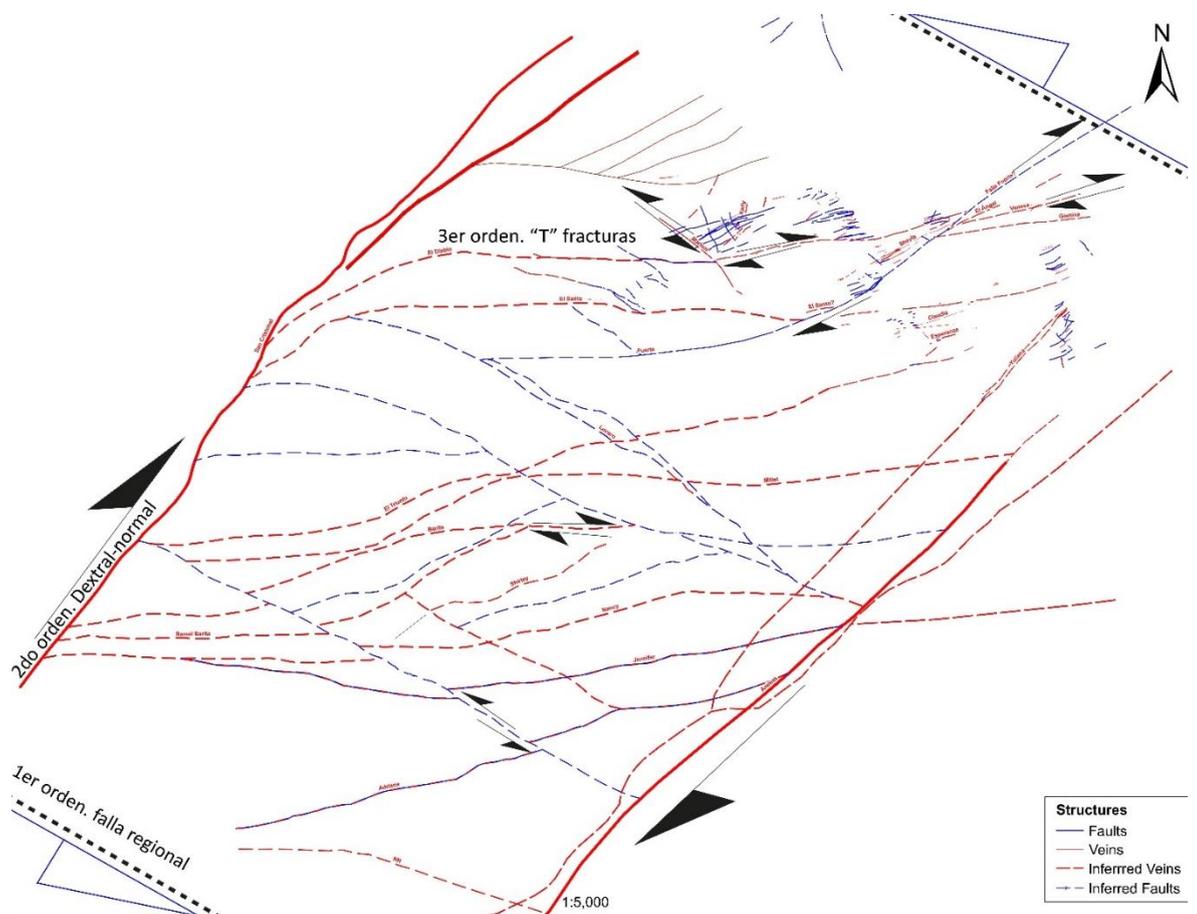
5.3.2 Modelo cinemático estructural de la mineralización

Los volcánicos del Grupo Tacaza sufrieron una deformación dúctil y luego frágil durante la fase de deformación quechua. Esta última produjo cizallamiento conjugado, fracturación y fracturas por tensión. Los fluidos mineralizantes se vieron favorecidos para circular y depositarse en estas formaciones.

Existen al menos cuatro generaciones de estructuras reconocidas en el distrito de Caylloma. El distrito está delimitado por un conjunto de fallas regionales de primer orden (Figura 71) orientadas NW-SE y con un movimiento sinistral. La estructura situada al norte se denomina Falla de Trinidad y la situada al sur, Falla de Santiago. La Falla Trinidad pasa justo al norte de la Propiedad El Santo. Un conjunto de estructuras de segundo orden se desarrolló en una tendencia NNE-SSW y estructuras tensionales de tercer orden se desarrollaron dentro de este marco estructural con una orientación ENE-WSW. Las estructuras de cuarto orden se desarrollaron como extensiones de las estructuras de tercer orden con orientación NE-SW.

Figura 72

Modelo estructural de Mina el Santo



Controlado por dos sistemas de vetas Animas y San Cristóbal de 2do orden, con vetas paralelas de 3er orden (Veta El Ángel, El Santo, Vanesa, El Diablo)

Las vetas más anchas son las zonas con mayor profundidad, que son más ricos en metales, así como es su contenido y en su potencia. Las flechas muestran la dirección de desplazamiento o movimiento.



VI. CONCLUSIONES

- Las rocas volcánicas del Grupo Tacaza, que subyacen a las rocas sedimentarias del Grupo Yura, son las rocas más idóneas para los controles de mineralización, se constató que la alteración hidrotermal produce un pequeño halo alrededor de las vetas, se identificó las zonas de apertura lo cual es favorable para la mineralización, así mismo se tiene cierre estructural en la secuencia de limolitas-lutitas.
- Controles estructurales sobre sistema de vetas epitermales de distrito de Caylloma se formaron en fallas normales dextrales de rumbo noroeste y estructuras asociadas a 2do Orden (sistema San Cristóbal y Animas) con dirección NE-SW con Az/Bz $N050^{\circ}-055^{\circ}/65^{\circ}-85^{\circ}E$ y sistema de vetas de mina El Santo son de 3er orden la mayoría NE-SW de movimiento dextral-normal con Az/Bz $N260^{\circ}-240^{\circ}/70^{\circ}-85^{\circ}E$. Se determina análisis cinemáticos de las fallas, controles transversales y horizontales de sistema de vetas con una cinemática de normal - dextral (veta Vanesa, El Angel, EL Santo, El Diablo), como estructuras de tipo En Echelon y lazo sigmoide de relleno de sulfuros.
- Los controles litológicos como las inflexiones agrupadas de contraste reológico, presentan mineralización encontramos zonas con mayores anomalías metálicas con Pb-Zn-Ag mediante muestreo y modelización geológica de la creación de isovalores verticales a lo largo de las vetas. Esto sirve de guía para evaluar el plunge de la mineralización.



VII. RECOMENDACIONES

Para conocer mejor la evolución de las vetas, se tiene que realizar estudios de petromineografía, secciones delgadas orientadas e inclusiones fluidas para cada estructura y en sus diferentes niveles

Se recomienda realizar perforaciones diamantinas hacia el grupo yura considerando el plunge de la mineralización y la cinemática de las fallas, así poder confirmar la continuidad de la mineralización.

Realizar un estudio de propiedades físicas de las rocas (sistema poroso y densidad, transporte de fluidos: permeabilidad y capilaridad)



VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, J., & Huanacuni, D. (2018). *ESTUDIO DE LOS VOLCÁNICOS CENOZOICOS DEL SUR DEL PERU Y SU RELACIÓN CON LA METALOGENIA*. lima: INGEMMET.
- Bendezú, R., & Fontboté, L. (2002). Late timing for high sulfidation Cordilleran base metal lode and replacement deposits in porphyry-related districts: the case of Colquijirca. *Central Peru SGA News 13*, 9-13.
- Camprubí, A., & Albinson, T. (2006). Depósitos epitermales en México: actualización de su conocimiento y reclasificación empírica. *BOLETÍN DE LA SOCIEDAD GEOLÓGICA MEXICANA*.
- Camprubí, A., & Albinson, T. (2006). Depósitos epitermales en México: actualización de su conocimiento y reclasificación empírica. *Boletín Sociedad Geológica Mexicana*, 58(1), 27-81.
- Davila, D. (1988). *Geología del cuadrangulo de caylloma - Boletín N°40*. lima: Instituto Geologico Minero y Metalurgico.
- Davis, G., & Reynolds, S. (1996). *Structural geolgy of rocks and regions*.
- Echavarría, L., Nelson, E., & Humphrey, J. (2006). *Evolución Geológica del Distrito de Vetas Epitermales de Caylloma, Sur del Perú*. Colorado: Society of economic Geologists.
- Einaudi, M. T. (2003). *Sulfidation state of fluids in active and extinct hydrothermal systems: transitions from porphyry to epithermal environments* (Vol. 10). (S. o. Geologists, Ed.)
- Einaudi, M. T., Hedenquist, J., & Enan, I. (2003). *Estado de sulfuración de fluidos en sistemas hidrotermales activos y extintos: transiciones de ambientes porfídicos a epitermales* (Vol. 10). Sociedad de Geólogos Económicos.
- Frimmel, H. (2008). *Earth's continental crustal gold endowment. Earth Planet.*
- Garcés, H. (1984). *Geología Económica de los Yacimientos Minerales*.



- Gemmell, & Simmons, Z. (1988). The Santo Niño silver-lead-zinc vein, Fresnillo District, Zacatecas, Mexico. *Structure, vein stratigraphy, and mineralogy.*, 1597–1618.
- Hedenquist, Arribas, & Urien-Gonzalez. (2000). Exploration for epithermal gold deposits. In: Hagemann. *Gold in 2000. Society of Economic Geologists*, 247-277.
- Hedenquist, J., Arribas, A. J., & Gonzalez, E. (2000). *Exploration for epithermal gold deposits*. (13 ed.).
- Hedenquist; Sillitoe. (2003). Linkages between volcanotectonic settings, ore fluid compositions, and epithermal precious metal deposits. *Society of Economic Geologists*,, 315-343.
- Hobbs, B. E. (1981). *Geología estructural*. (Barcelona, Ed.) Omega.
- John, D. (1999). Magmatic influence on characteristics of Miocene low-sulfidation Au-Ag deposits in the northern Great Basin. *Geological Society of America*, 24-28.
- Le Wang, K.-Z. Q.-X.-M. (2019). A review of intermediate sulfidation epithermal deposits and subclassification. *Ore Geology Reviews*, 434–456.
- Lindgren, W. (1931). *Mineral Deposits*". New York – USA.
- Lindgren, W. (1933). *Mineral Deposits*. McGraw-Hill. New York.
- Riedel, W. (1929). *Sobre la mecánica de los fenómenos de fractura geológica*. Sturgart: entralblatt fuer Mineralogie, Geologie und Palaeontologie.
- Rowland, J. V., & Rhys, D. A. (2020). *Geología Estructural Aplicada De Los Sistemas Hidrotermales Formadores De Mineral*. Society of Economic Geologist.
- Sawkins, F. (1972). Sulfide ore deposits in relation to plate tectonics. *Geol.* 80, 377-396.
- Sillitoe, R., & Hedenquist, J. (2003). Vínculos entre configuraciones volcanotécnicas y tónicas, composiciones de fluidos minerales y depósitos epitermales de metales preciosos. *Sociedad de Geólogos Económicos*(10), 315-343.
- Sillitoe, R. H. (1993). *Modelos epitermales: tipos genéticos, geométricos controles y características superficiales*, (Documento especial ed., Vol. 40).



- Simmons, S., White, N., & John, D. (2005). Geological characteristics of epithermal Precious and Base Metal Deposits. *Economic Geology*, 100 th,, 485-502.
- Singer, D. (1995). *World class base and precious metal deposits – a quantitative analysis*.
- Sucapuca, G. C. (2019). Caracterización Petromineralógica de Tres Yacimientos Epitermales del Sur Peruano. *INGEMMET, Boletín Serie B: Geología Económica N° 58*, 9.
- White, N., & Hedenquist, J. (1990). Epithermal environments and styles of mineralization: variations and their causes, and guidelines for exploration. *Journal of Geochemical Exploration*, 36, 445-474.
- Woodcock, N., & Fischer, M. (1986). *Strike-slip duplexes: J. Structural Geology* (Vol. 25).



ANEXOS

ÁNEXO 01: PLANO GEOLOGICO REGIONAL

ÁNEXO 02: PLANO UBICACION Y ACCESIBILIDAD

ÁNEXO 03: MAPA GEOMORFOLOGICO

ÁNEXO 04: PLANO GEOLOGICO LOCAL

ÁNEXO 05: PLANO ESTRUCTURAL LOCAL

ÁNEXO 06: PLANO GEOLOGICO SUBTERRRANEO NV-50

ÁNEXO 07: PLANO MUESTREO SUBTERRRANEO NV-50

ÁNEXO 08: PLANO SISTEMA ESTRUCTURALES

ÁNEXO 09: PLANO DIAGRAMA DE ROSETAS

ÁNEXO 10: PLANO ANALISIS CINEMATICO

ÁNEXO 11: PLANO SECCIÓN LONGITUDINAL LITOLOGÍA

ÁNEXO 12: PLANO SECCIÓN LONGITUDINAL IZOVALORES



Declaración jurada de autenticidad



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Fredy Yucra Aroni
, identificado con DNI 73954372 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:

" Control Geológico y Estructural de la mineralización de Tipo
Sulfuración Intermédia - Mina El Santo, Caylloma.

" 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 19 de noviembre del 2024


FIRMA (obligatoria)



Huella



Autorización de publicación de tesis



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



VRI
Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

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

Por el presente documento, Yo Frady Yuca Ivoni
, identificado con DNI 73854372 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:
" Control Geológico y Estructural de la Mineralización de Tipo Sulfuración Intamedia - mina el Santo, Caylloma."

" 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.

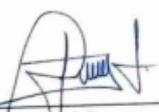
Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, 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 19 de Noviembre del 2024



FIRMA (obligatoria)



Huella