



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y**

**METALÚRGICA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**



**DETERMINACIÓN DE ALTERACIONES**

**HIDROTERMALES CON ESPECTRÓMETRO TERRASPEC**

**HALO DEL PROYECTO COLA CALLE NORUEGA BAJO –**

**CHAUPIMARCA – CERRO DE PASCO.**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. YANETH RUBEANIZA CUTIPA PACHACUTE**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO GEÓLOGO**

**PUNO – PERÚ**

**2023**



NOMBRE DEL TRABAJO

**DETERMINACIÓN DE ALTERACIONES HI  
DROTÉRMICAS CON ESPECTRÓMETRO  
TERRASPEC HALO DEL PROYECTO COL  
A CALLE**

AUTOR

**YANETH RUBEANIZA CUTIPA PACHACU  
TE**

RECuento DE PALABRAS

**22383 Words**

RECuento DE CARACTERES

**130638 Characters**

RECuento DE PAGINAS

**138 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**11.2MB**

FECHA DE ENTREGA

**Sep 11, 2023 2:58 PM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Sep 11, 2023 3:00 PM GMT-5**

● **16% de similitud general**

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

- 16% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 4% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Cross

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Bloques de texto excluidos manualmente

  
**ROGGER GONZALEZ ARIAGA**  
11/09/2023





## DEDICATORIA

*Le dedico el resultado de este trabajo a toda mi familia. Principalmente, a mi madre Agustina, que me apoyo y contuvo los momentos malos y buenos. Gracias por enseñarme a afrontar las dificultades, a ser la persona que soy hoy, mis principios, mis valores, mi perseverancia y mi empeño. Todo esto con una enorme dosis de amor y sin pedir nada a cambio.*

**Rubeaniza Cutipa**



## AGRADECIMIENTOS

*Quiero expresar mi gratitud a Dios, quien con su bendición llena siempre mi vida y a toda mi familia por estar siempre presentes.*

*Mi profundo agradecimiento a la empresa U.M Cerro SAC compañía Minera Volcan (Área Geología Exploraciones), por el entrenamiento, capacitación y la manipulación del equipo moderno Terraspec Halo.*

*Agradezco al equipo de Geología Exploraciones Cerro SAC, por intercambiar conocimientos e información de mapeos geológicos, muestreo en canales, logueo de detritos de perforación RC y DDH, adecuación de base de datos en DH Logger y Fusion, inserción de control de calidad QAQC y análisis de muestras con equipo espectrómetro Terraspec Halo.*

*De igual manera mis agradecimientos a la Universidad Nacional del Altiplano Puno. A toda la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica, a mis docentes quienes con la enseñanza de sus valiosos conocimientos hicieron que pueda crecer día a día como profesional, gracias a cada uno de ustedes por su paciencia, dedicación, apoyo incondicional y amistad.*

*También quiero agradecer de forma específica a mi asesor M. Sc. Roger Gonzales Aliaga, por su valioso tiempo en la orientación brindada para la realización de este trabajo.*

**Rubeaniza Cutipa**



# ÍNDICE GENERAL

	Pág.
<b>DEDICATORIA</b>	
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	
<b>ÍNDICE GENERAL</b>	
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	
<b>ÍNDICE DE ACRÓNIMOS</b>	
<b>RESUMEN .....</b>	<b>18</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>19</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>INTRODUCCIÓN</b>	
<b>1.1 ANTECEDENTES .....</b>	<b>20</b>
<b>1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>22</b>
1.2.1 Identificación del problema .....	22
1.2.2 Valoración del problema.....	22
1.2.3 Formulación del problema .....	23
<b>1.3 JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>23</b>
<b>1.4 HIPÓTESIS DEL TRABAJO.....</b>	<b>23</b>
1.4.1 Hipótesis Específica 1 .....	24
1.4.2 Hipótesis Específica 2.....	24
<b>1.5 OBJETIVO GENERAL .....</b>	<b>24</b>
1.5.1 Objetivos específicos .....	24

## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA



<b>2.1</b>	<b>ALTERACIONES HIDROTERMALES.....</b>	<b>25</b>
2.1.1	Fase hidrotermal .....	25
2.1.2	Transporte y precipitación de elementos químicos.....	26
2.1.3	Ambiente de formación de minerales .....	27
<b>2.2</b>	<b>DISPERSIÓN DE HALOS PRIMARIOS .....</b>	<b>28</b>
2.2.1	Tipos de Halos Primarios.....	28
2.2.1.1	Halos primarios sin genéticos.....	29
2.2.1.2	Halos primarios epigenéticos .....	29
<b>2.3</b>	<b>DESCRIPCIÓN DE ROCAS ALTERADAS .....</b>	<b>29</b>
2.3.1	Protolito .....	29
2.3.2	Ensamble mineral .....	29
<b>2.4</b>	<b>TIPOS DE ALTERACIÓN HIDROTERMAL HIPÓGENA .....</b>	<b>30</b>
2.4.1	Sericitización .....	30
2.4.2	Argílica .....	30
2.4.2.1	Argílica intermedia.....	31
2.4.2.2	Argílica avanzada .....	31
2.4.3	Caolinización .....	31
2.4.4	Cloritización.....	31
2.4.5	Zeolitización .....	32
2.4.6	Alunitización.....	32
2.4.7	Dolomitización.....	32
2.4.8	Hematización .....	32
<b>2.5</b>	<b>TERRASPEC HALO.....</b>	<b>33</b>
2.5.1	Principios de espectroscopia infrarrojo.....	33
2.5.2	Librería mineral espectral .....	35



2.5.2.1	Algoritmo de combinación mineral.....	36
2.5.2.2	Sincronización .....	36
2.5.3	Halo Manager .....	37
<b>2.6</b>	<b>MINERALES QUE IDENTIFICA EL TERRASPEC HALO .....</b>	<b>38</b>
2.6.1	Grupo de Alunita .....	38
2.6.2	Pirofilita .....	38
2.6.3	Grupo de Caolín.....	38
2.6.4	Grupo de Illita.....	39
2.6.5	Grupo de Micas.....	39
2.6.6	Grupo de Montmorillonita .....	40
2.6.7	Grupo de Óxidos y Jarosita.....	40
2.6.8	Grupo de Zeolitas.....	40
2.6.9	Grupo de Carbonatos .....	41
2.6.10	Minerales verdes .....	42
<b>2.7</b>	<b>INSERCIÓN DE CONTROL DE CALIDAD.....</b>	<b>42</b>
2.7.1	Precisión.....	42
2.7.2	Contaminación .....	42
2.7.3	Exactitud .....	43

### **CAPÍTULO III**

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

<b>3.1</b>	<b>METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>44</b>
3.1.1	Trabajo preliminar .....	44
3.1.2	Trabajo de campo.....	44
3.1.2.1	Cartografiado superficial.....	44
3.1.2.2	Análisis de muestras superficiales y sondajes diamantinos .....	45



3.1.2.3	Relogeo geológico de sondajes diamantinos.....	46
3.1.2.4	Remuestreo de sondajes .....	47
3.1.2.5	Muestreo superficial .....	48
3.1.3	Trabajo de laboratorio.....	49
3.1.4	Trabajo de gabinete.....	49
3.1.4.1	Verificación de las hojas de logueo.....	50
3.1.4.2	Estructuras para la elaboración de Shapefiles .....	51
3.1.4.3	Digitalización .....	52
3.1.4.4	Registro de Terraspec Halo .....	56
<b>3.2</b>	<b>TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE DATOS .....</b>	<b>57</b>
3.2.1	Tres estrellas .....	58
3.2.2	Dos estrellas .....	58
3.2.3	Una estrella .....	59
3.2.4	Instrumento de colección de datos y uso de funda .....	59
3.2.5	Visualización de los resultados.....	60
<b>CAPÍTULO IV</b>		
<b>CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INVESTIGACIÓN</b>		
<b>4.1</b>	<b>UBICACIÓN .....</b>	<b>61</b>
<b>4.2</b>	<b>ACCESIBILIDAD .....</b>	<b>61</b>
<b>4.3</b>	<b>GEOGRAFÍA .....</b>	<b>62</b>
<b>4.4</b>	<b>CLIMA .....</b>	<b>62</b>
<b>4.5</b>	<b>GEOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO .....</b>	<b>64</b>
4.5.1	Estratigrafía.....	64
4.5.2	Litología local .....	66
4.5.2.1	Paleozoico Inferior – Devónico.....	66



4.5.2.2 Pérmico Superior .....	67
4.5.2.3 Triásico Superior – Jurásico .....	68
4.5.2.4 Mioceno .....	69
4.5.3 Geología estructural .....	79
4.5.3.1 Falla regional Cerro de Pasco .....	79
4.5.3.2 Fallas Huislamachay .....	79
4.5.3.3 Fallas San Alberto .....	80
4.5.3.4 Fallas E-W .....	81
4.5.4 Mineralización .....	85
4.5.5 Alteración .....	87
4.5.5.1 Dolomitización .....	87
4.5.5.2 Ankerita Siderita .....	88
4.5.5.3 Argilización .....	88
4.5.5.4 Sílice Clay .....	89
4.5.5.5 Sílice Masiva .....	90

## CAPÍTULO V

### RESULTADO Y DISCUSIÓN

<b>5.1 CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA .....</b>	<b>94</b>
5.1.1 Mapeo geológico superficial .....	94
5.1.2 Relogeo de sondajes históricos .....	101
5.1.3 Interpretación de relogeo y hojas de logeo .....	101
5.1.4 Modelo litológico .....	102
5.1.4.1 Grupo Excelsior .....	103
5.1.4.2 Grupo Pucará .....	104
5.1.4.3 Cuerpo Pirita .....	105



5.1.4.4 Brecha Freática.....	106
5.1.4.5 Brecha Hidrotermal .....	107
5.1.4.6 Fragmental Lourdes.....	108
5.1.4.7 Caracterización de muestras .....	109
<b>5.2 RELACIÓN E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE ESPECTRÓMETRO CON LOS DOMINIOS GEOLÓGICOS .....</b>	<b>112</b>
5.2.1 Interpretación de dominios estructurales .....	112
5.2.2 Interpretación de resultados de espectrómetro con dominios litológicos	113
5.2.2.1 Grupo óxidos .....	113
5.2.2.2 Grupo carbonatos .....	115
5.2.2.3 Grupo Illitas.....	116
5.2.2.4 Grupo caolinitas .....	117
5.2.2.5 Grupo zeolitas.....	119
5.2.3 Interpolación con dominios geoquímicos – mineralógicos .....	121
5.2.3.1 Muestreo superficial .....	121
5.2.3.2 Re-muestreo de sondajes .....	121
5.2.3.3 Verificación de control de calidad.....	123
5.2.3.4 Interpolación de grupo de Óxidos y Jarosita.....	127
5.2.3.5 Interpolación grupo de Carbonatos .....	128
5.2.3.6 Interpolación grupo de Illitas .....	129
5.2.3.7 Interpolación grupo de Zeolitas.....	130
5.2.3.8 Interpretación y potencial económico .....	131
<b>VI. CONCLUSIONES .....</b>	<b>133</b>
<b>VII. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>134</b>
<b>VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>135</b>



**ANEXOS..... 138**

**ÁREA:** Geología mina

**TEMA:** Determinación de alteraciones hidrotermales con espectrómetro Terraspec halo del proyecto Cola Calle Noruega Bajo -Chaupimarca -Cerro de Pasco

**FECHA DE SUSTENTACIÓN:** 07 de noviembre de 2023



## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1.</b> Modelo geológico con vetas de enargita - pirita de las estructuras E – W (Boumgartner, 2008). .....	21
<b>Figura 2.</b> Espectros de reflectancia infrarroja. ....	34
<b>Figura 3.</b> Espectros del grupo de óxidos – inosilicatos.....	34
<b>Figura 4.</b> Espectros apilados para el rango de solución solida caolinita-illita. ....	35
<b>Figura 5.</b> Diferencias de contraste entre los tamaños de partícula.....	35
<b>Figura 6.</b> Halo Manager, Reflex Halo.....	37
<b>Figura 7.</b> Área de mapeo geológico, zona sur del tajo Raul Rojas. ....	45
<b>Figura 8.</b> Análisis de muestras de testigos de perforación diamantina y muestras de superficie con equipo Terraspec Halo. ....	46
<b>Figura 9.</b> Logueo geológico de testigos de perforación diamantina. ....	47
<b>Figura 10.</b> Remuestreo de sondajes históricos del Proyecto CCNB. ....	48
<b>Figura 11.</b> Muestreo superficial de canales.....	48
<b>Figura 12.</b> Lote de muestras superficiales enviados a laboratorio interno.....	49
<b>Figura 13.</b> Digitalización de planos factual e interpretativos 2D y 3D.....	50
<b>Figura 14.</b> Formatos de logueos de las diferentes empresas. ....	51
<b>Figura 15.</b> Pantalla de resultados de muestra y escalares. ....	59
<b>Figura 16.</b> Partes de la funda del equipo Terraspec Halo. ....	60
<b>Figura 17.</b> Mapa de ubicación del Proyecto Cola Calle Noruega Bajo .....	63
<b>Figura 18.</b> Columna Estratigráfica Cerro de Pasco.....	65
<b>Figura 19.</b> Vista mirando al Sur, del tajo Raul Rojas contacto discordante entre el Grupo Excelsior y el Grupo Mitú.....	67
<b>Figura 20.</b> Vista mirando al suroeste, afloramiento del grupo Mitú.....	68



<b>Figura 21.</b>	Vista mirando al Noreste, afloramiento del grupo Pucará.....	69
<b>Figura 22.</b>	Vista mirando al Suroeste, afloramiento de Fragmental Lourdes. ....	71
<b>Figura 23.</b>	Vista mirando al Oeste, parte de la diatrema de Cerro de Pasco.....	72
<b>Figura 24.</b>	Vista mirando al Suroeste, afloramiento del Cuerpo de Pirita. ....	73
<b>Figura 25.</b>	Vista mirando al Oeste, dique de composición cuarzo monzonítica. ....	74
<b>Figura 26.</b>	Vista mirando al Noreste, afloramiento de brecha San Alberto.....	75
<b>Figura 27.</b>	Vista mirando al Sureste. Contacto entre la Brecha CNB (Brecha polimictica) y la Brecha Hidrotermal. ....	76
<b>Figura 28.</b>	Vista mirando al Suroeste, estructura vetiforme de Brecha Hidrotermal..	77
<b>Figura 29.</b>	Mapa Geológico del Proyecto Cola Calle Noruega Bajo .....	78
<b>Figura 30.</b>	Eventos tectónicos de la Falla Cerro de Pasco. ....	80
<b>Figura 31.</b>	Vista al este, plano de falla Huislamachay de tendencia NW-SE. ....	81
<b>Figura 32.</b>	Vista en planta del Proyecto CCNB, estructura E – W .....	82
<b>Figura 33.</b>	Vista hacia el lado Oeste, estructura E-W (Veta San Anselmo). ....	83
<b>Figura 34.</b>	Mapa estructural del Proyecto Cola Calle Noruega. ....	84
<b>Figura 35.</b>	Mapa de zonificación mineralógica del Proyecto Cola Calle Noruega....	86
<b>Figura 36.</b>	Vista tomada al Sureste, A: grupo Pucará, zona San Alberto. B: caliza dolomitizada confirmada con los datos con Terraspec.....	87
<b>Figura 37.</b>	Vista al SE, estructura de ankerita – siderita – dolomita.....	88
<b>Figura 38.</b>	Vista mirando al Suroeste Afloramiento del Fragmental Lurdes. ....	89
<b>Figura 39.</b>	Vista mirando al Sur Oeste, muestra de mano con alteración silíceo-arcillas con presencia de óxidos.....	90
<b>Figura 40.</b>	Vista mirando al Sureste, muestra de mano con alteración de silicificación fuerte y óxidos en la matriz. ....	91
<b>Figura 41.</b>	Mapa de alteraciones del Proyecto Cola Calle Noruega. ....	93



<b>Figura 42.</b>	Muestreo superficial con equipo Terraspec Halo, grupo Óxidos.....	96
<b>Figura 43.</b>	Muestreo superficial con equipo Terraspec Halo, grupo Caolin.....	97
<b>Figura 44.</b>	Muestreo superficial con equipo Terraspec Halo, grupo Illitas.....	98
<b>Figura 45.</b>	Muestreo superficial con equipo Terraspec Halo, grupo Zeolitas.....	99
<b>Figura 46.</b>	Muestreo superficial con equipo Terraspec Halo, grupo Carbonatos. ....	100
<b>Figura 47.</b>	Modelo geológico del Proyecto Cola Calle Noruega Bajo.....	103
<b>Figura 48.</b>	Modelo geológico basamento grupo Excelsior. ....	104
<b>Figura 49.</b>	Modelo geológico grupo Pucará.....	105
<b>Figura 50.</b>	Modelo geológico cuerpo Pirita. ....	106
<b>Figura 51.</b>	Modelo geológico Brecha Freática.....	107
<b>Figura 52.</b>	Modelo geológico Brecha Hidrotermal. ....	107
<b>Figura 53.</b>	Modelo geológico Diatrema Fragmental Lourdes.....	108
<b>Figura 54.</b>	Descripción de muestra de mano de filita. ....	109
<b>Figura 55.</b>	Descripción de muestra de mano de caliza.....	109
<b>Figura 56.</b>	Descripción de muestra de mano de pirita.....	110
<b>Figura 57.</b>	Descripción de muestra de mano de Brecha Freatica.....	110
<b>Figura 58.</b>	Descripción de muestra de mano de Brecha Hidrotermal. ....	111
<b>Figura 59.</b>	Descripción de muestra de mano de Fragmental Lourdes.....	111
<b>Figura 60.</b>	Sección con vistas al E, vetas San Anselmo – Cleopatra.....	112
<b>Figura 61.</b>	Ensamble mineralógico del grupo Óxidos – Jarosita; (Ferrihidrita, Goetita, Hematita, Jarosita, Natrojarosita). ....	114
<b>Figura 62.</b>	Cantidad de lecturas grupo de Óxidos.....	114
<b>Figura 63.</b>	Ensamble mineralógico del grupo de carbonatos; (Ankerita, Aragonito, Calcita, Dolomita, Magnesita, Rodocrosita, Siderita, Smithsonita).....	115
<b>Figura 64.</b>	Cantidad de lecturas grupo de Carbonatos. ....	116



<b>Figura 65.</b>	Ensamble mineralógico del grupo de Illitas; (Illita/Smectita, Iron Smectita, K-Illita, Mg – Illita).....	117
<b>Figura 66.</b>	Cantidad de lecturas grupo de Illitas. ....	117
<b>Figura 67.</b>	Ensamble mineralógico del grupo de caolinitas; (Dickita, Halloysita, Caolinita PX, Caolinita WX, Nacrita).....	118
<b>Figura 68.</b>	Cantidad de lecturas de grupo de Caolinitas. ....	119
<b>Figura 69.</b>	Ensamble mineralógico del grupo de Zeolite; (Chabazita, Gmelinita Na, Harmotoma, Heulandita, Mesolita, Natrolita, Phillipsita – Ca, Thompsonita – Ca). ....	120
<b>Figura 70.</b>	Cantidad de lecturas de grupo Zeolitas.....	120
<b>Figura 71.</b>	Muestreo en canales del proyecto CCNB, ancho 0.2m. longitud 1.07m.	121
<b>Figura 72.</b>	Muestras totales de remuestreo vs QA/QC. ....	122
<b>Figura 73.</b>	Remuestreo de sondajes e inserción de controles.....	122
<b>Figura 74.</b>	Frecuencia de inserción de muestras de control. ....	123
<b>Figura 75.</b>	Interpolación de Óxidos Vs leyes de Zn equivalente. ....	128
<b>Figura 76.</b>	Interpolación de Carbonatos Vs leyes de Zn equivalente.....	129
<b>Figura 77.</b>	Interpolación de Illitas Vs leyes de Zn equivalente.....	130
<b>Figura 78.</b>	Interpolación de Zeolita Vs leyes de Zn equivalente. ....	131
<b>Figura 79.</b>	Envolvente de leyes en Zn>2.5% y Ag>3.5Oz .....	132



## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1</b> Subdivisión de la fase hidrotermal.....	26
<b>Tabla 2</b> Movilidad relativa de elementos químicos comunes.....	27
<b>Tabla 3</b> Biblioteca mineral con Terraspec Halo.....	36
<b>Tabla 4</b> Modelo de registro de campos de shapefile para Litología.....	53
<b>Tabla 5</b> Modelo de registro de campos de shapefile para estructuras.....	54
<b>Tabla 6</b> Modelo de registro de campos de shapefile para mineralización.....	55
<b>Tabla 7</b> Modelo de registro de campos de shp para alteración.....	56
<b>Tabla 8</b> Modelo de registro Terraspec Halo.....	57
<b>Tabla 9</b> Límites de ubicación del Proyecto Cola Calle Noruega Bajo.....	61
<b>Tabla 10</b> Accesibilidad al área del Proyecto.....	61
<b>Tabla 11</b> Resultados de muestras Gemelas.....	123
<b>Tabla 12</b> Resultados de Duplicados Gruesos.....	124
<b>Tabla 13</b> Resultados de muestras Duplicados Finos.....	125
<b>Tabla 14</b> Resultados de Blancos Gruesos.....	125
<b>Tabla 15</b> Resultados de Blancos Finos.....	126
<b>Tabla 16</b> Resultados de Estándar Bajo.....	126
<b>Tabla 17</b> Resultados de Estándar Medio.....	127
<b>Tabla 18</b> Resultados de Estándar Alto.....	127



## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

%: Porcentaje

°C: Grado centígrado

AAS: Análisis de Absorción Atómica

Ag: Plata

As: Arsénico

Au: Oro

Bi: Bismuto

BOX: Bloque denominado Piso y Techo.

Bz: Buzamiento

CCNB: Cola Calle Noruega Bajo

CLZ: Caliza

CODE\_MIN: Código de abreviatura de mineralización

Cu: Cobre

DDH: Taladro de Perforación Diamantina

Dip: Desviación

Dip\_Dire: Dip dirección

Eh: Potencial Oxido Reducción

E-W: Este - Oeste

Fe: Hierro

FLT: Filita

GDMS: Servidor Central

GIS: Sistema de información geográfica

GPS: Sistema de Posicionamiento Global

Hg: Mercurio

Km: Kilometro

m.s.n.m: Metros sobre el nivel del mar



Mg: Magnesio

MIN1: Mineral de mayor predominación

MIN2: Mineral de mediana predominación

MIN3: Mineral de baja predominación

Mo: Molibdeno

Nº: Número

Na: Sodio

NIR: Espectroscopia de Infrarrojo Cercano

Ox: Óxidos

Pb: Plomo

Ph: Potencial de Hidrogeno

PX: Poco cristalino

PY: Pirita

PY\_M: Pirita Masiva

QA/QC: Control de Aseguramiento y Control de Calidad

S.A.C.: Sociedad Anónima Cerrada

Sb: Antimonio

Sb: Antimonio

SHP: Información de atributos (Shapefile)

U.M.: Unidad Minera

Zn: Zinc



## RESUMEN

El presente trabajo de investigación es producto de falta de información geológica en la zona sur del tajo Raul Rojas, localizado en el distrito de Chaupimarca, Provincia y Departamento de Pasco. Geológicamente la zona de estudio está emplazada en una brecha freática y cuerpo de pirita el cual está en contacto con el grupo Pucará. Los objetivos de esta investigación son: caracterizar la geología y relacionar resultados de espectrómetro con los dominios estructurales, litológicos y mineralógicos. El método de investigación fue realizar el cartografiado geológico detallado a escala 1/500, bajo el método tradicional de levantamiento topográfico con estación total, se tomó un total de 1200 muestras de campo y más de 1000 muestras en sondajes diamantinos históricos, el cual fueron analizadas con el equipo Terraspec Halo, asimismo se realizó el muestreo superficial en canales y remuestreo de 20 sondajes para él envió a laboratorio interno de Paragsha por el método de absorción atómica, finalmente interpretar los resultados en softwares Qgis, ArcGis y Leapfrog. La caracterización geológica está conformada por las principales unidades litoestratigráficas; grupo Excelsior, grupo Pucará, cuerpo de piritas friables y masivas, Brecha Freática, Brecha Hidrotermal y Fragmental Lourdes. Los resultados con espectrómetro mostraron los siguientes grupos: Óxidos (Goetita, Hematita y Jarosita); Carbonatos (Calcita, Magnesita y Siderita); Caolinitas (Dickita, Halloysita, Caolinita, Nacrita); Zeolitas (Chabazita, Gmelinita Na, Thompsonita – Ca) y grupo de Illitas (Illita/Esmectita, Iron Esmectita, K – Mg Illita). El grupo de los óxidos Jarosita es la guía para el descubrimiento de nuevos targets de exploración cuyas leyes son; Pb > 0.8%, Zn > 1.5%.

**Palabras clave:** Caracterización geológica, Alteraciones hidrotermales, Espectrómetro, Terraspec Halo y ensambles mineralógicos.



## ABSTRACT

The present research work is the product of a lack of geological information in the southern area of the Raúl Rojas pit, in the Cerro de Pasco Mine, district of Chaupimarca, Province and Department of Pasco. Geologically, the study area is located in a phreatic gap and pyrite body which is in contact with the Pucará group. The objectives of this research are: to characterize the geology and relate spectrometer results to the structural, lithological and mineralogical domains. The research method was to carry out detailed geological mapping at a 1/500 scale, under the traditional method of topographic survey with total station, a total of 1200 field samples and more than 1000 samples in historical diamond drillings were taken, which were analyzed. With the Terraspec Halo equipment, surface sampling was also carried out in channels and resampling of 20 drillholes for sending to Paragsha's internal laboratory using the atomic absorption method, finally interpreting the results in Qgis, ArcGis and Leapfrog software. The geological characterization is made up of the main lithostratigraphic units; Excelsior group, Pucará group, body of friable and massive pyrites, Phreatic Gap, Hydrothermal Gap and Lourdes Fragmental. The results with the spectrometer showed the following groups: (Goethite, Hematite and Jarosite); Carbonates (Calcite, Magnesite and Siderite); Kaolinites (Dickite, Halloysite, Kaolinite, Nacrite); Zeolites (Chabazite, Na Gmelinite, Thompsonite – Ca) and Illite group (Illite/Smectite, Iron Smectite, K – Mg Illite). The group of Jarosite oxides is the guide for the discovery of new exploration targets whose laws are  $Pb > 0.8\%$ ,  $Zn > 1.5\%$ .

**Keywords:** Geological characterization, Hydrothermal alterations, Spectrometer, Terraspec Halo and mineralogical assemblages.



# CAPÍTULO I

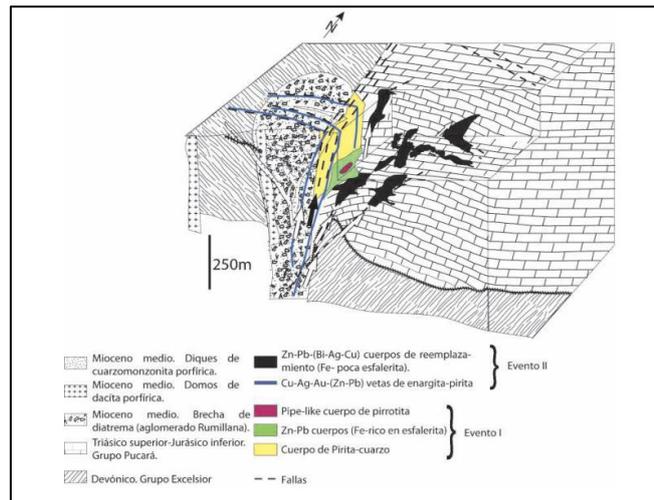
## INTRODUCCIÓN

### 1.1 ANTECEDENTES

La mina de Cerro de Pasco, ubicado en las altiplanicies interandinas, consiste en minería a tajo abierto y subterráneo. Se encuentra en el borde de un complejo domo-diatrema, que corta principalmente al grupo Pucará, que está compuesto en este sector por calizas arenosas, calizas bituminosas, niveles o nódulos de chert, niveles fosilíferos y carbonatos masivos (Jenks, 1951). El vulcanismo está constituido por el emplazamiento de una diatrema y domos de dacita en el borde del complejo. Diques de composición cuarzo monzonita cortan a la diatrema.

La diatrema y alrededores se han erosionado desde el Mioceno medio, dejando aflorar rocas profundas compuestas principalmente por filitas, pizarras y cuarcitas, pertenecientes al grupo Cabanillas. Una parte del depósito de Cerro de Pasco está emplazada en la brecha de diatrema que forma parte del complejo domo diatrema del Mioceno medio, que se emplazó en el borde de la falla Cerro de Pasco (Angeles, 1999). Esta mina fue estudiada por varios autores, entre los últimos se encuentra (Baumgartner, 2007), con la base de una cartografía regional y local en zonas estratégicas del tajo Raul Rojas.

La mineralización y alteración según, (Baumgartner, 2007), determinó que la mina Cerro de Pasco pertenece a los depósitos polimetálicos epitermales tipo cordillerano con dos fases de mineralización.



**Figura 1.** Modelo geológico con vetas de enargita - pirita de las estructuras E – W (Baumgartner, 2008).

Baumgartner (2007), propuso el modelo geológico para Cerro de Pasco en base a los resultados geocronológicos, asociaciones de minerales, condiciones reductoras, microtermometría y resultados isotópicos. Un evento de volcanismo explosivo se dio en el Mioceno medio y un complejo diatrema domo con más de 2km de diámetro aproximadamente fue emplazado a lo largo de la falla longitudinal.

La mayoría de los cuerpos mineralizados de reemplazamiento de carbonato muestran una morfología con inclinación entre ( $25^\circ$  y  $60^\circ$ ) en dirección del complejo diatrema domo, lo que sugiere que los fluidos hidrotermales ascendieron de niveles más profundos, pero no significa que se llevó a cabo la alimentación lateral de las vetas a los cuerpos de reemplazamiento, según (Baumgartner, 2007). Por el contrario, tanto las vetas en la brecha diatremas y cuerpos de reemplazamiento pueden ser el resultado de ascensos de líquidos de forma paralela y caminos divergentes dentro del mismo sistema hidrotermal. Los cuerpos de reemplazamiento en calizas contienen minerales de Sb, que son prácticamente libres de As y Au libre, con pequeñas cantidades de Cu, mientras que las vetas de enargita – pirita contienen Cu-As y Au. Las vetas con enargita pirita fueron controladas por fallas E-W, y los cuerpos de reemplazamiento, por fallas N35°, N°120 y



N°170, mientras que el cuerpo de piritas cuarzo y las chimeneas pipe de pirrotitas zonificadas en minerales Zn-Pb que fueron canalizadas principalmente a lo largo de una dirección norte – sur, probablemente a lo largo de la falla longitudinal (falla Cerro de Pasco).

## **1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La mina Cerro de Pasco constituye una de las más grandes concentraciones polimetálicas del mundo, esto por la naturaleza de los fluidos que formaron minerales como: caolinita y alunita de la segunda etapa. Estos fluidos habrían ingresado al sistema epitermal a manera de pulsos y se habrían mezclado con las salmueras diluidas, cuyo resultado son los fluidos mineralizantes ácidos. En la actualidad gran parte del yacimiento ya ha sido explotado por ser de gran riqueza, sin embargo, queda aún sectores que albergan mineralización económicamente rentable, dichos sectores han sido estudiados en campañas anteriores, pero aun es necesario realizar más trabajos de investigación e interpretación con la finalidad de encontrar zonas mineralizadas y ampliar el tajo Raul Rojas. Por ello es importante determinar el zoneamiento de alteraciones hidrotermales, tal es el caso de la zona sur del tajo Cola Calle Noruega Bajo.

### **1.2.1 Identificación del problema**

Falta de información geológica detallada como interpretaciones de alteraciones hidrotermales asociados a dominios estructurales, litológicos y mineralógicos en la zona sur del tajo proyecto Cola Calle Noruega Bajo.

### **1.2.2 Valoración del problema**

La importancia del estudio es la determinación de alteraciones hidrotermales con espectrómetro Terraspec Halo, el cual permitirá analizar las muestras, para definir el comportamiento de los diferentes ensambles



mineralógicos a manera de halos, proporcionar vectores de exploración, de fluidos y geoquímicos que servirán para ubicar minerales de interés y poder incrementar reservas al yacimiento de Cerro de Pasco.

### **1.2.3 Formulación del problema**

¿Qué alteraciones hidrotermales presenta el Proyecto Cola Calle Noruega Bajo?

Problema que nos deriva a los siguientes problemas específicos:

a) ¿Cuál es la característica geológica del Proyecto Cola Calle Noruega Bajo?

b) ¿Qué relación existe entre los dominios estructurales, litológicos y mineralógicos con los resultados de Espectrómetro Terraspec Halo?

## **1.3 JUSTIFICACIÓN**

En base a la ampliación de la zona sur del tajo, se requiere contar con un estudio geológico detallado que avale el valor económico del proyecto a partir de la caracterización geológica y del análisis de alteraciones hidrotermales mediante un espectrómetro. Por tal motivo el presente estudio busca determinar el zoneamiento hidrotermal del proyecto Cola Calle Noruega Bajo, de manera que esta investigación sea un aporte para ubicar depósitos económicos, proporcionar características minerales y metalúrgicas para la optimización del proceso de minado y reducir los costos de procesamiento.

## **1.4 HIPÓTESIS DEL TRABAJO**

Las alteraciones hidrotermales y ensambles mineralógicos son reconocidos mediante análisis con espectrómetro, juntamente con resultados de análisis geoquímicos



y mapeos geológicos se puede relacionar e interpretar de manera rápida y confiable para determinar el zoneamiento de alteraciones hidrotermales del proyecto Cola Calle Noruega Bajo.

#### **1.4.1 Hipótesis Específica 1**

Mediante la caracterización geológica se realizará interpretaciones de alteraciones hidrotermales del Proyecto Calle Noruega Bajo.

#### **1.4.2 Hipótesis Específica 2**

Con la interpretación de resultados se definirá los tipos de alteraciones que presenta el Proyecto Calle Noruega Bajo.

### **1.5 OBJETIVO GENERAL**

Determinar las alteraciones hidrotermales con espectrómetro (Terraspec Halo), del proyecto Cola Calle Noruega Bajo.

#### **1.5.1 Objetivos específicos**

- Caracterizar la geología del proyecto Cola Calle Noruega Bajo.
- Relacionar e interpretar los resultados de espectrómetro con los dominios estructurales, litológicos, mineralógicos con el fin de determinar zonas con potencial a explorar y encontrar nuevas zonas mineralizadas del proyecto Cola Calle Noruega Bajo.



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1 ALTERACIONES HIDROTERMALES

La alteración hidrotermal es un proceso muy complejo que involucra cambios mineralógicos, químicos y texturales, resultado de la interacción de fluidos de aguas calientes con las rocas circundantes que les permiten el paso, bajo ciertas condiciones fisicoquímicas. Con una baja presión y temperatura, la exsolución de las fases acuosas y gaseosas constituye las soluciones hidrotermales y actúan sobre las rocas circundantes, produciendo cambios como resultado del desequilibrio producido por el  $H^+$  y  $OH^-$  y otros constituyentes volátiles (Rose & Burt, 1979).

Los fluidos hidrotermales son en su mayoría de origen magmático, en la mayoría de los depósitos de origen hidrotermal, según (Giggenbach, 1997). Y que son los que contienen metales a ser depositados según las condiciones termodinámicas.

Sin embargo, es posible que los fluidos envueltos cambien su composición como resultado de esa interacción con la roca caja (Hemley & Ellis, 1983).

Los principales factores que controlan los procesos de alteración son:

- Naturaleza de la roca caja.
- Composición de los fluidos.
- Concentración, actividad y potencial químico de los fluidos componentes, como son  $H^+$ ,  $CO_2$ ,  $O_2$ ,  $K^+$ ,  $S_2$ , etc.

##### 2.1.1 Fase hidrotermal

Según (Niggli, 1929), la fase hidrotermal ocurre a temperaturas entre  $500^{\circ}C - 100^{\circ}C$ . En esta fase ocurre una fuerte hidrólisis en el líquido residual y un equilibrio entre el material cristalino, las disoluciones acuosas y el gas.



Además, en esta fase se depositan Au, Cu, Pb, Zn, Fe, U, Ba, Bi, y etc. La mineralización se emplaza a una distancia muy grande respecto de la fuente magmática.

Al final del proceso de cristalización magmática se forman las soluciones hidrotermales. Las soluciones hidrotermales son emanaciones calientes generadas y asociadas principalmente a intrusiones félsicas, dentro de la corteza terrestre. La fase hidrotermal se puede subdividir de acuerdo con la tabla 1.

**Tabla 1**

*Subdivisión de la fase hidrotermal.*

<b>Fase</b>	<b>Temperatura en C°</b>
Catatermal	400 - 300
Mesotermal	300 - 200
Epitermal	200 - 100

(Fuente: Niggli 1929)

### **2.1.2 Transporte y precipitación de elementos químicos**

La movilidad de elementos químicos es la capacidad que tiene un elemento de ser trasladado de un ambiente geológico a otro. Algunos elementos muestran alto grado de movilidad durante la dispersión en ambientes particulares, por ejemplo, los gases son los que muestran un alto grado de movilidad (Rose, 1979).

**Tabla 2**  
*Movilidad relativa de elementos químicos comunes.*

Elementos	Acido: Ph <5,5	Neutral: Ph=5,5 - 7,0	Alcalino Ph:>7,0
Cobre	Altamente soluble en Ph muy bajo	Ligeramente soluble a insoluble	Insoluble
Uranio	Insoluble, soluble debajo de pH 3	Ligeramente soluble	Muy soluble
Molibdeno	Insoluble	Insoluble	Muy soluble como Mo O <sub>4</sub> , excepto en ambientes ricos en Ca
Plomo	Insoluble	Insoluble	Ligeramente soluble a insoluble
Zinc	Muy soluble	Moderadamente soluble	Ligeramente soluble a insoluble
Niquel	Soluble, limitado por precipitación de limonita	Ligeramente soluble a insoluble	Insoluble
Cobalto	Soluble, limitado por precipitación de limonita	Soluble	Soluble
Hierro	Insoluble excepto como Fe	Ligeramente soluble como Fe	Insoluble
Manganeso	Soluble como Mn	Ligeramente soluble	Insoluble
Tungsteno	Insoluble	Insoluble	Insoluble
Estaño	Insoluble	Insoluble	Insoluble
Plata	Insoluble	Insoluble	Insoluble
Oro	Insoluble	Insoluble	Insoluble

(Datos tomados de Rose, 1979)

### 2.1.3 Ambiente de formación de minerales

La variedad de cualquier asociación mineral está bastante restringida en comparación con todas las posibles combinaciones entre los elementos. Este reducido número de minerales que se pueden hallar en los diferentes tipos de rocas de la corteza y el manto superior viene determinado por dos causas principales según (Rivera, 2001)

- La distribución de los elementos químicos en la Tierra y su abundancia, que son reflejo de las cantidades cósmicas de los mismos.
- Las reacciones que ocurren entre los minerales, cuando se encuentran en condiciones de equilibrio heterogéneo.



## 2.2 DISPERSIÓN DE HALOS PRIMARIOS

Muchos depósitos minerales de origen ígneo o hidrotermal se caracterizan por la presencia de una zona central, tal como una veta, en la cual, los minerales o elementos de valor pueden estar concentrados en porcentajes económicos (Hawkes, 1975). El grado de concentración de los elementos de valor presentes en dicha zona central del depósito puede ser de tres tipos:

- En un rango alto: Como en el caso de depósitos de barita (baritina), fluorita o manganeso.
- En un rango de bajo porcentaje: Como en el caso de depósitos de plomo y zinc.
- En un rango de partes por millón (p.p.m.): Como en el caso de oro y platino.

Alrededor de dicha zona central del depósito, en la mayoría de los casos existe una disminución progresiva en el contenido de elementos de valor en la roca que la encajona, hasta que el contenido de dicho elemento alcanza el del valor normal de la roca encajonante, y es clasificada como background del terreno.

Según (Hawkes, 1975), algunos de los factores principales que determinan el tamaño y la forma de un halo primario son:

- Condiciones de movilidad de los elementos en solución.
- Volatilidad de los elementos.
- Tendencia a formar minerales extraños.
- Factores físicos tal como viscosidad y presión del magma.
- Tendencia de los fluidos a reaccionar con la roca huésped (como calizas).
- Microfracturas en las rocas.

### 2.2.1 Tipos de Halos Primarios

Los halos primarios han sido clasificados considerando el tiempo de



emplazamiento y la geometría desarrollada por el halo, (Hawkes, 1975). Con respecto al tiempo de emplazamiento se reconocen dos tipos:

#### **2.2.1.1 Halos primarios sin genéticos**

Formados esencialmente en forma contemporánea con la roca encajonante, por ejemplo, halos asociados a pegmatitas o segregaciones ultramáficas.

#### **2.2.1.2 Halos primarios epigenéticos**

Formados después que la roca ha cristalizado y resultan por la introducción de soluciones mineralizantes a lo largo de fracturas, fallas, cizallamientos y superficies de debilidad en donde son emplazadas ciertas soluciones, según (Hawkes, 1975).

### **2.3 DESCRIPCIÓN DE ROCAS ALTERADAS**

#### **2.3.1 Protolito**

Es una roca original que existe antes de ser afectada por cualquier proceso de alteración o que no ha sido alterada hidrotermalmente, o no ha sufrido procesos de alteración, es decir, que representa su estado antes de sufrir los efectos del metamorfismo (Winter, 2001).

#### **2.3.2 Ensamble mineral**

Es un conjunto de minerales que caracterizan a determinado proceso de alteración hidrotermal (tipo de alteración). En varios casos, esto no es usual si todas las fases de mineral en la roca alterada están en equilibrio. Las rocas encajonantes pueden ser poco o totalmente alteradas, es decir, volúmenes grandes o pequeños de rocas pueden ser alterados (Hemley & Ellis, 1983)

## **2.4 TIPOS DE ALTERACIÓN HIDROTHERMAL HIPÓGENA**

Es el intercambio químico ocurrido durante una interacción fluido hidrotermal – roca. Una alteración hidrotermal puede ser considerada como un proceso de metasomatismo, dándose transformación química y mineralógica de la roca original en un sistema termodinámico abierto (Rose & Burt, 1979).

En la naturaleza se reconocen variados tipos de alteración hidrotermal, caracterizados por asociaciones de minerales específicos. Los distintos tipos de alteración e intensidad son dependientes de factores tales como composición del fluido hidrotermal, composición de la roca huésped, temperatura, pH, Eh, agua/roca y tiempo de interacción, entre otros (Townley B. K., 2005)

Se conocen los siguientes tipos de alteración hidrotermal hipógena según (Rose & Burt, 1979):

### **2.4.1 Sericitización**

Conocida también como alteración fílica. Ocurre por la lixiviación de Na, Ca y Mg y el desarrollo de un metasomatismo potásico. Esta alteración ocurre en rocas de composición ácida intermedia reemplazando feldespatos, plagioclasas y biotita. El ensamble mineralógico es: cuarzo – sericita - piritita, y como minerales accesorios son; caolinita, illita, biotita (Rose & Burt, 1979).

### **2.4.2 Argílica**

Se caracteriza por la formación de minerales arcillosos bajo un intenso metamorfismo de H<sup>+</sup>, productos de la alteración de feldespatos y minerales máficos (hornblenda, biotita), esto ocurre bajo condiciones ácidas y por lixiviación de todos los cationes alcalinos. Este tipo de alteración es común en los sistemas porfiríticos (Rose & Burt, 1979).



#### **2.4.2.1 Argílica intermedia**

Presenta importantes cantidades de cuarzo, illita, clorita, caolinita, hematita, esmectita o arcillas amorfas, principalmente reemplazando a plagioclasas. Hay una significativa lixiviación de Ca, Na y Mg de las rocas. Ocurre a temperaturas menores a 100°C, pH 4 y 5 (Rose & Burt, 1979).

#### **2.4.2.2 Argílica avanzada**

Caracterizada principalmente por presentar cuarzo residual (cuarzo oqueroso o también conocido como; “vuggy silica”) debido al intenso ataque ácido (pH entre 1 y 3.5), y más o menos lixiviamiento completo de los cationes alcalinos con la completa destrucción de los feldespatos. La dickita, caolinita, pirofilita, diásporo, alunita y cuarzo son los minerales más comunes en este tipo de alteración (Townley B. K., 2001).

#### **2.4.3 Caolinización**

Es un subtipo de la argilización. Está constituida por el ensamble: caolinita-dickita-nacrita. Las grandes masas de caolín ocurren durante procesos supérgenos en la zona de oxidación de los depósitos sulfurados, se presentan acompañados de alunita, jarosita, halloysita. Ocurre en depósitos de Cu, Pb-Zn, Sb, Hg y Fluorita (Rose & Burt, 1979).

#### **2.4.4 Cloritización**

Se presenta como cuarzo-clorita, cuarzo-clorita-sericita, cuarzo-clorita-biotita, cuarzo-clorita-turmalina y cuarzo-clorita-carbonatos. Son considerados como grupo de la clorita minerales que se forman en condiciones de pH neutro a levemente alcalino. Se presenta en depósitos de sulfuro masivo Galena – Esfalerita - Calcopirita; vetas de calcopirita y casiterita; depósito de uranio (Rose & Burt,



1979).

#### **2.4.5 Zeolitización**

Las zeolitas son formadas a partir de la precipitación de fluidos contenidos en los poros o por la alteración de vidrios volcánicos. Las condiciones de presión, temperatura, actividad de las especies iónicas y presión parcial de agua son factores determinantes en la formación de las diferentes especies de zeolitas. Existen cerca de 40 especies de zeolitas naturales conocidas. Dentro de las especies incluyen; heulandita, phillipsita, eroinita y chabazita (Jiexiang, 1993).

#### **2.4.6 Alunitización**

Se les encuentra en dos ensambles principales, que son; alunita - opalo, alunita-cuarzo. El primer ensamble ocurre en ambientes ácidos asociados a las series sulfatadas. Sus minerales principales son alunita y ópalos acompañados por halloysita, gibbsita, yeso y pirita. Se le encuentra en los depósitos de Au-Ag (Rose & Burt, 1979).

#### **2.4.7 Dolomitización**

La dolomitización es un proceso químico que transforma a una caliza en dolomía, mediante el reemplazamiento de iones de calcio por magnesio. Dentro de este proceso se puede tener reemplazamiento pseudomorfo donde la dolomía crece en continuidad óptica con el material que es reemplazado y, por lo tanto, la textura original se preserva (Supko P. R., 1977).

#### **2.4.8 Hematización**

Se presenta en depósitos de uranio o de hierro asociado con intrusiones de plutones de granito y carbonatos. Las impregnaciones de hematita,



diseminaciones y venillas están relacionadas con los últimos estadios de la actividad hidrotermal en sistemas de mineralización a greisen de Sn-W. La alteración rica en Fe está asociada con la mineralización que contiene F, Cu, Au, etc. (Rose & Burt, 1979).

## **2.5 TERRASPEC HALO**

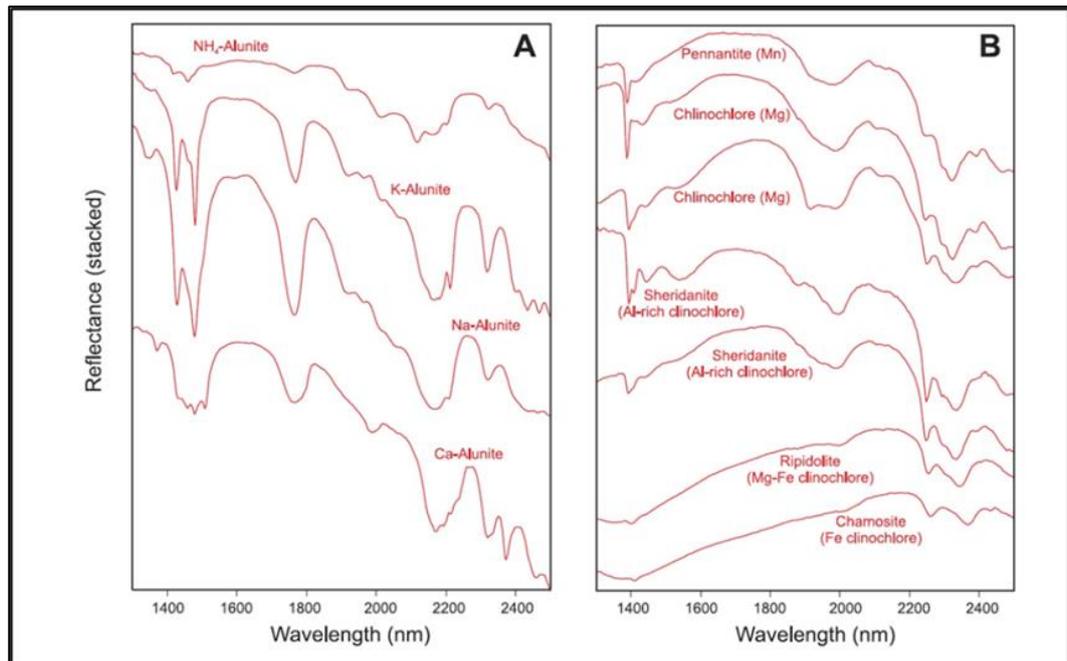
Es una herramienta importante para la exploración minera, típicamente son empleados para determinar la mineralogía de rocas alteradas e identificar los patrones de alteraciones, consecuentemente para localizar mineralización económica según la vectorización de alteración hidrotermal (Vargas A., 2008).

El análisis espectral de minerales nunca ha sido tan simple, el Terraspec Halo es un espectrómetro NIR de rango completo que mide el corto y visible regiones infrarojas de onda (350-2500nm) e incluye GPS, audio grabador y referencias internas para permitir una fácil operación y datos de administración (Infopanalytical, 2017).

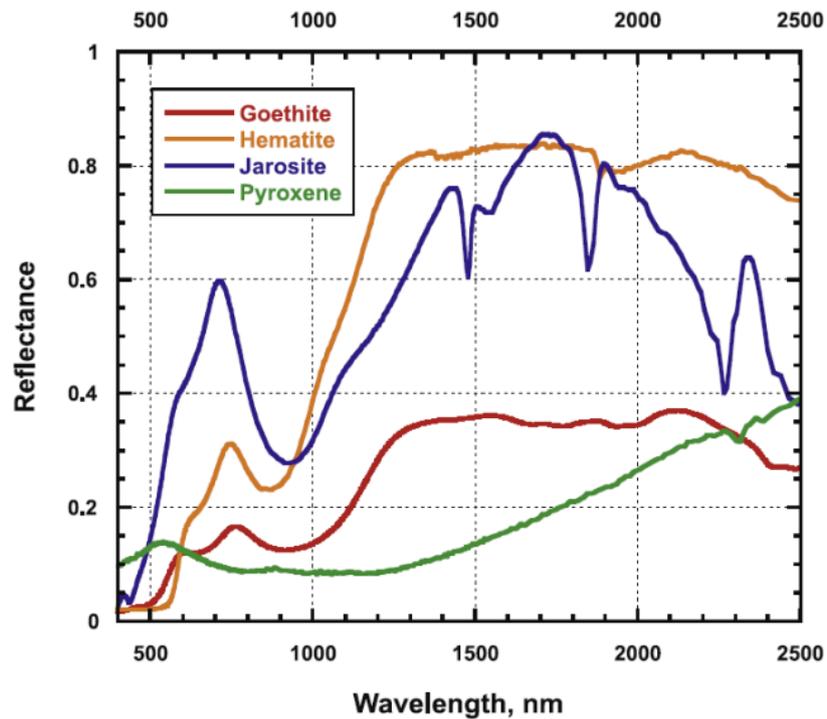
### **2.5.1 Principios de espectroscopia infrarrojo**

Los enlaces iónicos en moléculas H<sub>2</sub>O y en minerales que contienen grupos OH vibran con frecuencias características. Cuando la radiación infrarroja entrante resuena con frecuencias, la energía es absorbida por el material a la longitud de onda asociada (Vargas A., 2008).

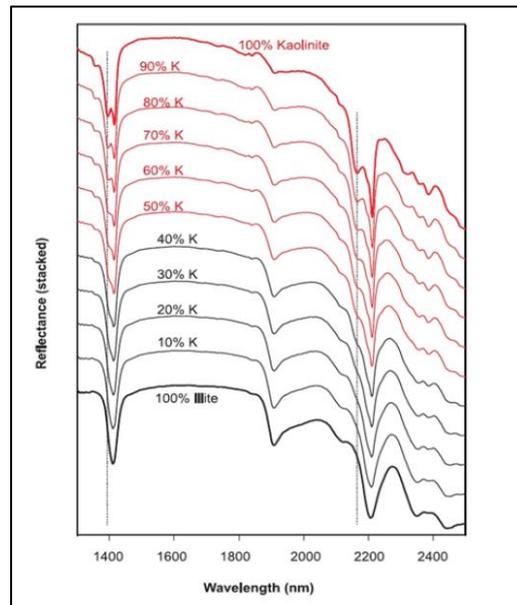
El espectro de reflectancia resultante muestra características de absorción en longitudes de onda específicas de enlace que permiten la identificación de minerales (Vargas A., 2008).



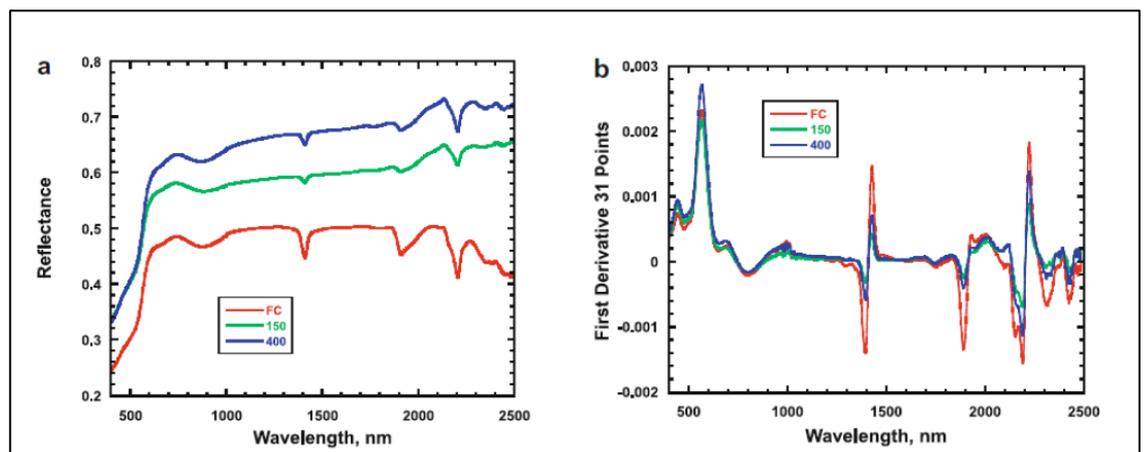
*Figura 2.* Espectros de reflectancia infrarroja.



*Figura 3.* Espectros del grupo de óxidos – inosilicatos.



**Figura 4.** Espectros apilados para el rango de solución sólida caolinita-illita.



**Figura 5.** Diferencias de contraste entre los tamaños de partícula.

### 2.5.2 Librería mineral espectral

La identificación de minerales por espectroscopia IR se basa en la comparación de un espectro de muestra con espectros de referencia de análisis de minerales individuales. Los espectros de reflectancia característicos de los minerales individuales han sido recopilados por varias instituciones de investigación y proveedores de servicios (Vargas A., 2008).

**Tabla 3**  
*Biblioteca mineral con Terraspec Halo.*

GRUPO	MINERAL				
<b>PIROFILITA</b>	Pirofilita				
<b>ALUNITA</b>	K-Alunita				
<b>CAOLINITA</b>	Nacrita	Dickita	CaolinitaWX	CaolinitaPX	Halloysita
<b>ILLITA</b>	K-illita	Mg-illita	Illita/Esmectita	Iron Esmectita	NH3_Esmectita
<b>MICAS</b>	Muscovita	Paragonita	Fengita	Lepidolita	Flogopita
<b>MONTMORILLONITA</b>	Montmorillonita	Beidelita	Nontronita		
<b>ZEOLITA</b>	Laumontita	Heulandita	Chabazita	Gmelinita-Na	Thompsonita-Ca
	Phillipsita-Ca	Natrolita	Mesolita	Harmotoma	
<b>OXIDOS JAROSITA</b>	Jarosita	Natrojarosita	Hematita	Goetita	
<b>CARBONATOS</b>	Siderita	Ankerita	Smithsonita	Rodocrocita	Dolomita
	Aragonito	Magnesita	Calcita		
	Vermiculita	Sepiolita	Rectorita	Paligorskita	Saponita
<b>ARCILLAS</b>	Iron Saponita				
<b>MINERALES VERDES</b>	FeCloritas	FeMgCloritas	Epidota	Clinozoisita	Zoisita

\*Fuente Biblioteca de Minerales (Mina, 2019).

### 2.5.2.1 Algoritmo de combinación mineral

Halo usa un algoritmo patentado para parear minerales, el espectro desconocido se ajusta a la biblioteca mineral a bordo. Una vez que el espectro mineral mejor ajustado coincide, se resta del espectro desconocido. Usando el resto del espectro desconocido, el proceso se repite para generar hasta 7 coincidencias de minerales (Infopanlytical, 2017).

### 2.5.2.2 Sincronización

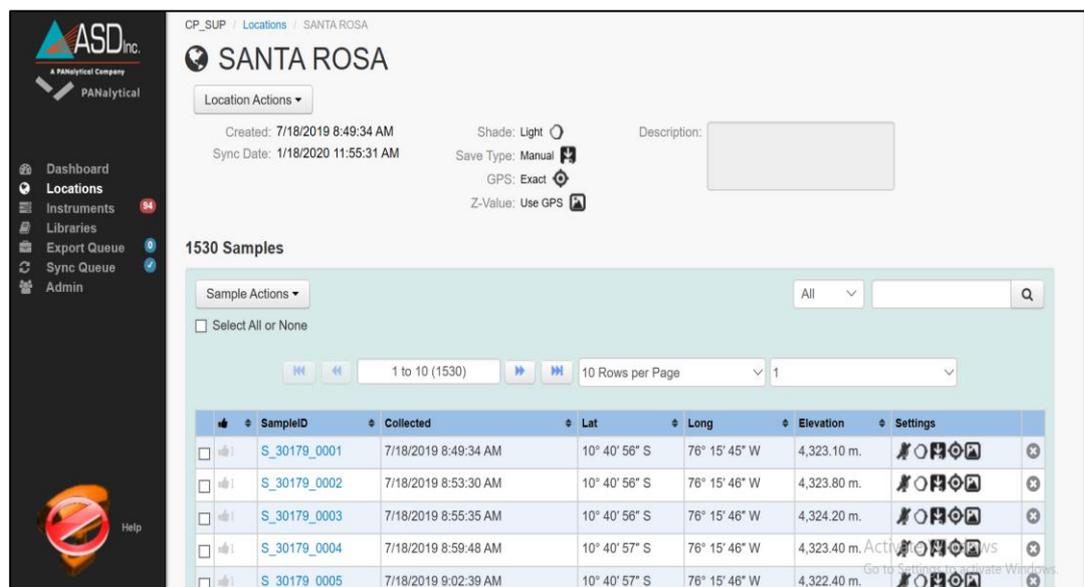
Todos los datos y las nuevas ubicaciones creadas en Halo se

sincronizan con Halo Manager y se almacenan en el proyecto y las ubicaciones correctos. El proyecto con las ubicaciones seleccionadas y su configuración en la cola de sincronización de Halo Manager se cargan en HALO (Infopanlytical, 2017).

### 2.5.3 Halo Manager

Halo Manager es el software que puede descargar espectros y escalares en una computadora con Windows (Infopanlytical, 2017).

- Puede crear proyectos y ubicaciones.
- Configurar ajustes para ubicaciones.
- Ver datos, escuchar notas de audio, agregar notas escritas.
- Exportar a un software de terceros.
- Puede cambiar el nombre de las ubicaciones en Halo Manager.
- Puede exportar espectros / datos y reorganizar.



**Figura 6.** Halo Manager, Reflex Halo.



## 2.6 MINERALES QUE IDENTIFICA EL TERRASPEC HALO

### 2.6.1 Grupo de Alunita

Grupo conformado por la K-alunita. Un fluido con un pH superior a 2, forma alunita en un amplio rango de temperatura (Stoffregen, 1987).

### 2.6.2 Pirofilita

La Pirofilita se forma con un pH moderadamente ácido (aprox. pH 4), a profundidades mayores y a mayor temperatura que la caolinita y dickita (Sanchez Soto & Perez Rodriguez, 1998).

### 2.6.3 Grupo de Caolín

Grupo conformado por nacrita, dickita, caolinita PX, caolinita WX, y halloysita, estos minerales derivan de la acción de fluidos de pH ácido, aproximadamente 4, y coexisten con alunita en un rango de pH transicional (pH 3-4) (Hemley J. , Some mineralogical equilibria in the system  $K_2O - Al_2O_3 - SiO_2 - H_2O$ ., 1959).

La halloysita se presenta principalmente como producto de alteración supérgena, aunque hay evidencias que se forma en condiciones hidrotermales de muy baja temperatura, la caolinita se forma a profundidades someras en condiciones de baja Temperatura (<150-200°C), y en un rango intermedio entre la caolinita y pirofilita se forma la dickita (Hemley, Montoya, Marinenko, & Luce, 1980).

La transición caolinita → dickita → nacrita, a temperaturas crecientes, ha sido bien documentada en depósitos hidrotermales, utilizando datos isotópicos (Katsumi, 1989). La arcilla caolinita PX (PX=poco cristalino) tiene un origen



supérgeno y los resultados de caolinita WX (WX= bien cristalino) tienen un origen hidrotermal (Hemley, Montoya, Marinenko, & Luce, 1980).

#### **2.6.4 Grupo de Illita**

Grupo conformado por K-illita, Mg-illita, illita/esmectita, Iron esmectita, NH<sub>3</sub>\_esmectita. Estos minerales dominan en fluidos con un pH 4-6 y coexisten con el grupo del caolín en pH del fluido 4-5, dependiendo de la temperatura y salinidad del fluido. A bajas temperaturas se presenta esmectita (<100-150° C), illita-esmectita interlaminada a alrededor de 100-200°C, Illita aproximadamente 200-250°C (Hemley, Montoya, Marinenko, & Luce, 1980).

#### **2.6.5 Grupo de Micas**

Grupo conformado por los filosilicatos de moscovita, paragonita, fengita, lepidolita, flogopita. La temperatura de formación de moscovita >250°C. La sericita es una moscovita de grano fino que puede contener alguna illita y es transicional entre la illita y moscovita bien cristalizada. La moscovita es un mineral característico de las pegmatitas, y pegmatitas graníticas; también es un constituyente, característico, de los esquistos de albita-clorita-moscovita. El filosilicato flogopita es un producto del metamorfismo en las calizas magnésicas o mármoles dolomíticos y rocas ultrabásicas. La lepidolita se allá en las vetas de pegmatitas, generalmente asociado a minerales de litio (Cornelius & Hurlbut, 1997).

Al aumentar la temperatura hay un cambio progresivo desde una mica desordenada a una moscovita bien cristalizada. En algunos sistemas se presentan paragonita esto cuando la plagioclasa es la albita. En ambientes ricos en Na la paragonita puede aparecer como la mica principalmente (Cornelius & Hurlbut,



1997).

### **2.6.6 Grupo de Montmorillonita**

Este grupo de arcillas está conformado por la montmorillonita, beidelita y nontronita, la característica más destacada de los miembros de este grupo es la capacidad de absorber moléculas de agua, produciendo una marcada dilatación en su estructura (Cornelius & Hurlbut, 1997). En zonas de intrusivos en una alteración supérgena se forman arcillas de montmorillonita muy deleznable asociadas a limonitas (goetita y hematita). nontronita también llamado ferry montmorillonita se forma en zonas exógenas. Debido a las características de estos minerales, hacen que baje el porcentaje de recuperación por ello es necesario reconocer el dominio de este grupo.

### **2.6.7 Grupo de Óxidos y Jarosita**

Grupo conformado por los sulfatos jarosita y natrojarosita; y por los óxidos goetita y hematita. La goetita se forma rápidamente por desintegración de minerales ferromagnesianos. La hematita es un mineral importante en las brechas y la actividad hidrotermal superficial. En un ambiente epitermal, la hematita puede ser importante en el cuarzo vuggy en los sistemas de alta sulfuración y también en las venas epitermales de baja sulfuración de metales básicos (Cornelius & Hurlbut, 1997). Jarosita es común como mineral supérgeno, pero también se presenta en ambientes ácidos someros en sistemas geotérmicos activos, generalmente se asocia a la hematita y alunita; El sulfato natrojarosita se encuentra en sistemas de alteración porfiriticos, hidrotermal y epitermal.

### **2.6.8 Grupo de Zeolitas**

El grupo está conformado por las zeolitas laumontita, heulandita,



chabazita, gemelinita-Na, tompsonita-Ca, filipsita-Ca, natrolita, mesolita. El proceso de diagénesis de las zeolitas corresponde con la cristalización de un mineral por alteración de los componentes preexistentes del sedimento mediante condiciones de baja temperatura (menos de 200°C) (Gottardi, 1989).

Los yacimientos de zeolitas de génesis hidrotermal se distinguen de los diagenéticos por la variación de dos parámetros básicos: temperatura y fluido mineralizante enriquecido en iones alcalinos. Se conocen tres ambientes geológicos en los que la formación de zeolitas se halla claramente condicionada (Perez, y otros, 1997).

- Zeolitas en estadios hidrotermales tardíos de rocas plutónicas y pegmatíticas: phillipsita, chabacita, mesolita, natrolita, thomsonita.
- Zeolitas en campos geotérmicos: Se destacan zeolitas cálcicas, como laumontita, chabacita y thomsonita.
- Zeolitas en coladas volcánicas continentales: Aparece una variada paragénesis de zeolitas sódicas, tales como la chabacita.

#### **2.6.9 Grupo de Carbonatos**

Grupo conformado por los siguientes carbonatos siderita, ankerita, smithsonita, rodocrocita, dolomita, aragonita, magnesita, calcita. Estos minerales se encuentran en un amplio rango de pH y de temperatura y se asocian con caolín, illita, clorita, y fases calco-silicatadas. Una zonación de minerales carbonatados que se correlaciona con el aumento de pH se encuentra en muchos sistemas hidrotermales (Perez, y otros, 1997). Carbonatos de Fe-Mn como son la siderita y rodocrosita coexisten con caolín y arcillas del grupo de la illita, mientras que carbonatos de Ca-Mn-Mg-Fe mezclados con los minerales de rodocrosita,



ankerita y dolomita coexisten con arcillas del grupo de la illita y cloríticas, y los carbonatos de Ca-Mg como; calcita y dolomita coexisten con clorita-minerales calco-silicatados.

#### **2.6.10 Minerales verdes**

Grupo conformado por Fe clorita, Fe Mg clorita, epidota, clinzoisita y zoisita. En condiciones de pH ácidas a neutras, los minerales clorita - carbonatos son dominantes, coexistiendo con el grupo de la illita en ambientes cuyo pH es 5-6. La epidota se presenta como granos incipientes pobremente cristalinos alrededor de una temperatura promedio de 180-200°C y como fases bien cristalizadas a temperaturas mayores (>220-250°C) (Perez, y otros, 1997).

### **2.7 INSERCIÓN DE CONTROL DE CALIDAD**

#### **2.7.1 Precisión**

Es la repetición de acciones en condiciones tan cercanas a las originales como sea posible. No más de 10% de los pares de muestras debe quedar fuera del campo delimitado por la línea  $y=x$  y la hipérbola  $y^2=m^2x^2+b^2$ , con pendiente  $m$  de la asíntota calculada para  $b=0$  evaluados para límites de error relativo según el tipo de duplicados, consultora (Armando, 2013).

#### **2.7.2 Contaminación**

Es la medición del efecto de la operación sobre un material probablemente estéril. Los valores de los blancos no deben estar directamente influenciados por las leyes de las muestras procedentes, los valores de los blancos no deben exceder en más de tres o cinco veces blancos finos o grueso respectivamente. Los límites de detección del elemento, la tasa de contaminación no debe superar el 2%, consultora (Armando, 2013).



### 2.7.3 Exactitud

Es la comparación de acciones originales con otras realizadas en condiciones tan ideales como sea posible. Según consultora (Armando, 2013). El sesgo resultante del análisis es el siguiente:

- a) Bueno, si “sesgo”  $< 5\%$
- b) Cuestionable, si “sesgo” entre  $5\%$  y  $10\%$
- c) Inaceptable, si “sesgo”  $> 10\%$



## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación será cuantitativo de tipo descriptivo. La primera, porque los resultados obtenidos se cuantifica las concentraciones de elementos de interés Ag-Pb-Zn, que serán utilizadas para la estimación de recursos. La segunda, porque se describe las estructuras, litología, mineralización y las alteraciones además serán analizados, registrados e interpretados. Según el enfoque cuantitativo, (Sampieri, Fenandez Collado, & Baptista Lucio, 2014), menciona que en los datos cuantitativos implica elaborar un plan detallado de procedimientos que nos conduzcan a reunir datos con un propósito específico.

Esto consistirá en las siguientes etapas:

##### 3.1.1 Trabajo preliminar

La recopilación de data histórica es la primera etapa de investigación con las revisiones bibliográficas, datos litológicos, geoquímicos, estructurales, mapas, imágenes satelitales, informes entre otros. Cabe mencionar que el proyecto ha estado en proceso de explotación por tal motivo existe información transcendental.

##### 3.1.2 Trabajo de campo

Son las que aplicamos directamente en campo para conocer las características geológicas del yacimiento dentro de ellas tenemos:

##### 3.1.2.1 Cartografiado superficial

El cartografiado superficial, consistió en el levantamiento de

información de los bancos del Proyecto Cola Calle Noruega Bajo. Este levantamiento geológico se realizó a una escala 1/500, considerando cuatro capas de mapeo; litología, estructural, mineralización y alteración (Gallardo M., Acurio, & Cuellar, 2019) (ver figura 7).



*Figura 7.* Área de mapeo geológico, zona sur del tajo Raul Rojas.

### **3.1.2.2 Análisis de muestras superficiales y sondajes diamantinos**

Se tomo muestras con espectrómetro Terraspec Halo de 1200 muestras en campo de forma sistemática en líneas sureste, con una separación de 2 a 2.5 metros aproximadamente y 1000 muestras en DDH con una separación variable de acuerdo con cambios litológicos y mineralógicos. Cabe mencionar que, las muestras deben ser analizadas totalmente secas, esto para evitar resultados erróneos al momento de lecturar las muestras con el equipo Terraspec Halo (Cutipa, 2020) (ver

figura 8).



**Figura 8.** Análisis de muestras de testigos de perforación diamantina y muestras de superficie con equipo Terraspec Halo.

### 3.1.2.3 Relogeo geológico de sondajes diamantinos

Se procedió a realizar un re-logeo de aproximadamente 20 sondajes históricos los cuales se optaron como prioridades porque interceptan en zonas mineralizadas y/o zonas de interés. El relogeo es importante para validar y verifica la información de la base de datos.

La selección de los sondajes fue de tal forma que puedan cubrir con los requerimientos tanto de verificación geoquímica, así como también caracterización litológica. El primero (geoquímica) está en función de las zonas envolventes  $\geq 3.5\%$  de Zn y posteriormente se amplió la zona con la envolvente de  $\geq 1.5\%$  de Zn. Según, (Gallardo M., Acurio, & Cuellar, 2019), el segundo criterio es el aspecto litológico, que consistió en redefinir las litologías anteriores con la finalidad de estructurar un modelo litológico actualizado. (ver figura 9).



**Figura 9.** Logueo geológico de testigos de perforación diamantina.

#### **3.1.2.4 Remuestreo de sondajes**

El remuestreo se realizó, respetando cambios litológicos, mineralógicos y estructurales y de alteración, con anchos que no superen los 2 metros, a diferencia de los muestreos anteriores cuyos anchos llegaron hasta los 6 metros, cabe mencionar que se restringió en su mayoría a las intersecciones mineralizadas, también se ha realizado remuestreo haciendo coincidir con los parámetros de distancia antiguos, para ver su variabilidad exacta en cuanto se realice su comparación de leyes.

Los métodos de análisis usados son el método de ICP (Induced Couple Plasma), los elementos analizados son Pb, Zn, Fe, Mn, Cu, Ag, Bi, As, Sb, así mismo el uso de método Fire Assay para determinar los valores de Au (Oro) que no han sido ensayados anteriormente (ver figura 10).



**Figura 10.** Remuestreo de sondajes históricos del Proyecto CCNB.

### 3.1.2.5 Muestreo superficial

Se recolecto muestras sistemáticas y selectivas para análisis geoquímico, considerando que el muestreo de estructuras mineralizadas debe ser de forma perpendicular y en cambios litológicos de manera sistemática cada 2 metros por 0.50 metros aproximadamente (Salinas, 2019) (ver figura 11).



**Figura 11.** Muestreo superficial de canales.

### 3.1.3 Trabajo de laboratorio

El muestreo geoquímico obtenidos en campo se enviaron a laboratorio interno de la empresa los cuales se analizaron por Ag, Cu, As, Au, Sb, Zn y Pb. Estos estudios nos permitirán conocer el contenido metálico de las muestras analizadas por el método de Absorción atómica AAS. También se tomaron un total de 200 muestras en el cuerpo de Cola Calle Noruega Bajo y 1300 de sondajes diamantinos históricos. Asimismo, se considerarán muestras petrográficas y minerográficas para una mejor interpretación y descripción de resultados de la zona de interés (ver figura 12).

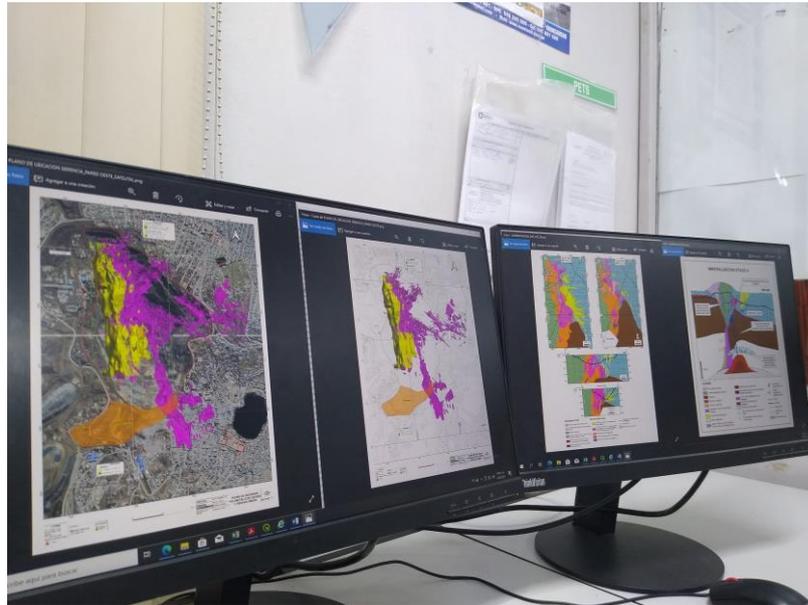


*Figura 12.* Lote de muestras superficiales enviados a laboratorio interno.

### 3.1.4 Trabajo de gabinete

Con los datos obtenidos en campo y laboratorio se procedió a realizar planos interpretativos denominados factual y a compilar la información antigua existente a partir de ahí, se ha depurado solo la información necesaria tanto para litología, alteración, estructura, mineralización y alteraciones, así como se le ha asignado colores RGB para uniformizar los registros, de toda esta información de

mapeos (ver figura 13).



**Figura 13.** Digitalización de planos factual e interpretativos 2D y 3D.

#### **3.1.4.1 Verificación de las hojas de logeo**

En esta primera etapa se pudo apreciar la variabilidad que existían entre las hojas de logeo, así como, por ejemplo: diferentes nomenclaturas, idiomas, unidades de medida, interpretaciones, etc. Esto debido a que a lo largo del tiempo este yacimiento ha pasado por diferentes dueños, específicamente cuatro empresas (Cerro de Pasco Corporation, Centromin Perú S.A., Minera Paragsha S.A. y Volcan CIA Minera S.A.A), (ver figura 14). Sin contar la cantidad de profesionales geólogos participes de la historia de la Unidad Minera, por tal motivo fue necesario realizar una revisión y verificación entre los datos de hojas de logeo versus la base de datos central.

**Figura 14.** Formatos de logueos de las diferentes empresas.

### 3.1.4.2 Estructuras para la elaboración de Shapefiles

Se trata de un formato vectorial que guarda la localización de elementos geográficos y atributos a ellos asociados, pero no es capaz de almacenar relaciones topológicas. Estos elementos geográficos se pueden representar a partir de una capa de tipo: polígono (área), línea y punto.



Un Shapefile se compone de varios archivos informáticos, sin los cuales no podríamos visualizarlo en un software GIS, siendo tres el número imprescindible:

- shp: almacena las entidades geométricas de los objetos.
- .shx: almacena el índice de los elementos geométricos.
- .dbf: tabla de base donde se almacenan los atributos de los elementos geométricos.

Por otro lado, opcionalmente, un Shapefile puede estar compuesto por otros archivos que lo hacen más completo para la explotación de la información, fundamentalmente son:

- .prj: almacena la información relativa al Sistema de Coordenadas.
- .sbn y .sbx: almacena el índice espacial de las entidades.
- .shp. xml: almacena los metadatos de la capa.

### 3.1.4.3 Digitalización

Toda la información generada del cartografiado se registra digitalmente utilizando el software ArcGis 10.3, así como también la información histórica necesaria se migro al software AutoCAD y exportado a ArcGis.

Para el registro de la información y con la finalidad de contar con una base de datos, los atributos de los shapefiles creados están bajo el siguiente modelo.

- **Litología**

La metodología para un mapeo geológico adecuado es la observación, identificación, medición y la representación de los rasgos geológicos sobre una base topográfica. Siendo tales rasgos litológicos y estructurales, cuyas mediciones corresponden a los rumbos/buzamientos de estratos, flancos/ejes de pliegues, planos de falla, foliaciones y otros que en conjunto conforman una representación. Por tanto, se realizó modelos de registros de campos elaborado de acuerdo con el modelo y tipo de yacimiento de Cerro de Pasco.

**Tabla 4**

*Modelo de registro de campos de shapefile para Litología.*

CAMPOS PARA LITOLOGIA	SH DESCRIPCIÓN	TIPO_VALOR	LONGITUD	VALIDACIÓN
<b>CODIGO CORPORATIVO</b>	Código de registro en GDMS	Valor numérico entero	10	Numérico
<b>CODIGO LITOLOGICO</b>	Código de abreviatura de Litología	Texto	10	Texto "Mayúscula"
<b>TIPO DE ROCA</b>	Denominación de tipo de roca de acuerdo a sus características	Texto	50	Texto
<b>FORMACION</b>	Unidad litoestratigráfica de rocas caracterizados por propiedades litológicas comunes	Texto	50	Texto
<b>DETALLES</b>	Descripción adicional del mapeo	Texto	100	Texto

Fuente: (Gallardo, 2019).

- **Estructuras**

Las estructuras geológicas presentan características geométricas distintivas y otros rasgos característicos como la forma, el tamaño, sus límites, sus relaciones, su orientación y tipo de material. Por medio de las estructuras se interpreta y entiende el comportamiento de la corteza

terrestre ante los esfuerzos tectónicos. Haciendo al modelo de registro de campos de shapefile para estructuras geológicas el cual fue elaborado de acuerdo con el tipo y modelo de yacimiento de Cerro de Pasco.

**Tabla 5**

*Modelo de registro de campos de shapefile para estructuras.*

CAMPOS SHP PARA ESTRUCTURAS	DESCRIPCION	TIPO_VALOR	LONGITUD	VALIDACION
<b>CODIGO</b>	Código Numérico "DISCOVER CODE"	Numérico Entero	3	[0-999]
<b>TIPO</b>	Estructura, Falla, Fracturas, Estrato, Contacto	texto	50	Texto
<b>AZIMUTH</b>	Dirección que sigue la línea de intersección formada entre el plano horizontal y el plano del estrato con respecto al norte magnético o geográfico.	Numérico Entero	3	[0-360]
<b>DIP</b>	Línea de máxima pendiente de un estrato, perpendicular al rumbo o dirección.	Numérico Entero	2	[0-90]
<b>DIP_DIRE</b>	Dip dirección	texto	3	[0-360]
<b>MIN1</b>	Mineral de mayor predominación	texto	30	Texto
<b>MIN2</b>	Mineral de mediana predominación	texto	30	Texto
<b>MIN3</b>	Mineral de baja predominación	texto	30	Texto
<b>BOX</b>	Bloque denominado Piso y Techo.	texto	5	Piso o Techo
<b>RELLENO</b>	Sulfuros-Óxidos-Arcillas-gouge-etc.	texto	100	Texto usar "-" "/" " "
<b>DETALLES</b>	Descripción adicional del mapeo	texto	100	Texto
<b>CATEGORIA RELLENO</b>	Falla Veta-Veta	Double	10	Texto
<b>X</b>	Este	Numero decimal	10	02 decimales
<b>Y</b>	Norte	Numero decimal	10	02 decimales

Fuente: (Gallardo, 2019).

- **Mineralización**

La mineralización es importante económicamente, asimismo, identificar la ocurrencia de mineralización para una mejor interpretación geológica. Haciendo referencia al modelo de campos de shapefile para mineralización, este cuadro fue elaborado de acuerdo con el modelo y tipo de yacimiento de Cerro de Pasco.

**Tabla 6**  
*Modelo de registro de campos de shapefile para mineralización.*

CAMPOS SHP PARA MINERALIZACION	DESCRIPCION	TIPO_VALOR	LONGITUD	VALIDACION
<b>TIPO</b>	Estructura que corresponde	Texto	50	Texto
<b>CODIGO CORPORATIVO</b>	Código de registro en GDMS	Valor numérico entero	10	Numérico
<b>CODE_MIN</b>	Código de abreviatura de Ocurrencia	Texto	10	Texto "Mayúscula"
<b>OCCURRENCIA</b>	De qué manera se muestra la Mineralización	Texto	50	Usar "-"
<b>MIN1</b>	Mineral de mayor predominación	Texto	30	Texto
<b>MIN2</b>	Mineral de mediana predominación	Texto	30	Texto
<b>MIN3</b>	Mineral de baja predominación	Texto	30	Texto
<b>DETALLE</b>	Descripción adicional del mapeo	Texto	100	Texto
<b>BOX</b>	Descripción contacto de estructura (piso-techo)	Texto	50	Texto
<b>NAME_CORPORATE</b>	1,2,3,4,5...	Texto	50	Texto

Fuente: (Gallardo, 2019).

- **Alteración**

La alteración hidrotermal es un proceso muy complejo que involucra cambios mineralógicos, químicos y texturales, resultado de la interacción de fluidos de aguas calientes con las rocas circundantes, siendo más importante la permeabilidad, temperatura y composición de los fluidos es por ello por lo que se identificó campos para cada Alteración. La tabla 5, hace referencia al modelo de registro de campos de shapefile para la alteración del yacimiento de Cerro de Pasco, el cual fue elaborado de acuerdo con el modelo y tipo de yacimiento.

**Tabla 7**  
*Modelo de registro de campos de shp para alteración.*

CAMPOS SHP				
PARA	DESCRIPCION	TIPO_VALOR	LONGITUD	VALIDACION
ALTERACION				
<b>CODIGO</b>	Código Tablas	texto	6	Texto
<b>TIPO_GEN</b>	Alteracion_Gen	texto	50	Texto
<b>TIPO_1</b>	Alteración	texto	3	Texto
<b>OCURRENCIA</b>	Bandeado, Diseminado, Fracturas, Fragmentos, Masivo, Manchado, Matriz, Oquedades, Parches, Pervasivo, Reemplazamiento, Selectivo, Venas/Venillas.	texto	2	Texto
<b>ALT1</b>	Alteración de mayor predominación	texto	50	Texto
<b>ALT2</b>	Alteración de mediana predominación	texto	50	Texto
<b>ALT3</b>	Alteración de baja predominación	texto	50	Texto
<b>INTEN_1</b>	Muy débil, Débil, Moderado, Fuerte, Muy fuerte	texto	50	Texto
<b>INTEN_2</b>	Muy débil, Débil, Moderado, Fuerte, Muy fuerte	texto	50	Texto
<b>INTEN_3</b>	Muy débil, Débil, Moderado, Fuerte, Muy fuerte	texto	50	Texto
<b>DETALLE</b>	Descripción adicional del mapeo	texto	100	Texto

Fuente: (Gallardo, 2019).

#### 3.1.4.4 Registro de Terraspec Halo

Son un conjunto de resultados obtenidos a partir de Terraspec Halo Mineral Identifier procesados mediante estudio de análisis espectral. El geólogo supervisor es el encargado de seleccionar de manera estratégica y planeada los puntos para realizar estudio de análisis mineral para identificar minerales de alteración. La cabecera de registro está establecida para la importación a la base de datos de Terraspec Halo, la tabla 8, hace referencia al modelo de registro de datos de Terraspec.

**Tabla 8**  
*Modelo de registro Terraspec Halo.*

NOMBRE	DESCRIPCIÓN	TIPO DE VALIDACIÓN	LONGITUD	VALIDACIÓN
<b>Codigo</b>	Código de muestra	Char	53	[Aa-zZ], #, -, _
<b>Área</b>	Zona de trabajo	varchar	[3-10]	Texto
<b>Fecha</b>	Fecha	datetime	16	Dd/mm/yyyy 00:00
<b>GPS Latitude</b>	Coordenadas geográficas	numeric	13	[0-360°]
<b>GPS Longitude</b>	Coordenadas geográficas	numeric	13	[0-360°]
<b>GPS Elevation</b>	Coordenadas geográficas	numeric	6	[4000-4400] m.s.n.m.
<b>E_LOCAL</b>	Este	numeric	7	[8270-10020]
<b>N_LOCAL</b>	Norte	numeric	7	[8260-10910]
<b>Z_LOCAL</b>	Elevación	numeric	7	[4000-4400] m.s.n.m.
<b>Nombre mineral 1</b>	Resultado del primer mineral identificado	varchar	[0-15]	Texto
<b>Star Rating 1</b>	Prioridad del primer mineral	numeric	1	[1-3]
<b>Nombre mineral 2</b>	Resultado del segundo mineral identificado	varchar	[0-15]	Texto
<b>Star Rating 2</b>	Prioridad del segundo mineral	numeric	1	[1-3]
<b>Nombre mineral 3</b>	Resultado del tercer mineral identificado	varchar	[0-15]	Texto
<b>Star Rating 3</b>	Prioridad del tercer mineral	numeric	1	[1-3]
<b>Nombre mineral 4</b>	Resultado del cuarto mineral identificado	varchar	[0-15]	Texto
<b>Star Rating 4</b>	Prioridad del cuarto mineral	numeric	1	[1-3]
<b>Nombre mineral 5</b>	Resultado del quinto mineral identificado	varchar	[0-15]	Texto
<b>Star Rating 5</b>	Prioridad del quinto mineral	numeric	1	[1-3]
<b>Nombre mineral 6</b>	Resultado del sexto mineral identificado	varchar	[0-15]	Texto
<b>Star Rating 6</b>	Prioridad del sexto mineral	numeric	1	[1-3]
<b>Nombre mineral 7</b>	Resultado del séptimo mineral identificado	varchar	[0-15]	Texto
<b>Star Rating 7</b>	Prioridad del séptimo mineral	numeric	1	[1-3]
<b>AlFeMg</b>	escalares	numeric	7	[2160-2370]
<b>AIOH</b>	escalares	numeric	7	[2180-2230]
<b>CSM</b>	escalares	numeric	7	[1950-2350]
<b>Fe3i</b>	escalares	numeric	7	[500-742]
<b>Fe3t</b>	escalares	numeric	7	[750-1000]
<b>FeOH</b>	escalares	numeric	7	[2240-2310]
<b>ISM</b>	escalares	numeric	7	[1950-2200]
<b>Kx</b>	escalares	numeric	7	[2160-2177]
<b>MgOH</b>	escalares	numeric	7	[2310-2390]
<b>CARBONATOS</b>	Grupo de los carbonatos	varchar	[7-13]	Texto
<b>CAOLINITAS</b>	Grupo de la caolinita	varchar	[7-11]	Texto
<b>ALUNITAS</b>	Grupo de la alunita	Char	9	Texto
<b>PIROFILITAS</b>	Grupo de la pirofilita	Char	12	Texto
<b>ILLITAS</b>	Grupo de la illita	varchar	[8-15]	Texto
<b>MICAS</b>	Grupo de las micas	varchar	[8-10]	Texto
<b>ARCILLAS</b>	Grupo de las arcillas	varchar	[8-13]	Texto
<b>MONTMORILLONIT A</b>	Grupo de la montmorillonita	varchar	[10-15]	Texto
<b>ZEOLITAS</b>	Grupo de la Zeolita	varchar	[8-14]	Texto
<b>OXIDOS JAROSITA</b>	Grupo de los óxidos	varchar	[8-13]	Texto
<b>ANFIBOLITA</b>	Grupo de las anfibolitas	varchar	[10-11]	Texto
<b>MINERALES VERDES</b>	Grupo de los minerales verdes	varchar	[7-12]	Texto

Fuente: (Gallardo, 2019).

### 3.2 TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE DATOS

El halo tiene como fin ser utilizado con muestras secas sólidas y pulverizadas. Las



muestras no deben contener residuos orgánicos, como musgo, algas o líquenes, ni deben escanearse a través de bolsas de plástico. Las muestras húmedas no se predicen correctamente (COMPANY, 2015).

#### Procedimiento de análisis de muestras con espectrómetro

- Crear una carpeta de trabajo, en el software HaloManager, con el nombre CP\_SUP.
- Sincronizar el equipo Terraspec Halo con la carpeta creada, para el almacenamiento de resultados, mediante el software HaloManager.
- Calibrar el equipo Terraspec Halo haciendo uso del Espectralon.
- Tomar datos con Terraspec Halo, teniendo en cuenta los parámetros de litología, estructural, mineralización y alteración.
- Codificar la muestra tomada en el punto exacto de la toma de muestra.
- Coordinar y verificar el levantamiento topográfico de los puntos de muestreo.
- Descargar los resultados almacenados en el equipo Terraspec, realizando la sincronización con el software Halo Manager.
- Con la ayuda de una hoja Excel, organizar los resultados obtenidos.

En el Halo Manager, los resultados incluyen hasta siete minerales detectados:

#### **3.2.1 Tres estrellas**

Nivel de fiabilidad alto de que la muestra contiene el mineral.

#### **3.2.2 Dos estrellas**

Nivel de fiabilidad moderado de que la muestra contiene el mineral.

### 3.2.3 Una estrella

Nivel de fiabilidad bajo de que la muestra contiene el mineral.



*Figura 15.* Pantalla de resultados de muestra y escalares.

### 3.2.4 Instrumento de colección de datos y uso de funda

El instrumento incluye una funda para usar cuando recolecte datos de muestra. La funda está hecha para ser utilizada con la mano derecha. También puede quitarla de la correa para la cintura y sujetarla a una mochila (ver figura 16).



Elemento	Nombre	Descripción
1	Funda	Funda para su comodidad en la recolección de datos de muestra.
2	Bolsa de referencia blanca Spectralon	Guarda el disco de referencia blanca en la bolsa. (Se muestra cerrada y abierta en las dos fotos).
3	Correa para la cintura	Asegura la funda para su uso en el terreno.

**Figura 16.** Partes de la funda del equipo Terraspec Halo.

### 3.2.5 Visualización de los resultados

Después de recolectar un grupo de muestras, puede ver los resultados en el instrumento.

- Encender el Halo.
- En el menú principal, seleccionar ubicaciones. Aparecerá la pantalla Ubicaciones con una lista de las ubicaciones configuradas en el instrumento.
- Seleccione la muestra que desee ver, se muestran los datos de esa muestra. Los iconos de la derecha del nombre de la muestra indican la configuración de la ubicación utilizadas en la recolección de la muestra.

## CAPÍTULO IV

### CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INVESTIGACIÓN

#### 4.1 UBICACIÓN

El Proyecto Cola Calle Noruega Bajo, está localizado en el Perú Central, al NE de la ciudad de Lima, en las estribaciones occidentales de la Cordillera Central de los Andes Peruanos, en los distritos de Chaupimarca y Yanacancha, Provincia de Pasco, Región Daniel Alcides Carrión, a una altitud media de 4334 msnm. El cerro con mayor elevación se denomina Rica Serreña, ubicado al norte de la zona de estudio.

**Tabla 9**

*Límites de ubicación del Proyecto Cola Calle Noruega Bajo.*

Límites UTM locales			
Punto	X	Y	Z
1	9566.25	9540.13	4200
2	9566.25	8802.03	4200
3	9176.39	8802.03	4200
4	9176.39	9540.13	4200

(Fuente: Área Geología Exploraciones Mina).

#### 4.2 ACCESIBILIDAD

Al área de estudio se puede acceder por vía terrestre, el primer tramo por la carretera central, Lima – Oroya – Cerro de Pasco con una duración de 8 a 9 horas, el segundo por vía férrea, la Oroya – Cerro de Pasco con una duración de 30 minutos y carretera afirmada, Lima – Canta – Cerro de Pasco con una duración de 5 a 6 horas como especifica en la siguiente tabla:

**Tabla 10**

*Accesibilidad al área del Proyecto.*

ACCESIBILIDAD	RUTA	DISTANCIA Km	TIEMPO
Carretera central	Lima - Oroya - Cerro de Pasco	315 KM	8h - 9h
Via ferrea	La Oroya - Cerro de Pasco	129KM	30 min
Carretera afirmada	Lima - Canta - Cerro de Pasco	410KM	12h - 15h

(Fuente: Propia)



### 4.3 GEOGRAFÍA

El proyecto CCNB se ubica exactamente en la falda del cerro Uliachin y al pie de la laguna Patarcocha, en el piso altitudinal Puna, donde está rodeada de montañas y lagunas de origen volcánicas. Se encuentra aproximadamente a 31 kilómetros al Noreste del Santuario Nacional Bosque de Rocas de Huayllay, famoso por las misteriosas formas desarrolladas en tobas volcánicas por los agentes (agua y viento) de la geodinámica externa. El tajo Raúl Rojas, enmarca el proyecto CCNB cuya extensión está rodeada por la ciudad de Cerro Pasco.

Topográficamente la zona de estudio está entre los bancos 4270 y 4300, los niveles entre banco y banco tienen 7 a 10 metros, cuyos ángulos de talud fluctúan entre los 37° y el ancho de rampa es de 8 a 10 metros aproximadamente.

### 4.4 CLIMA

El yacimiento se caracteriza por un clima típico de serranía con dos estaciones bien marcadas. Una lluviosa entre los meses de noviembre a marzo, y otra seca con temperaturas menores a 0°C entre los meses de abril a octubre. Los meses lluviosos presentan son intensos, estos fenómenos climáticos afectan el acarreo de mineral y trabajo de exploración. Las granizadas pueden ocasionar deslizamientos en los taludes con material de relleno y material suelto, dentro del tajo. Los trabajos con Terraspec Halo en épocas de lluvia, se tienen que hacer con cuidado pues los datos obtenidos son erróneos, para evitar eso las muestras se trasladan al gabinete de geología.

Es importante tener en cuenta las estaciones climatológicas no lluviosas, para obtener muestras representativas al momento el equipo Terraspec Halo.

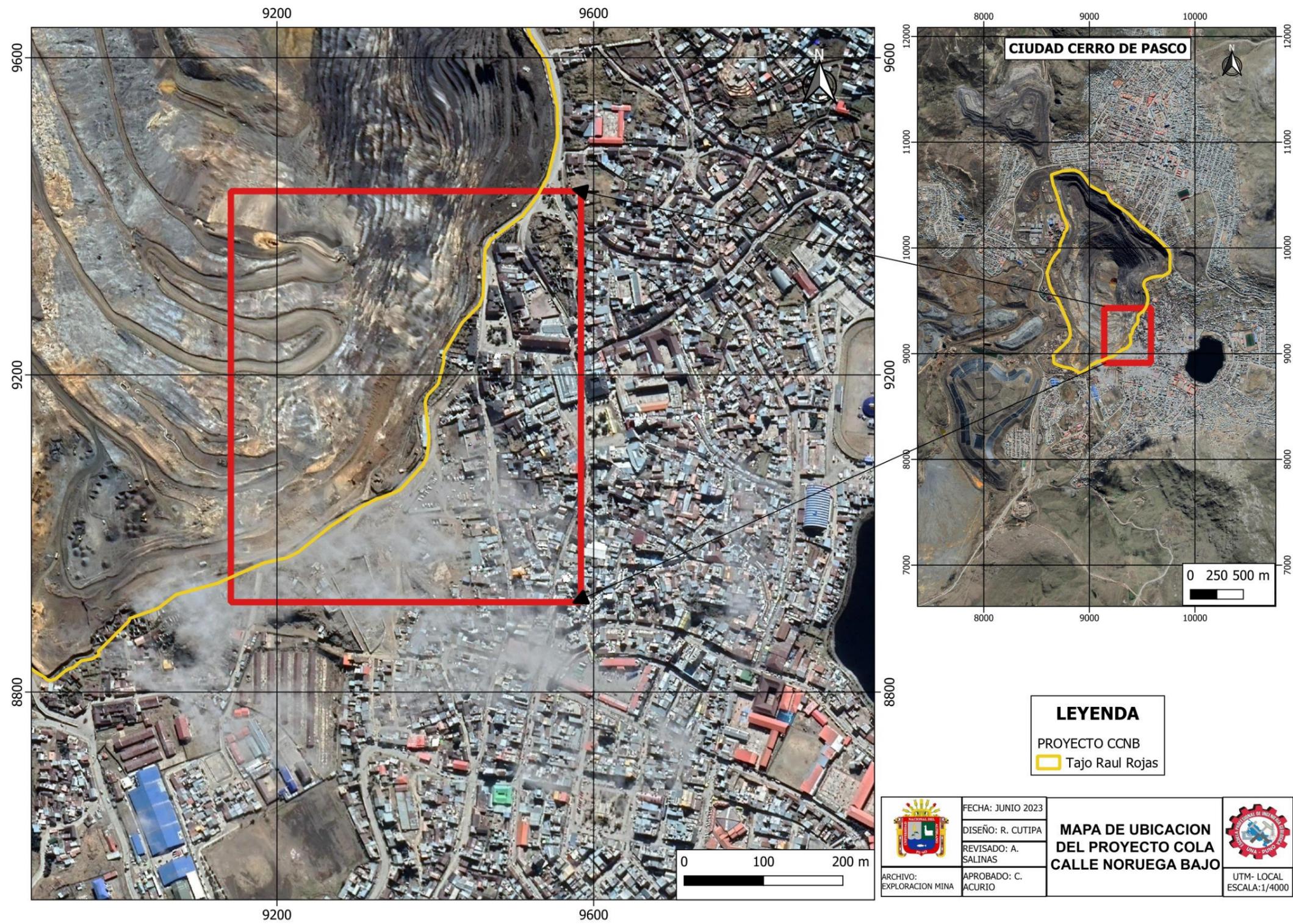


Figura 17. Mapa de ubicación del Proyecto Cola Calle Noruega Bajo



## 4.5 GEOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO

### 4.5.1 Estratigrafía

Las unidades estratigráficas cartografiadas fueron definidas mediante observaciones de campo y definidos mediante mapeos geológicos cada contacto litológico con toma de datos estructurales (falla – contactos), donde se ha determinado la variabilidad litológica dentro de cada unidad tal es el caso del grupo Pucará), aquí se tomaron en cuenta sus espesores y relaciones de contactos. Un punto importante es la existencia de un dominio estratigráfico controlado por la falla regional Cerro de Pasco, la cual ha sido denominada como «Falla Longitudinal» pues la actividad de esta ha servido como control para la sedimentación de las diferentes secuencias desde el emplazamiento del Grupo Mitú (Pérmico superior), hasta la deposición de las formaciones Pocobamba y Calera (Eoceno).

En la columna estratigrafía especificamos únicamente las unidades presentes en el área de estudio del Proyecto Cola Calle Noruega Bajo, tal es el caso los grupos Excelsior; que está conformado por rocas metamórficas de cuarcitas filitas y pizarras. El Grupo Mitú; caracterizado por conformar rocas areniscas, limolitas y conglomerados y el grupo Pucará; conformado por chert, limoarcillitas, doloarenita, calcarenita, dolomías y calizas, así como también la diversa actividad ígnea; conformado por el Fragmental Lourdes y el Aglomerado Rumiallana caracterizado como una brecha polimictica con diferentes clastos de filitas, piritas, calizas, areniscas entre otros.

### COLUMNA ESTRATIGRAFICA

ERATEMA	SISTEMA	UNIDADES	LITOLOGIA	COLUMNA	DESCRIPCIÓN
CENOZOICO	CUATERNARIO		Comp Dep. Aluviales Dep. en Bofedales Dep. Fluvioglaciares		Depositos aluviales, fluviales, antropicos, bofedales y fluviglaciares.
MESOZOICO	JURASICO	Gpo. Pucará	Composición Dolomia Caliza Dol-fino Dol-media Dol-gruesa Dolomia Bitumin Calcarenita Doloarenita Limoarcillitas Chert		Caliza de grano fino, medio o grueso (mudstone a packestone), masiva y de color gris. Dolomia de grano fino (mudstone), Dolomia de grano medio (packestone). Dolomia de grano grueso (Grainstone). Dolomia de color gris oscuro debido por alto contenido organico, de grano medio-fino
	TRIASICO				Roca detritica calcarea de grano (0.0625-2 mm de diametro) (wackestone - grainstone) de color gris claro y se encuentra en horizontes intercalados dentro de las dolomias. Se denomina "Doloarenita " cuando la calcarenita esta alterada y es ubicada en zonas de mineralización. Roca detritica de grano fino (particulas del tamaño de una arcilla y limo) Compuesta por silice, color gris oscuro, dureza alta y se presenta como nodulos dentro de las dolomias y calizas
PALEOZOICO	PERMICO	Gpo. Mitú	Composición Areniscas Limonitas Conglomerado		Este grupo está constituido por areniscas rojas y conglomerados con clastos subredondeados a angulosos de naturaleza volcanica, sedimentaria y metamorfica, envueltos en una matriz de areniscas roja..
	DEVONICO	Gpo. Excelsior	Composición Cuarcitas Filitas Pizarras		Rocas mas antiguas de la región. Se compone de filitas grises, lutitas negras pizarrosas con intercalaciones de cuarcitas de grano fino.

#### VOLCANICOS - INTRUSIVOS

ERA TEMA	SISTEMA	SERIE	DESCRIPCIÓN
CENOZOICO	NEOGENO	MIOCENO	Dacita / Andesita  Textura porfirítica con feldespatos alterados, algunos ferromagnesianos con fina laminación. py diss
			Fragmental Lourdes  Brecha magmatica con clastos polimicticos sub angulosos a sub redondeados de clz-py en una matriz de cuarzo monzonita.
			Aglomerado Rumiallana  Compuesta por fragmentos polimicticos de: filitas ,intrusivos, calizas en matriz lapilica-tobacea. Py diss
			Monzonita  De textura fanerítica, con alto contenido de feldespatos, plagioclasa, y micas alteradas, con granometria medio-fino. Presenta una argilización moderada, caolinizada y contiene poca Py diss.
			Cuarzo Monzonita

Figura 18. Columna Estratigráfica Cerro de Pasco.



## 4.5.2 Litología local

### 4.5.2.1 Paleozoico Inferior – Devónico

#### a). Excelsior

Es la secuencia sedimentaria más antigua de la región, considerada como el basamento. Este grupo lo encontramos en el lado sur del tajo Raúl Rojas y al oeste de la falla longitudinal Cerro de Pasco, en donde se aprecia un alto estructural, la cual ha servido para dar la morfología de la cuenca y a su vez para la sedimentación de los grupos Mitú y Pucará. Este alto estructura, probablemente obedece a una tectónica más antigua que la Orogenia Andina, quizás Hercínica, la que se desarrolló entre finales del Devónico (hace unos 380 millones de años) y mediados del Pérmico (unos 280 millones de años).

En la mina Excelsior, ubicada al sur de la mina Cerro de Pasco, se definió como Formación Excelsior a una secuencia de lutitas negras pizarrosas con intercalaciones de areniscas cuarzosas. Litológicamente está representado por filitas, estas presentan una moderada foliación (capas <1cm), de color gris oscuras con intercalaciones de pizarras negras, con bastante contenido orgánico, no se han podido localizar fósiles dentro del área cartografiado (ver figura 19).



**Figura 19.** Vista mirando al Sur, del tajo Raul Rojas contacto discordante entre el Grupo Excelsior y el Grupo Mitú.

#### 4.5.2.2 Pérmico Superior

##### a). Grupo Mitú

A diferencia de las secuencias de flujos lávicos (volcánicos Catalina), tufos y aglomerados, que se encuentran como por ejemplo en las localidades de Yauli, Morococha y otras partes del Perú, se ha podido observar que, en el Tajo Raúl Rojas y los alrededores, el comportamiento del Grupo Mitú es diferente y está representado por un origen deposicional continental; el cual contiene secuencias detríticas de color rojo que aflora en la localidad de Mitú, próxima a Chacayán.

Litológicamente está compuesto por: areniscas rojas, limolitas rojas y verdes, conglomerados con clastos subredondeados a angulosos de naturaleza volcánica, sedimentaria y metamórfica. Estos afloramientos se aprecian al sur del tajo Raúl Rojas y al Oeste de la falla longitudinal, extendiéndose al Suroeste; algunos interceptos de esta unidad litológica se encuentran hacia el lado Norte del tajo (ver figura 20).



**Figura 20.** Vista mirando al suroeste, afloramiento del grupo Mitú.

#### 4.5.2.3 Triásico Superior – Jurásico

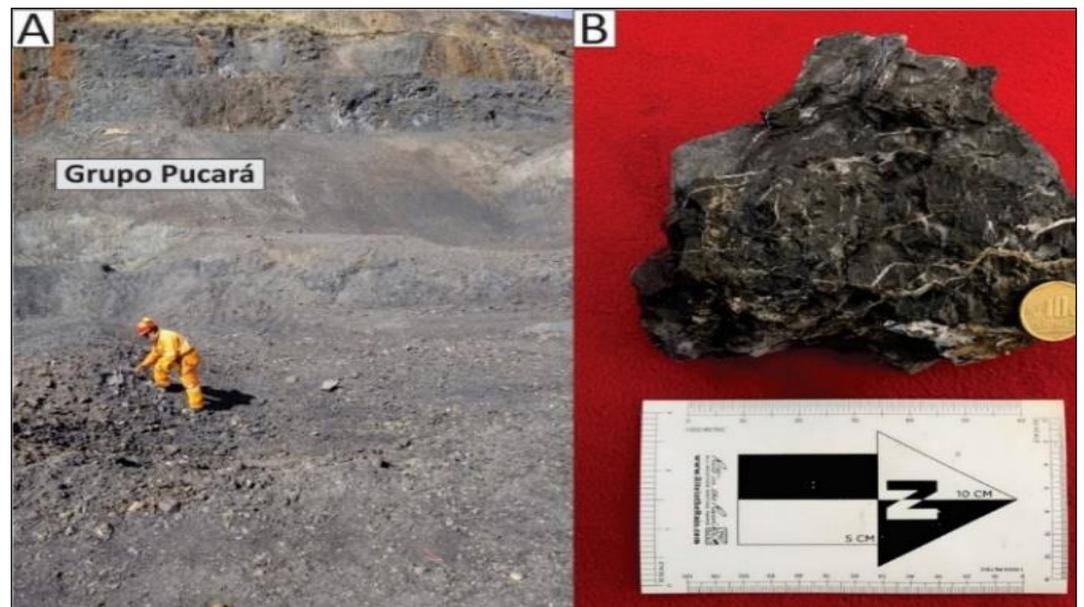
##### a). Grupo Pucará

El Grupo Pucará es una roca metalotecto más importante de las unidades estratigráficas del Perú, ya sea como metalotecto, como roca generadora de petróleo o como canteras de sustancias no metálicas. Muchos autores han realizado varios estudios sobre estas secuencias, en las cercanías del Goyllarisquizga. Esta unidad está subdividida en las formaciones Chambará, Aramachay y Condorsinga.

En el sur del tajo Raúl Rojas, se aprecia dos facies de deposición definidas, por la falla longitudinal y el alto estructural del grupo Excelsior, aquí se observan delgados paquetes de calizas someras con granulometría más finas (Wackestone) y al lado este se tienen calizas en forma de paquetes más potentes.

Se ha podido determinar una secuencia de brechas en la zona de

Bellavista, estas corresponderían a una brecha basal, al igual como se ha determinado en la localidad de Colquijirca, que correspondería a un indiviso, a partir de la cual se habría iniciado la deposición de las calizas del Pucará. Litológicamente está conformado por una intercalación de; calcarenitas grises de grano grueso (Grainstone), calizas gris azulinas de grano medio (Packstone), calizas gris oscuras a negras con bastante contenido material bituminoso, de grano fino (Wackestone) y dolomías de grano medio, cuyas capas presentan potencias que fluctúan entre 10 - 30 cm (ver figura 21).



**Figura 21.** Vista mirando al Noreste, afloramiento del grupo Pucará.

#### 4.5.2.4 Mioceno

##### a). Actividad ígnea

Las edades del emplazamiento de la diatrema ( $15.40 \pm 00.7\text{Ma}$  –  $15.16 \pm 00.3\text{Ma}$ ) de Cerro de Pasco y los diques de cuarzo monzonita fueron estudiados por Baumgartner & Regina (2007), esta estructura

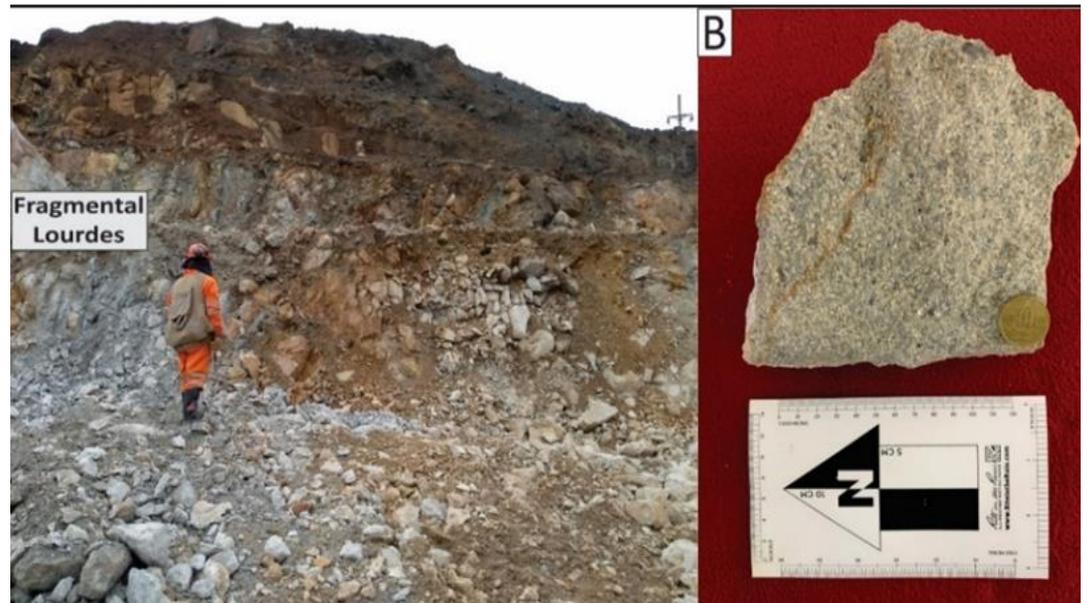


corresponde al Mioceno medio. Su emplazamiento trajo consigo múltiples eventos explosivos teniendo una extensión de 2.5 Km de diámetro en promedio.

Sin embargo, durante el cartografiado se ha podido identificar que en la zona denominada San Alberto se emplazan diques de textura fina probablemente tardíos de composición micro cuarzo monzonita, así como también una brecha polimíctica (posible freática) que tendría un foco diferente al de la diatrema Rumiallana, al igual que en la zona denominada CCNB, donde aflora también una brecha polimíctica la cual también probablemente obedezca a otro centro magmático.

**b). Fragmental Lourdes**

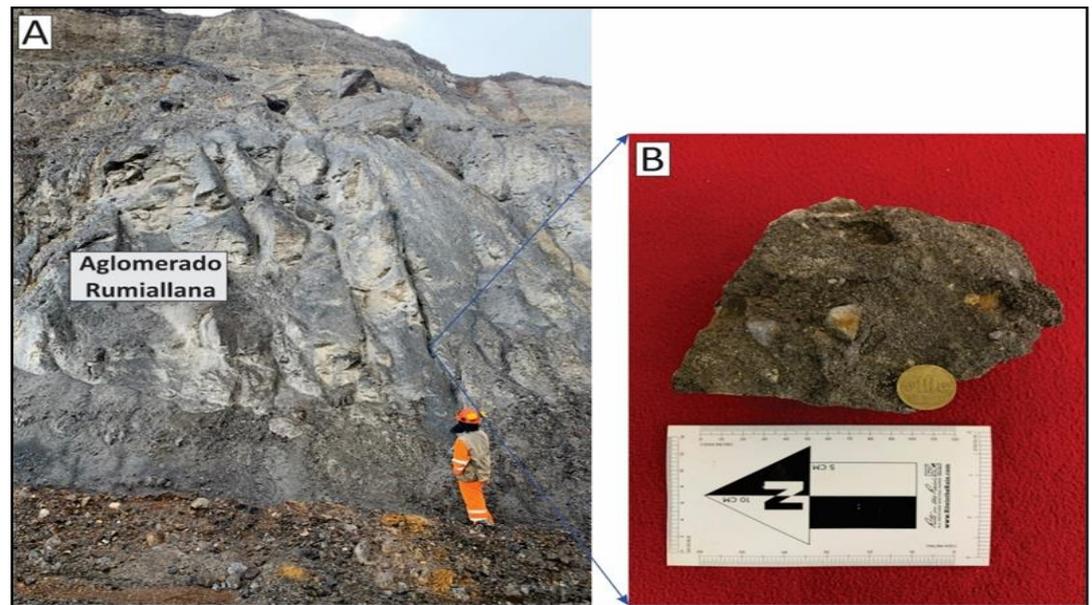
Es la secuencia más antigua del complejo volcánico de Cerro de Pasco, originalmente llamando “fase fragmentaria Lourdes”, luego se denominó brecha intrusiva. En la actualidad se renombró como Fragmental o tufo Lourdes, litológicamente es una brecha polimíctica de color gris claro a blanco con conteniendo de fragmentos silicificados del Grupo Excelsior, tiene una matriz tobácea de composición dacítica cristalolítica; a la lupa se pueden apreciar cristales rotos y una disposición de cristal sobre cristal típica de tufos (ver figura 22).



**Figura 22.** Vista mirando al Suroeste, afloramiento de Fragmental Lourdes.

**c). Aglomerado Rumiallana**

El Aglomerado Rumiallana se ubica en la mitad oriental del complejo volcánico de Cerro de Pasco. Litológicamente es una brecha polimíctica color gris oscuro, con bloques de hasta 1m de diámetro, presenta clastos angulosos y subangulosos de filitas del Grupo Excelsior, calizas, chert del grupo Pucará, intrusivos argilizados, fragmental Lourdes y brechas pre (evento multifase) con una matriz tufácea semiconsolidada. Por la dimensión del emplazamiento de esta brecha y las características que presenta tales como presencia de clastos juveniles, se catalogó como una brecha freatomagmática (diatrema) (ver figura 23).

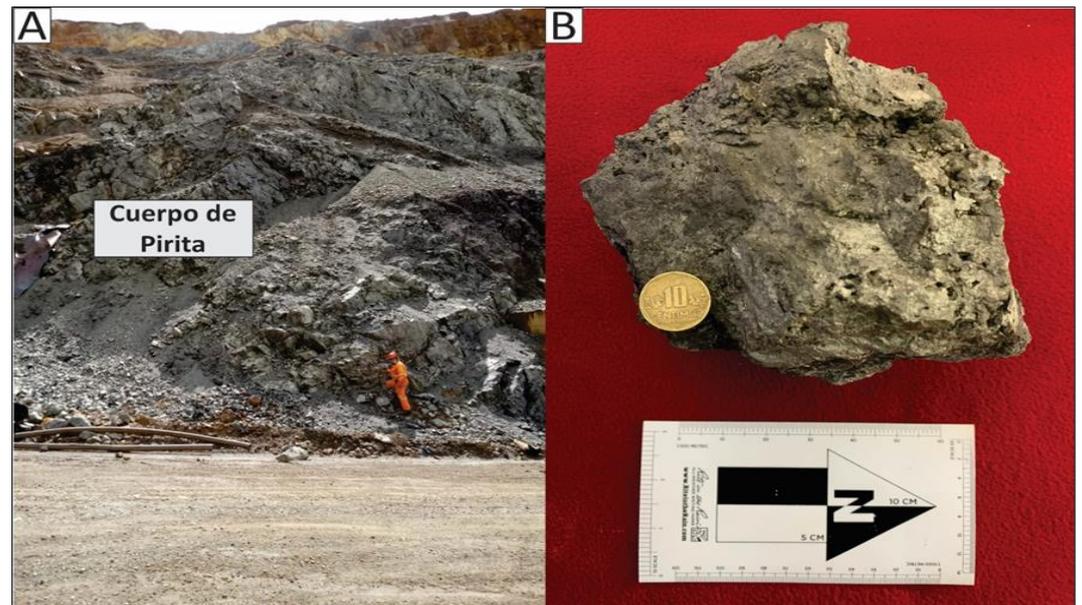


**Figura 23.** Vista mirando al Oeste, parte de la diatrema de Cerro de Pasco.

**d). Cuerpo de Pirita – sílice**

Se localiza en la parte oeste del Tajo Raúl Rojas, tiene la forma de un cono invertido achatado en la dirección E-W, su buzamiento es ligeramente al lado Oeste. El afloramiento tiene 1800m de largo y más de 300m de ancho.

Se ha clasificado la pirita de Cerro de Pasco en seis categorías, de acuerdo con su asociación, aparente sincronización, tamaño de grano y habiada, lo que nos da a entender que este cuerpo de pirita ha tenido múltiples eventos de formación. Se considera al cuerpo de Pirita como la primera etapa de mineralización de Cerro de Pasco, de igual forma solo con una diferencia de dos subetapas adicionales. Se consideró como litología al Cuerpo de Pirita, por su gran extensión y su función favorable para el emplazamiento de las vetas de Cu (E-W) (ver figura 24).



**Figura 24.** Vista mirando al Suroeste, afloramiento del Cuerpo de Pirita.

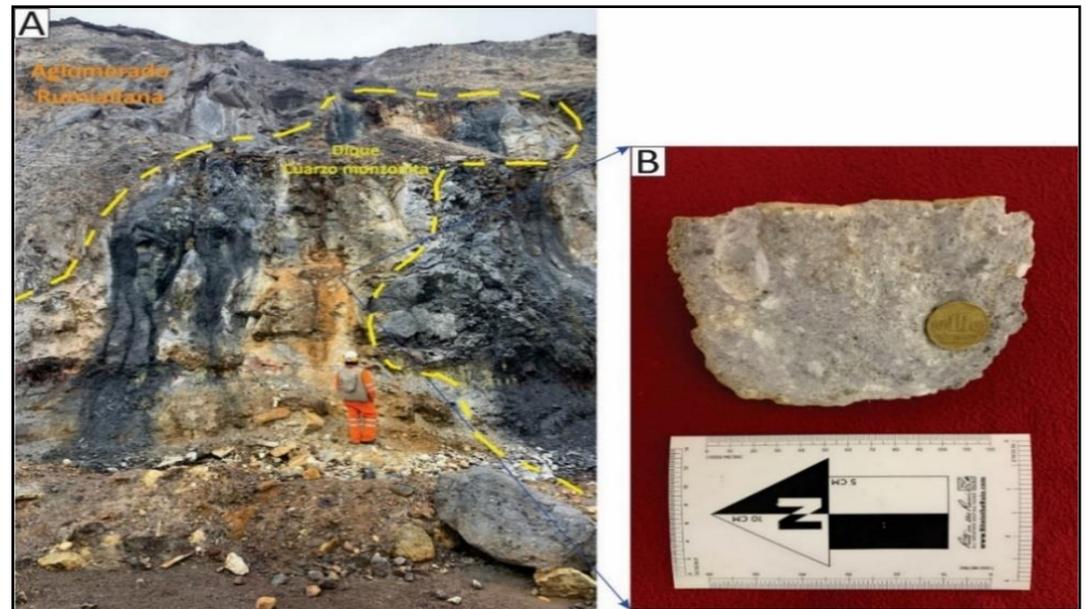
**e). Cuarzo Monzonita**

Son estructuras intrusivas (diques) que cortan la diatrema de Cerro de Pasco y la secuencia de calizas del Grupo Pucará, tienen una orientación E-W y NE, estos diques fueron originados en estadios posteriores a la actividad volcánica de la diatrema.

Litológicamente corresponden a diques de textura bimodal porfirítica con fenocristales y cristales de cuarzo, plagioclasas y feldespatos 5 – 2 mm, de color gris claro y presentan una argilización moderada. Estudios anteriores, mencionan que los diques son de carácter post y pre mineral, sin embargo, no se han encontrado diques posts-minerales en el cartografiado, pero, por antecedentes históricos estos diques post, estarían ubicados con mayor frecuencia en el centro de la diatrema.

La mayoría de los diques encontrados en algunos tramos han

sufrido cambios por alteración hidrotermal y mineralización, ya sea en el piso y/o techo del dique (ver figura 25).



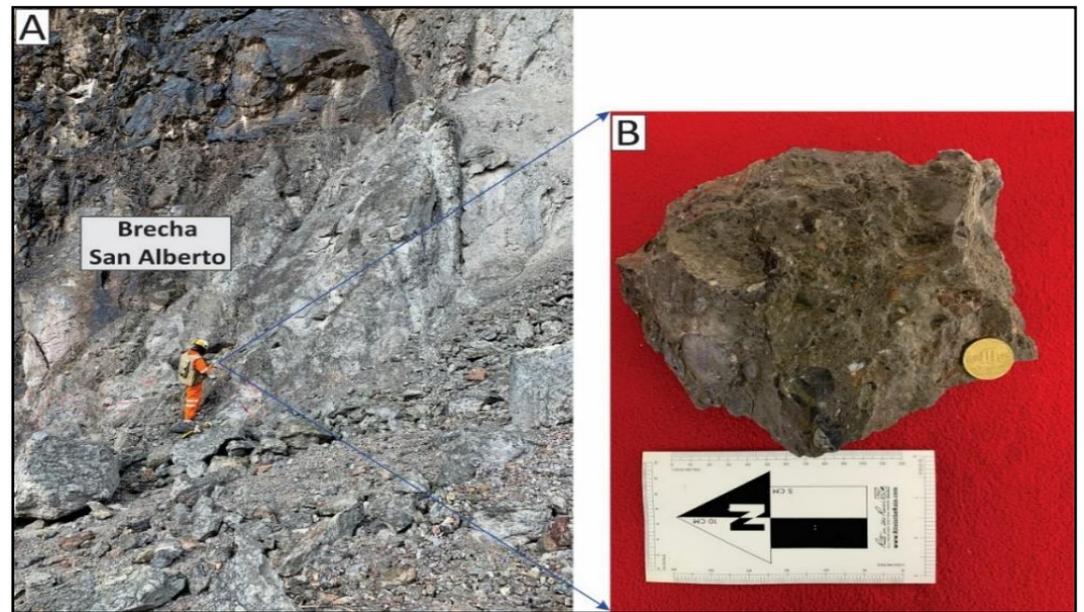
**Figura 25.** Vista mirando al Oeste, dique de composición cuarzo monzonítica.

**f). Brecha San Alberto**

Es una Brecha polimíctica, se observan formas de clastos angulosos a subangulosos de brechas preexistentes (evento multifase), filitas, limos, arenisca, calizas y los diques de micro cuarzo monzonita. La matriz de esta brecha es polvo de roca y cenizas semiconsolidadas, de color gris clara a gris oscura.

El emplazamiento de esta brecha es por el sistema de Fallas San Alberto ( $N240^\circ$  y  $Bz75^\circ$ ) y por las Fallas Huislamachay ( $N320^\circ$  y  $Bz 70^\circ$ ), solo en la parte céntrica de la brecha, se puede apreciar clastos de filitas, por ende, se podría tratar de una brecha freática no tan profunda proveniente de otro centro volcánico diferente al del Aglomerado

Rumiallana (ver figura 26).

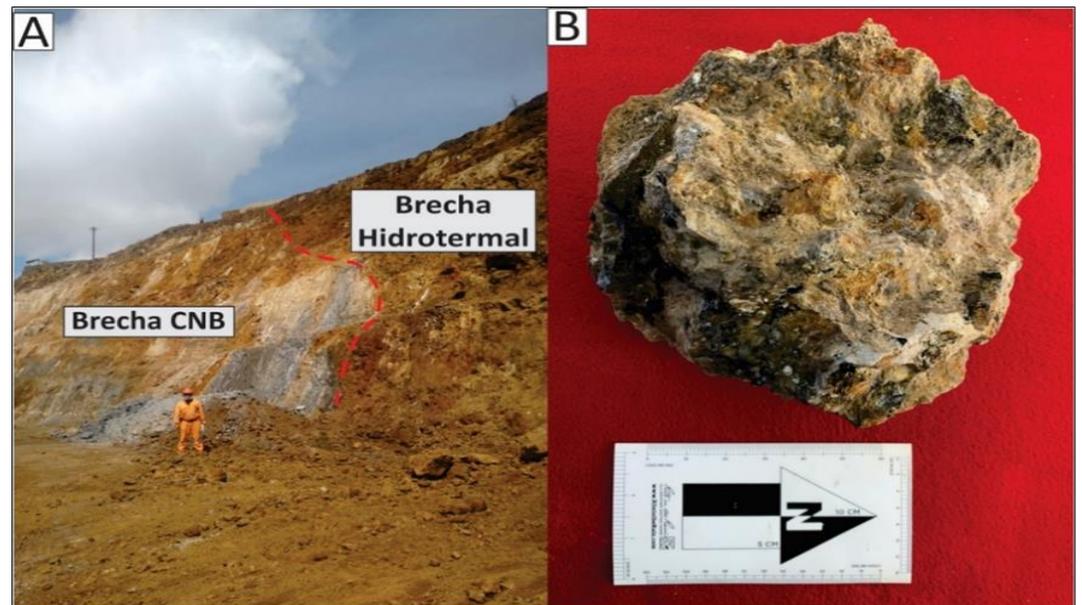


**Figura 26.** Vista mirando al Noreste, afloramiento de brecha San Alberto.

**g). Brecha CNB**

Es una brecha polimíctica, con clastos mineralizados, brechados, calizas, limos y areniscas, con una matriz de polvo de roca y cenizas semiconsolidadas. Se encuentra con fuerte alteración argílica.

El emplazamiento de estas brechas es controlado por el sistema de fallas Huislamachay ( $N320^\circ$  y  $Bz 70^\circ$ ), y con la falla longitudinal ( $N160^\circ$  y  $Bz 75^\circ$ ), como se ha mencionado tenemos clastos de brecha hidrotermal, así como clastos mineralizados con diseminación de Esfalerita-Ankerita, con esto deducimos que esta brecha es posterior a la mineralización, además se encuentra fuertemente argilitizada, probablemente por actividad hidrotermal posterior al emplazamiento de la brecha (ver figura 27).

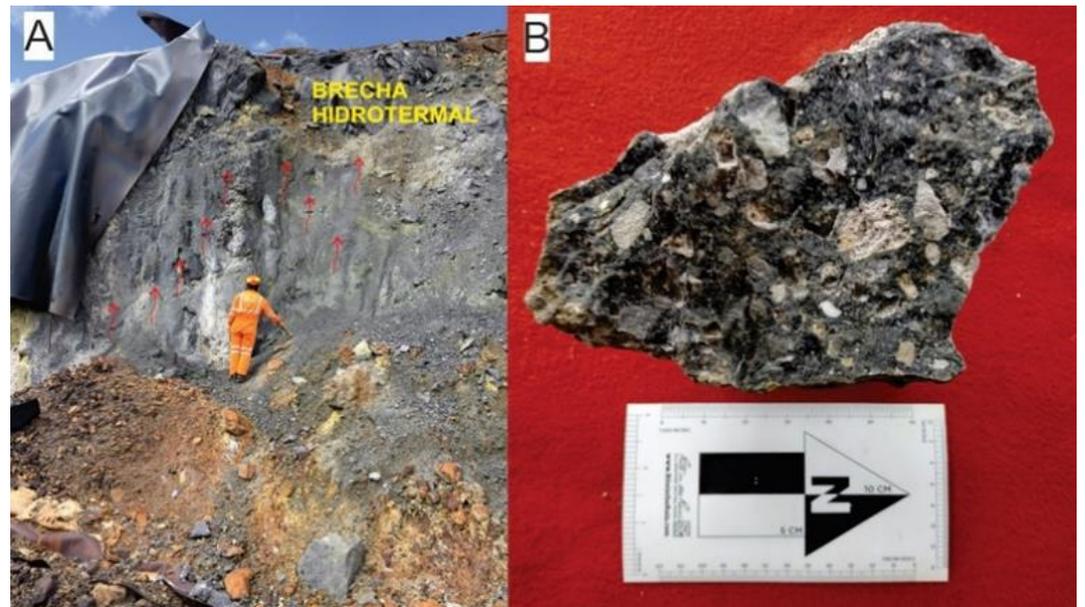


**Figura 27.** Vista mirando al Sureste. Contacto entre la Brecha CNB (Brecha polimictica) y la Brecha Hidrotermal.

#### **h). Brecha Hidrotermal**

Estas brechas las encontramos en diversas zonas del Tajo Raúl Rojas, tal es el caso de la zona Sur, en donde las brechas hidrotermales están asociadas a las estructuras E-W y estas a su vez forman cuerpos de brechas cuyas características son de yacimientos epitermales de alta sulfuración con bastante oxidación, en algunos casos como una brecha craquelada, pero con inyecciones de flujos irregulares de sílice-óxidos.

También existen otra clase de brechas relacionadas a eventos tardíos que cortan al Fragmental Lurdes y al Aglomerado Rumiallana, posiblemente estas se relacionan a la prolongación de las estructuras E-W, las cuales presentan una forma elongada vetiforme con fragmentos polimícticos, silicificados y con presencia de disseminación de sulfuros (ver figura 28).



**Figura 28.** Vista mirando al Suroeste, estructura vetiforme de Brecha Hidrotermal.

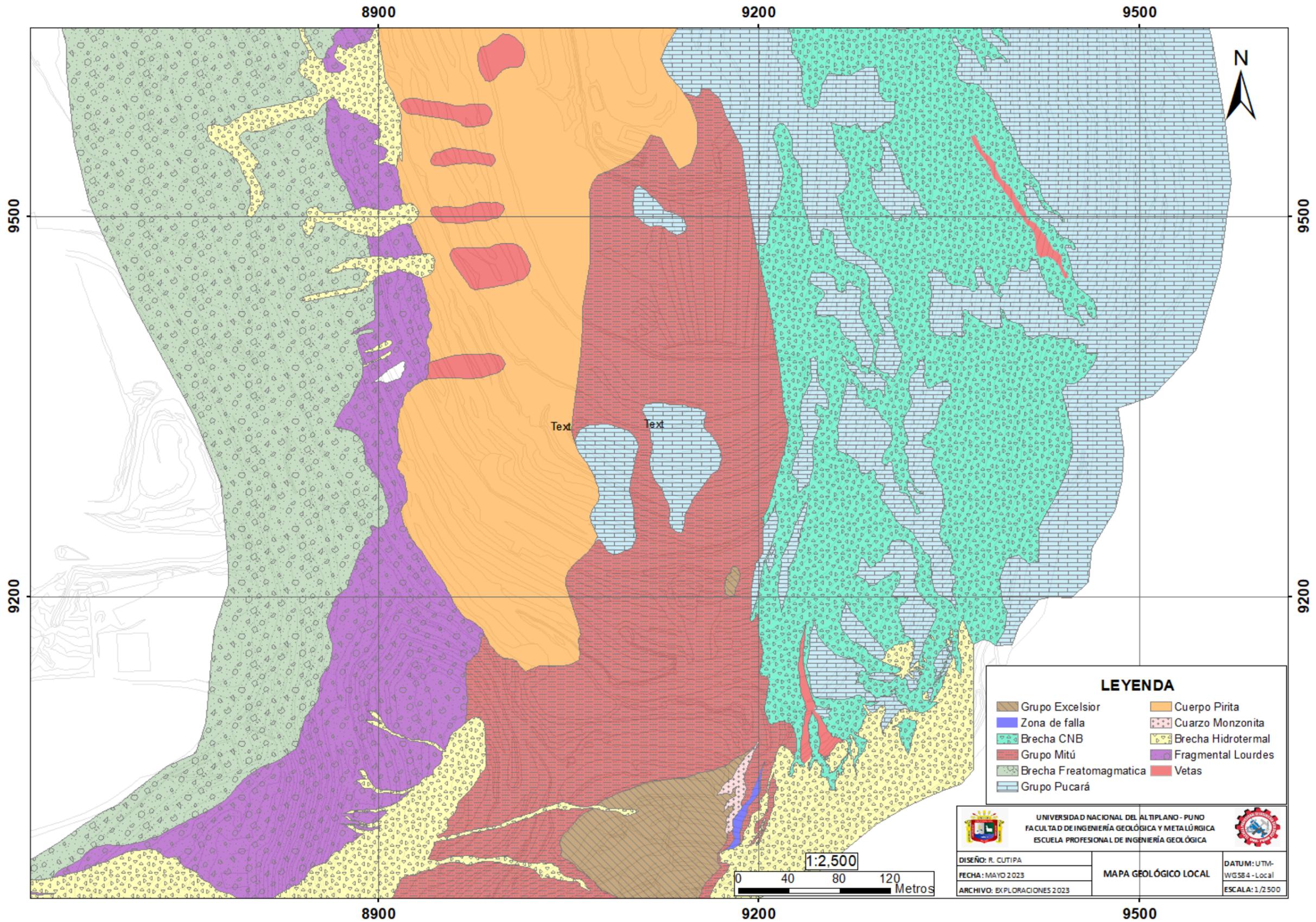


Figura 29. Mapa Geológico del Proyecto Cola Calle Noruega Bajo

### 4.5.3 Geología estructural

#### 4.5.3.1 Falla regional Cerro de Pasco

La falla longitudinal, tiene un azimut promedio de  $N345^\circ$ , la cual es observable en el sector Sur del tajo Raúl Rojas, en donde se delimita los contenidos de Ag con Pb y Zn.

Las características de las unidades estratigráficas y magmáticas en los alrededores de la falla Cerro de Pasco, evidencian que esta estuvo activa desde el Pérmico superior (Rodríguez *et al*, 2011).

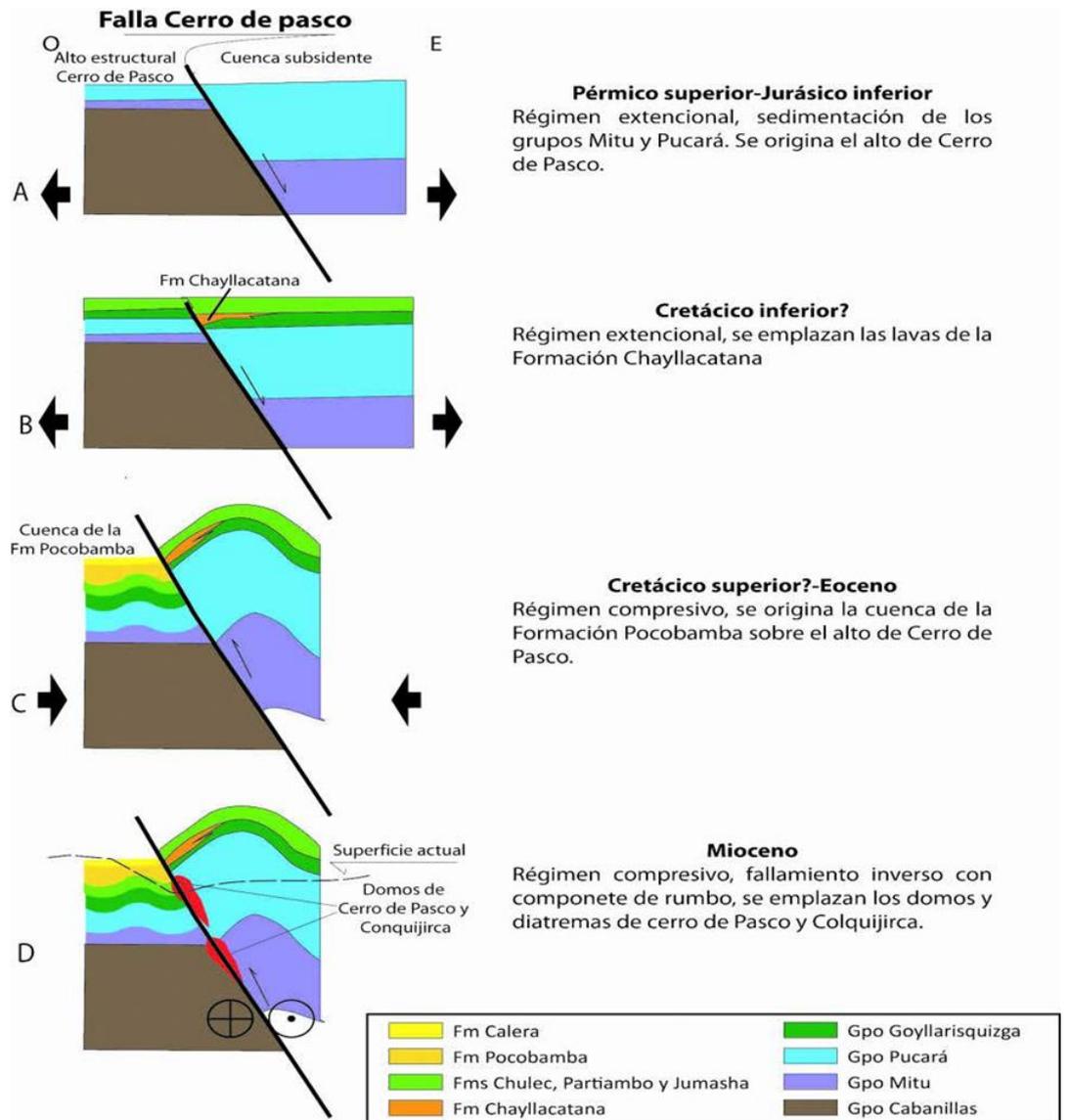
Los eventos tectónicos que ha tenido esta falla dieron paso a la sedimentación del grupo Pucará y Mitú, emplazamiento de la diatrema, brechas San Alberto – CNB y la actividad hidrotermal. A su vez esta estructura tuvo una interacción con las fallas San Alberto y Huislamachay, que probablemente sirvió como barrera para el último evento hidrotermal y mineralización (vetas) con orientaciones E-O, esto se corrobora por clavos mineralizados perpendiculares a la falla longitudinal.

#### 4.5.3.2 Fallas Huislamachay

Estas estructuras tienen una orientación en promedio  $N320^\circ$  y  $Bz 75^\circ N$ ; en campo se ha podido determinar que tienen un Pitch  $65^\circ SE$  y de movimiento inverso, por lo cual probablemente formarían parte del evento tectónico compresivo en el Cretáceo superior, para levantamiento de las calizas y formar la cuenca de la formación Pocobamba (calizas).

En la zona de San Alberto, se puede apreciar actividad hidrotermal en estas estructuras, las cuales contienen rellenos de Esfalerita-Galena-

Pirita con halos gradacionales con contenido de Dolomita y estar encojonado en calizas. También se puede apreciar que el espacio generado por estas estructuras (fallas y fracturas), han servido como conductos para ser rellenadas por eventos mineralizadores posteriores.



**Figura 30.** Eventos tectónicos de la Falla Cerro de Pasco.

#### 4.5.3.3 Fallas San Alberto

Son estructuras que tienen una orientación promedio de N30° y Bz 80°NW, de acuerdo con datos tomados en campo, se ha podido obtener un

pitch de  $15^{\circ}\text{SW}$  en promedio, y obedecen a un movimiento dextral con componente inverso. Este evento tectónico probablemente se relaciona al último evento compresivo que generó movimientos de rumbo que han tenido la falla longitudinal, esta sirvió para el emplazamiento de la diatrema, estructuras de Zn-Pb relacionadas a un centro de Pirrotita, así como también para el emplazamiento del cuerpo de Pirita-Sílice (ver figura 31).



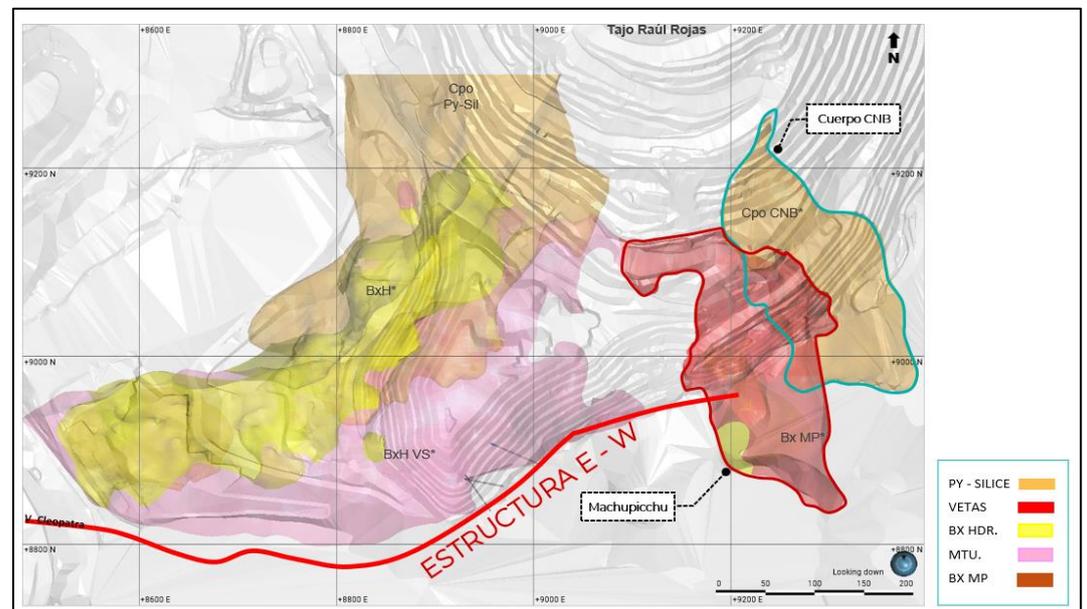
**Figura 31.** Vista al este, plano de falla Huislamachay de tendencia NW-SE.

#### 4.5.3.4 Fallas E-W

Tienen una orientación general de  $N270^{\circ}$  con un buzamiento en promedio de  $80^{\circ}\text{N}$ , estas tienen un Pitch de  $10^{\circ}\text{W}$ , cuyas estructuras conforman corredores o zonas de dilatación con esfuerzos tensionales de azimut de  $120^{\circ}$  y Bz  $85^{\circ}$  en promedio; teniendo en cuenta el modelo Riedel obedecerían a un movimiento dextral inverso.

De acuerdo con el cartografiado realizado, se han encontrado

evidencias de que existen estructuras al lado Este del tajo, motivo por el cual hipotéticamente estas estructuras significarían un último tectonismo, que trajo consigo mineralización principalmente de Cu, que está relacionado a un evento de alta sulfuración, ubicado al oeste de la falla longitudinal. El comportamiento de esta estructura es diferente hacia el lado Este del tajo, porque presentan estructuras con mineralización de Ag-Zn-Pb-Bi, relacionado a un control litológico del Grupo Pucará (ver figura 32, 33).



**Figura 32.** Vista en planta del Proyecto CCNB, estructura E – W



**Figura 33.** Vista hacia el lado Oeste, estructura E-W (Veta San Anselmo).

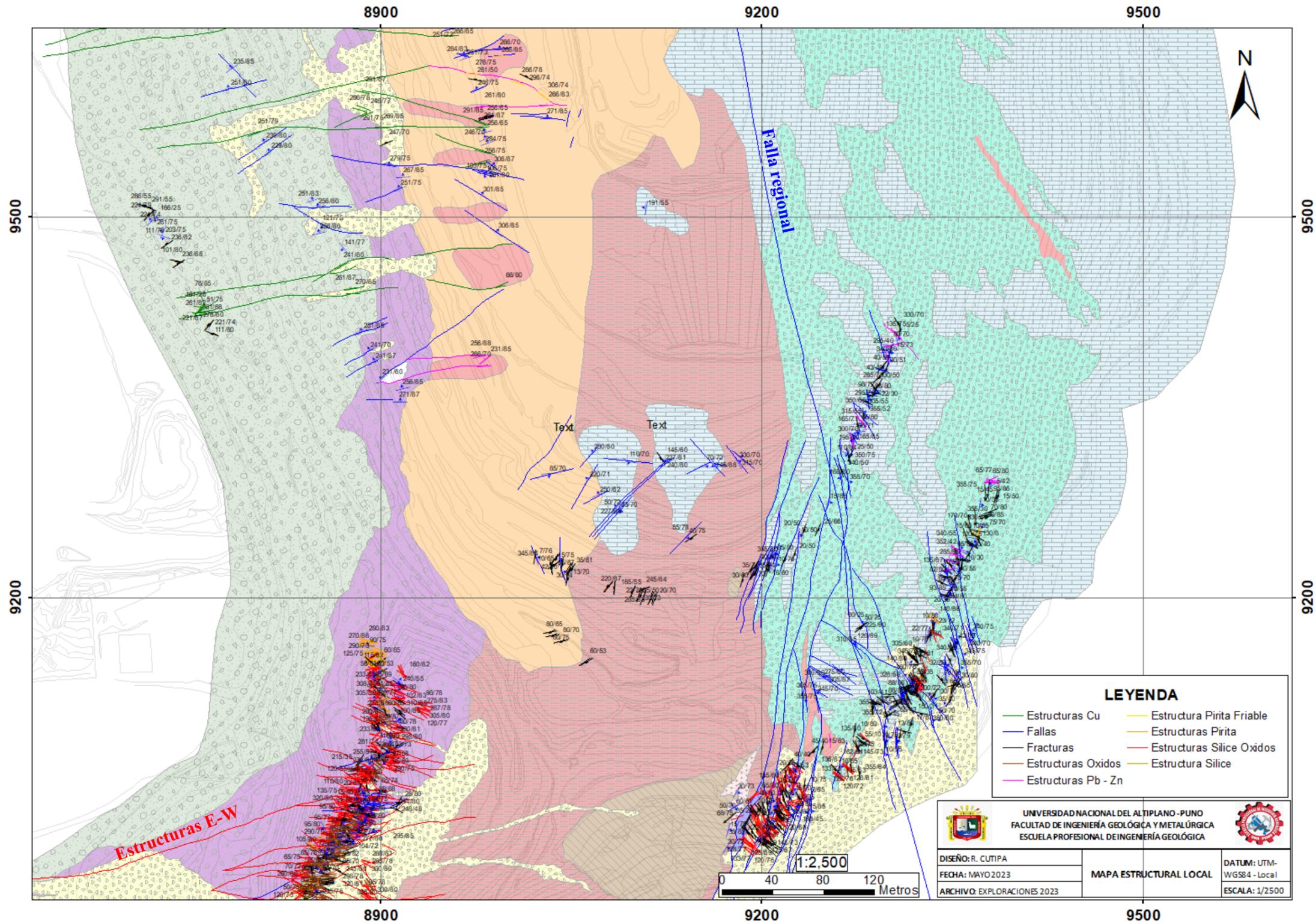


Figura 34. Mapa estructural del Proyecto Cola Calle Noruega.



#### 4.5.4 Mineralización

La zona sur del Tajo Raúl Rojas se caracteriza por la presencia de estructuras con orientación cercana al E-W formando zonas de dilatación; que originaron las estructuras mineralizadas (vetas) San Anselmo, Cleopatra, que han servido para el paso de fluidos ácidos y formar un yacimiento epitermal de alta sulfuración.

Al oeste de la falla longitudinal, cuyo sector es denominado Santa Rosa, podemos apreciar rocas alteradas por flujos hidrotermales ácidos que han favorecido la precipitación de Ag-Au, que posteriormente han sido oxidadas por efecto del nivel freático, es importante mencionar que en este sector fue relacionado al Grupo Mitú, por tal motivo cumple con las características físicas como metalotecto, en este tipo de depósitos.

Siguiendo la proyección de estas estructuras hasta el contacto con la falla longitudinal, tenemos que el contenido de Ag – Pb incrementa con respecto a la zona de Santa Rosa, esto probablemente afectado por un control litológico. En este sector tenemos el emplazamiento de brechas hidrotermales (paso de fluidos), las cuales presentan una fuerte oxidación. Estas brechas oxidadas se restringen hasta la falla longitudinal, donde se emplaza la brecha CNB, que es posterior a las brechas hidrotermales oxidadas, ya que dentro de sus clastos se ha encontrado clastos mineralizados y oxidados.

A partir de la cota 4300 msnm en promedio, podemos apreciar que la zona de oxidación grada a una zona (de mixtos, óxidos y sulfuros), de ahí hacia cotas más bajas tenemos estructuras que contienen Esfalerita – Galena – Pirita fina, controladas por fallas con orientación de N340° y Bz70°.

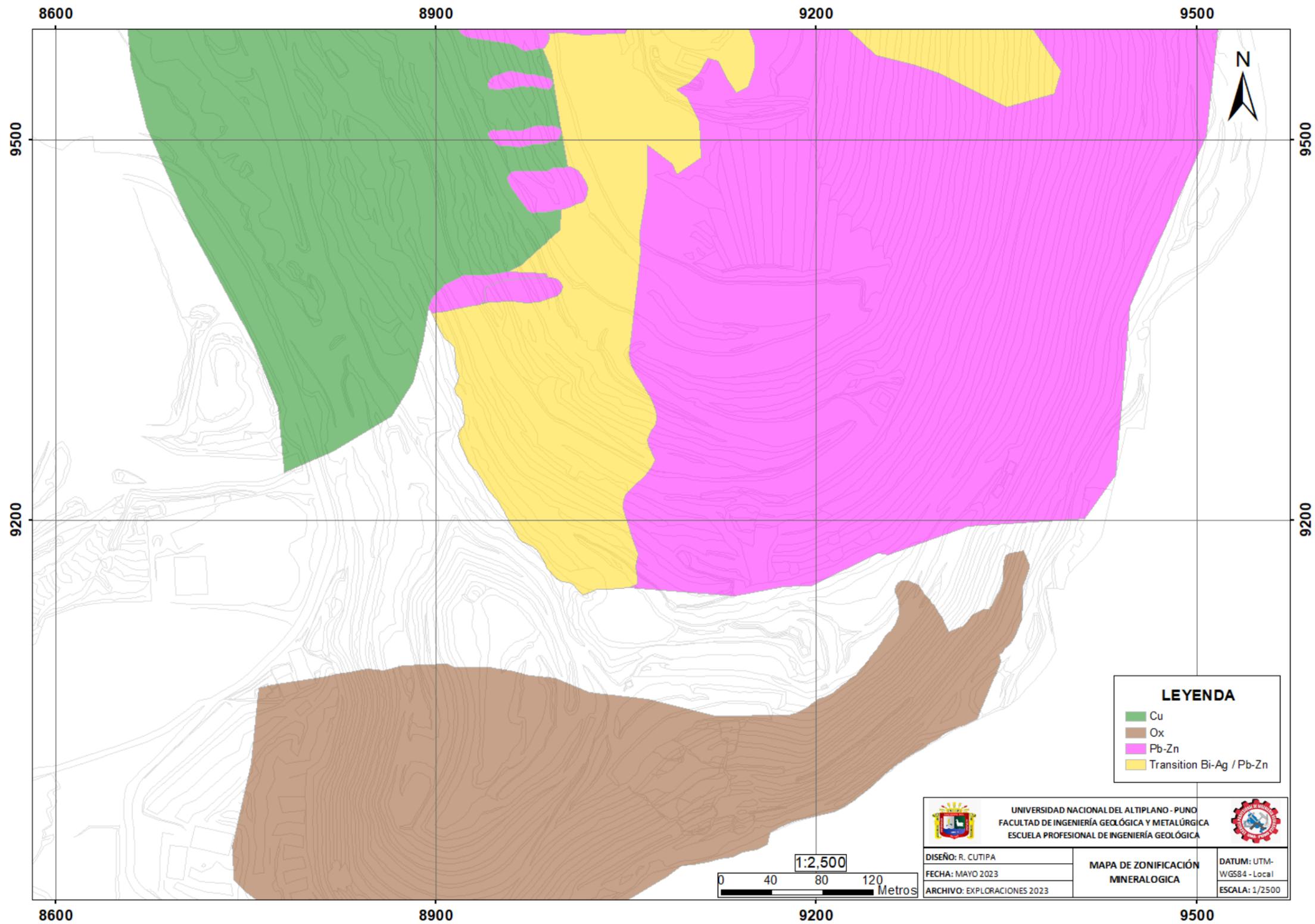


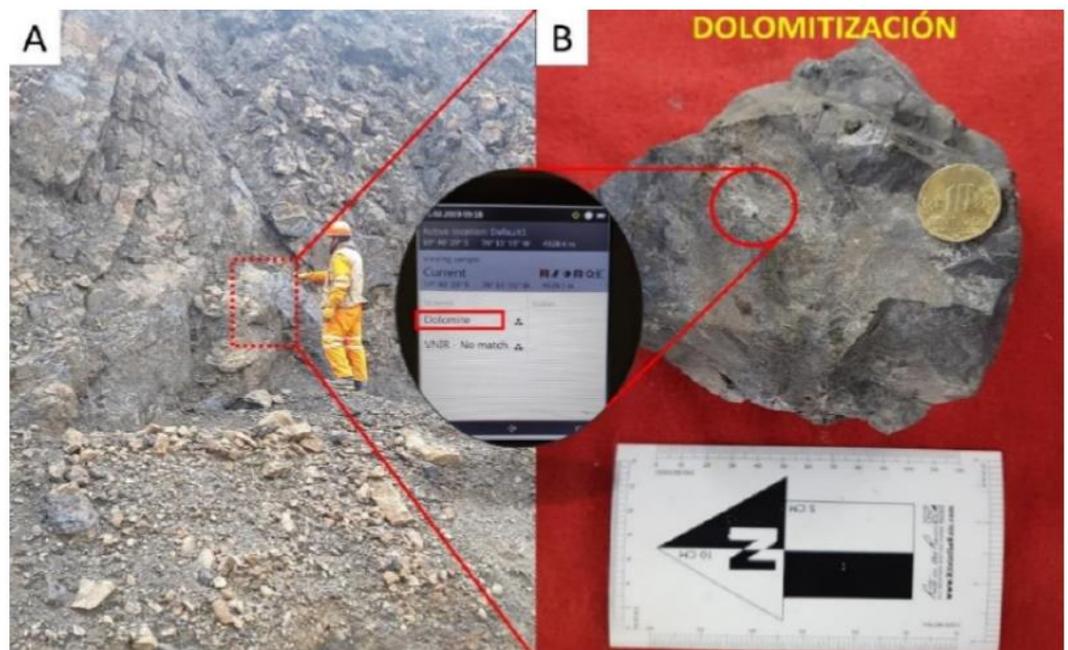
Figura 35. Mapa de zonificación mineralógica del Proyecto Cola Calle Noruega.

#### 4.5.5 Alteración

La unidad minera Cerro de Pasco está catalogado como un yacimiento del tipo cordillerano, por tal motivo existen diversos ensamblajes mineralógicos que conforman las alteraciones con un comportamiento complejo. En el área de estudio es notoria la intensa alteración hidrotermal, resaltando la diferencia de coloración con las rocas inalteradas, motivo por el cual, al realizar el cartografiado geológico, se tuvo una variabilidad de alteraciones evidenciados en campo.

##### 4.5.5.1 Dolomitización

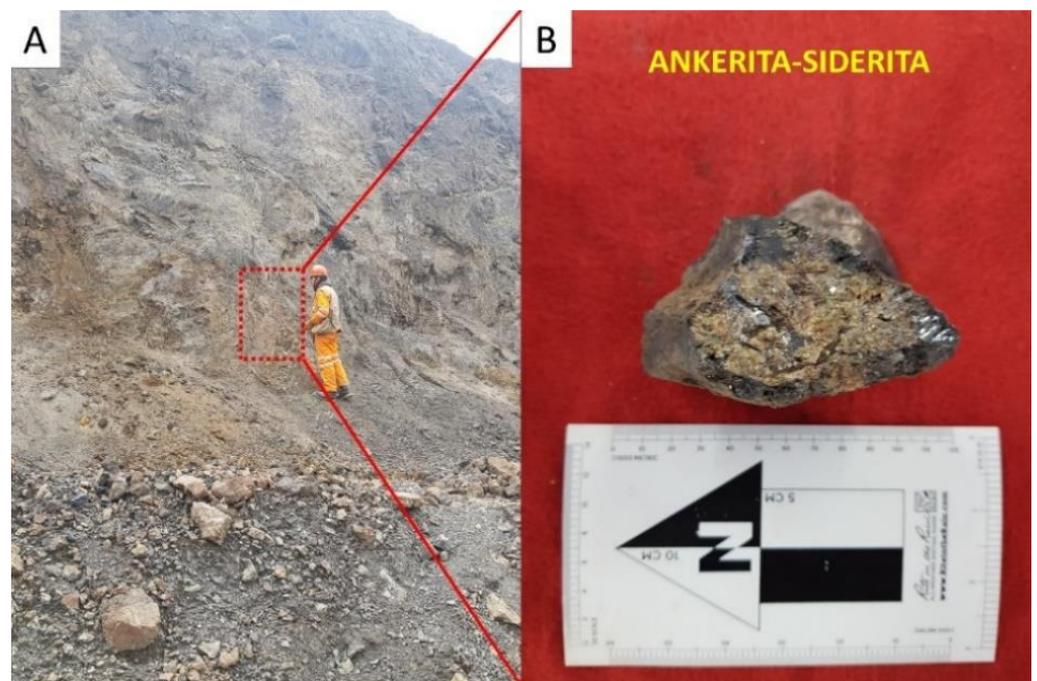
En el área estudiada afloran calizas del Grupo Pucará, en las inmediaciones orientales al cuerpo de pirita; la dolomitización es el resultado del remplazamiento hidrotermal de  $\text{Ca}^{+}$  por  $\text{Mg}^{+}$  en calizas bajo la acción de una salmuera rica en  $\text{Mg}^{+}$  según la siguiente reacción  $2\text{CaCO}_3 + \text{Mg}^{+2} \rightarrow \text{CaMg}(\text{CO}_3) + \text{Ca}^{2+}$  (ver figura 36).



**Figura 36.** Vista tomada al Sureste, A: grupo Pucará, zona San Alberto. B: caliza dolomitizada confirmada con los datos con Terraspec.

#### 4.5.5.2 Ankerita Siderita

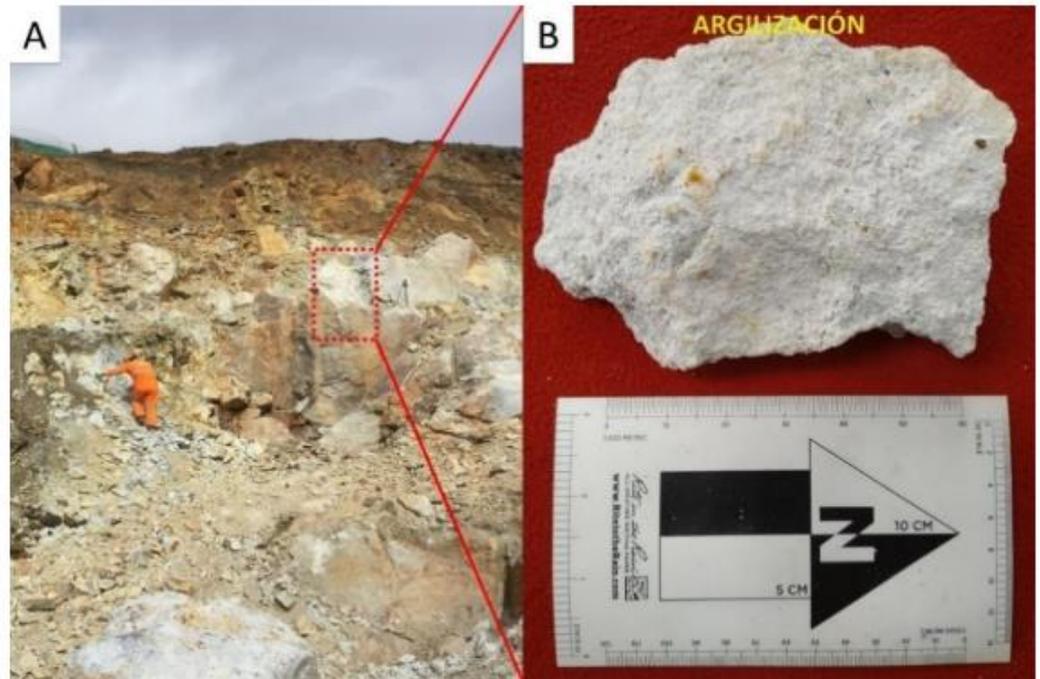
En el área de estudio, se caracteriza por el cambio de coloración, que se produce en las calizas grises a tonalidades beige o amarillenta; está conformada principalmente por el ensamble ankerita-siderita-dolomita y asociado a sílice-caolín-pirita. La mayoría de los corredores de venillas mineralizadas presentan siderita-ankerita, este cambio se produjo por el incremento de pH (ver figura 37).



**Figura 37.** Vista al SE, estructura de ankerita – siderita – dolomita.

#### 4.5.5.3 Argilización

En la zona sur del tajo del Proyecto Calle Noruega Bajo, la argilización se encuentra asociada a la brecha CNB (denominada también brecha freática) muy relacionado al contexto epitermal de alta sulfuración, esta alteración se combina con la alteración argílica avanzada (ver figura 38).

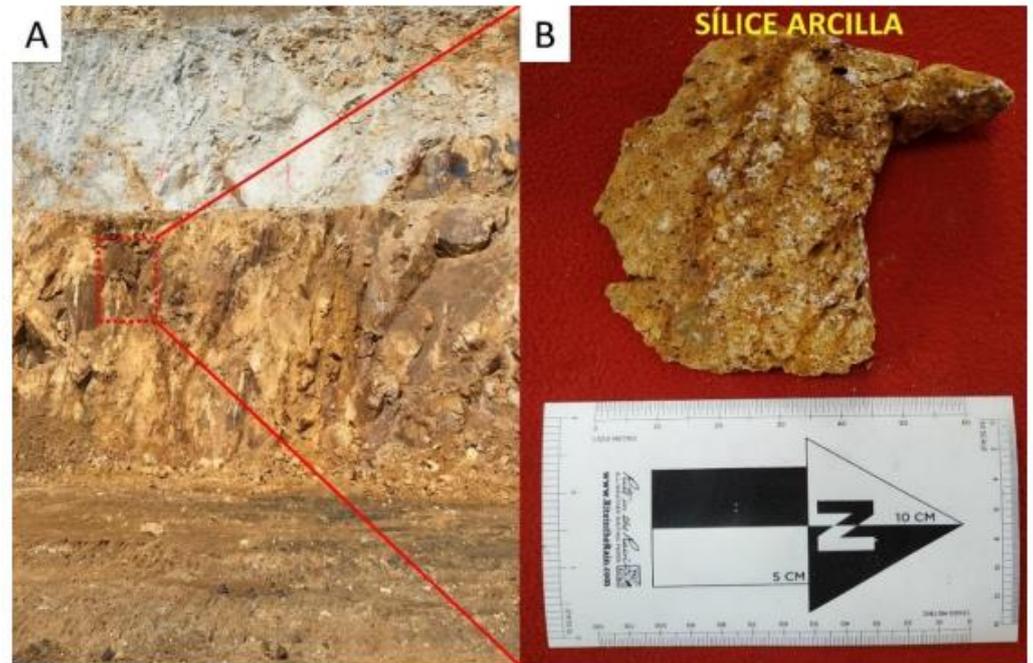


**Figura 38.** Vista mirando al Suroeste Afloramiento del Fragmental Lourdes.

#### 4.5.5.4 Sílice Clay

Esta alteración, la encontramos en diversas zonas del tajo Raúl Rojas, algunas de ellas se relacionan a halos de alteración de estructuras vetiformes, y otras están asociadas a cuerpos epitermales de alta sulfuración; una evidencia es el sector sur del Tajo Raúl Rojas. Esta alteración es característico en la roca denominado Fragmental Lourdes, con intensidad moderada.

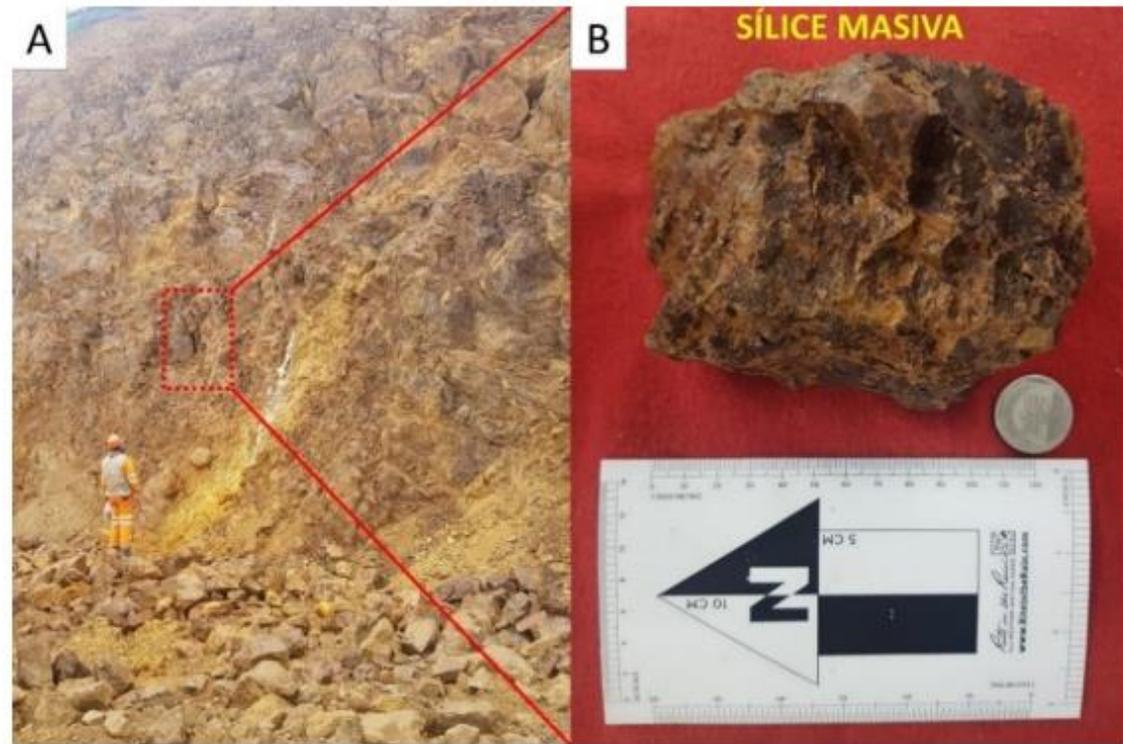
Como su nombre lo indica esta alteración está conformada por la presencia de sílice + arcillas, dentro de las cuales podemos encontrar caolín, illita, así como también dickita – nacrita – halloysita, las cuales también serán representadas de manera general en la alteración argílica avanzada (ver figura 39).



**Figura 39.** Vista mirando al Sur Oeste, muestra de mano con alteración sílicea-arcillas con presencia de óxidos.

#### 4.5.5.5 Sílice Masiva

Esta alteración se encuentra en la parte sur del tajo, es de intensidad fuerte y de distribución pervasiva y se encuentra en algunas brechas hidrotermales con una matriz sílice y compuesto por clastos de textura totalmente obliterada, asimismo, la alteración sílice masiva está emplazada en el tufo dacítico, el cual contiene oxidación en la matriz, con algunos relictos del protolito original. Esta clase de alteración forma cuerpos irregulares con dirección de las estructuras alimentadoras de fluidos (E-W), (ver figura 40).



**Figura 40.** Vista mirando al Sureste, muestra de mano con alteración de silicificación fuerte y óxidos en la matriz.

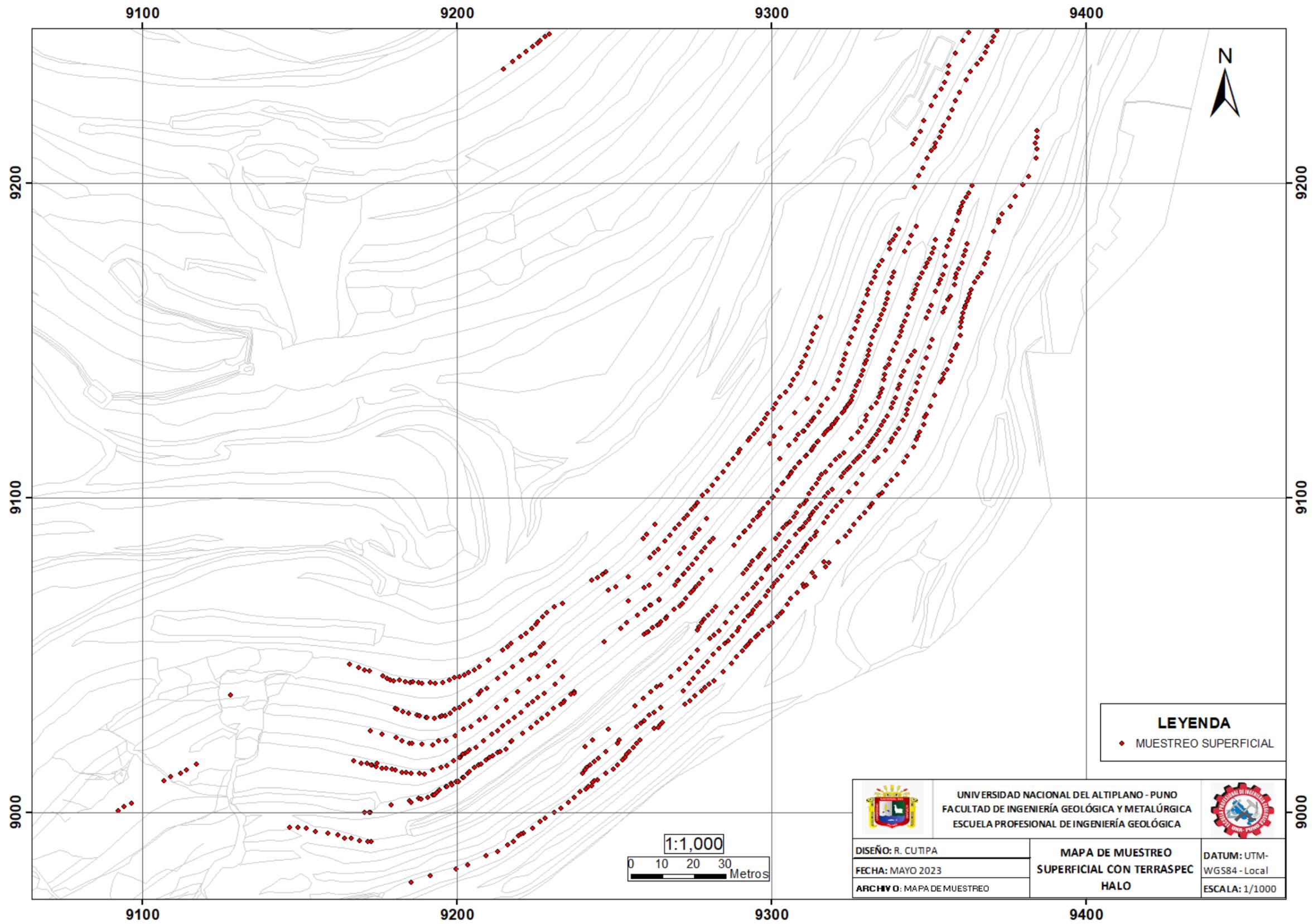


Figura 38. Mapa de muestreo superficial con equipo Terraspec Halo.

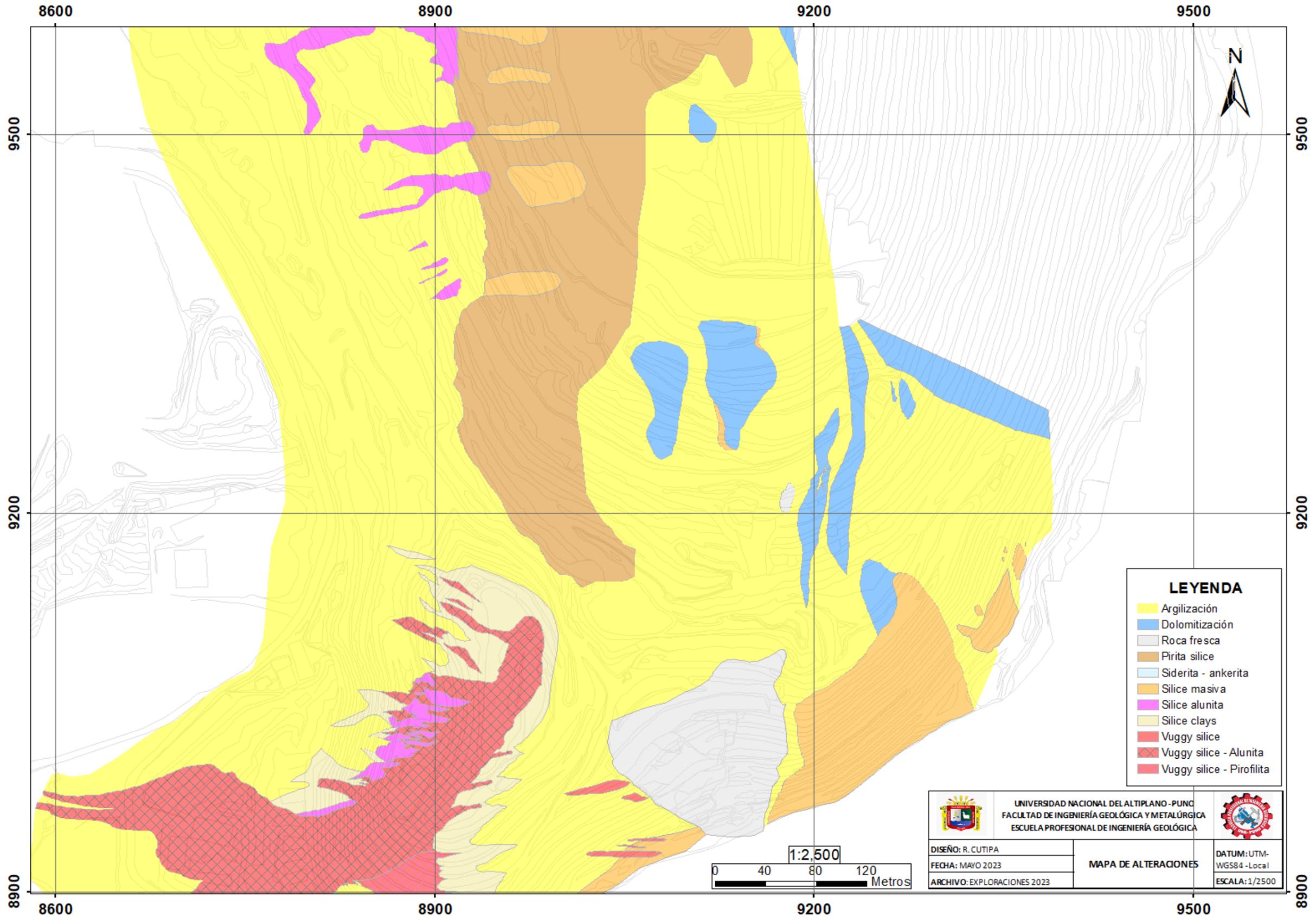


Figura 41. Mapa de alteraciones del Proyecto Cola Calle Noruega.



## CAPÍTULO V

### RESULTADO Y DISCUSIÓN

#### 5.1 CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA

##### 5.1.1 Mapeo geológico superficial

El cartografiado geológico superficial ha sido realizado a una escala de 1/500, considerando cuatro capas de mapeo o layers (litología, geología estructural, mineralización y alteración), esto para interpretar y relacionar la información obtenida con equipo Terraspec Halo. Se registro un total de 1292 muestras superficiales, aproximadamente, se lectura un total de 980 muestras secas en insitu y las siguientes 312 muestras fueron llevadas a gabinete para el secado correspondiente. Cabe mencionar que toda muestra obtenida para la lectura con equipo Terraspec Halo, deben estar completamente secas y libre de material orgánico. Así obtenemos resultados e interpretaciones confiables. Los afloramientos fueron tomadas en niveles de bancos accesibles (frentes de talud), de manera sistemática a cada dos metros y cambios litológicos, siguiendo criterio geológico. Con los datos obtenidos se logró agrupar las principales alteraciones hidrotermales:

- Grupo de Óxidos Jarosita, tiene la mayor predominancia en el área de estudio en la zona de Brecha Hidrotermal y la Brecha Freática, en el cual el Terraspec ha lecionado los minerales de Goetita, Hematita y Jarosita principalmente (ver figura 42).
- Grupo Kaolin, que está constituido por el ensamble Dickita, Halloysita, Kaolinita y nacrita, los cuales ocurren durante procesos supérgenos en la



zona de oxidación y de muy baja temperatura ( $150^{\circ}\text{C} - 200^{\circ}\text{C}$ ), según, (Hemley, 1980). Asimismo, está asociado a las Brechas freáticas y una parte hacia el Este en el grupo Pucará (ver figura 43).

- Grupo de Illitas, que se forman en fluidos con pH ácidos (4 – 6), temperatura aproximada de  $200^{\circ}\text{C} - 250^{\circ}\text{C}$ , según, (Hemley, 1980) y están asociados a los carbonatos de Ankerita – Dolomita del Grupo Pucará, el ensamble mineralógico es (Illita, Smectita, Iron Smectita, K – Illita y Mg-Illita). En su mayoría han sido reconocidas por el equipo Terraspec en el Grupo Pucará (ver figura 44).
- Grupo de Zeolitas, predominan en condiciones frías ( $150^{\circ}\text{C} - 200^{\circ}\text{C}$ ) (Hemley, 1980), tienen la capacidad de hidratarse y deshidratarse de un modo reversible, su ensamble mineralógico es (Chabazita, Gmelinita – Na, Laumontita y Thompsonita – Ca). La asociación de minerales de zeolitas es escasa en el área de investigación (ver figura 45).
- Grupo de Carbonatos, asociado a ensambles mineralógicos (Calcita, Magnesita y Siderita), se encuentran en un rango extenso de pH y temperatura. Y estas han sido reconocidas por el equipo Terraspec en las calizas del Grupo Pucará (ver figura 46).



Figura 42. Muestreo superficial con equipo Terraspec Halo, grupo Óxidos.

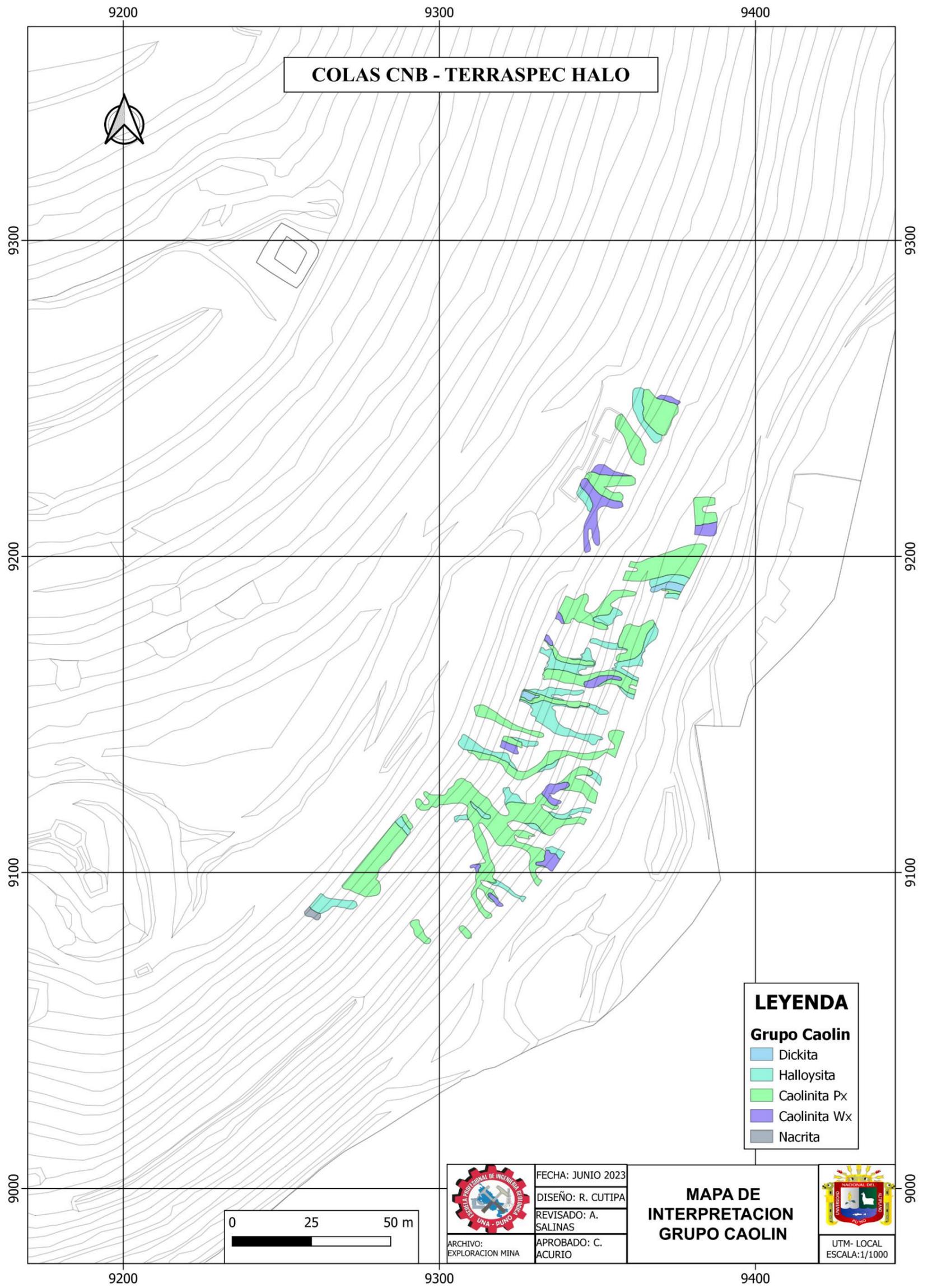


Figura 43. Muestreo superficial con equipo Terraspec Halo, grupo Caolin.

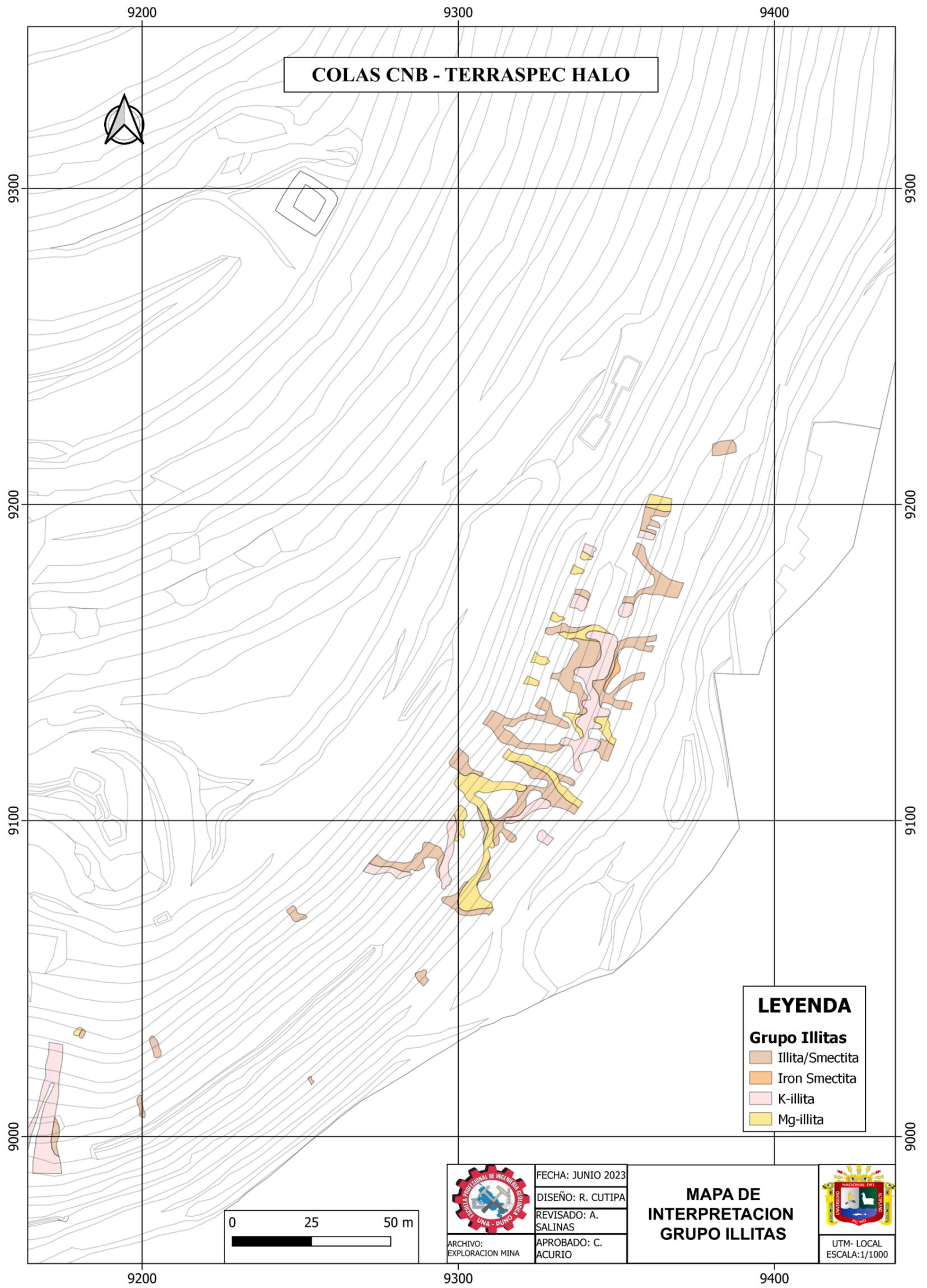


Figura 44. Muestreo superficial con equipo Terraspec Halo, grupo Illitas.



Figura 45. Muestreo superficial con equipo Terraspec Halo, grupo Zeolitas.

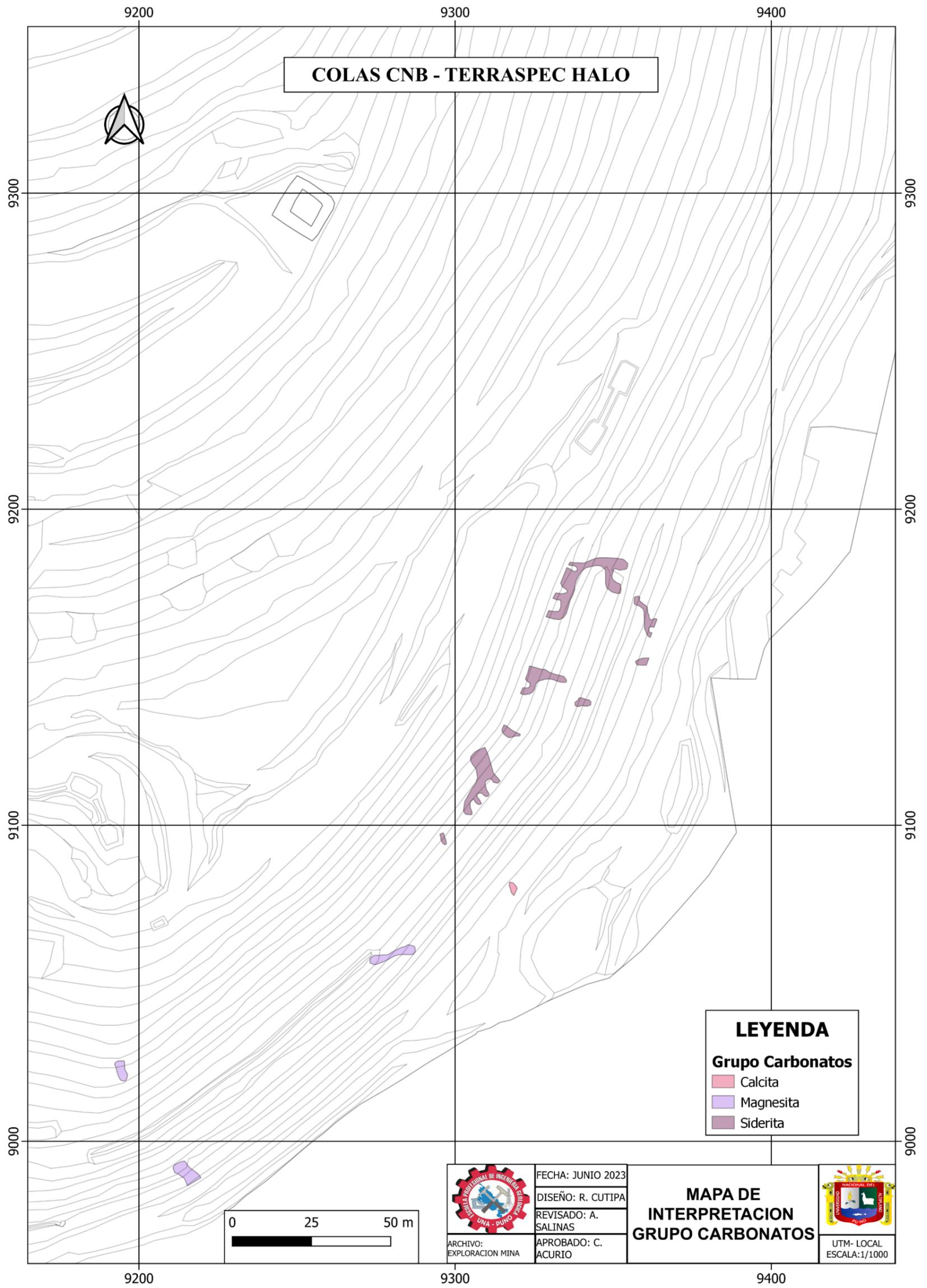


Figura 46. Muestreo superficial con equipo Terraspec Halo, grupo Carbonatos.



### **5.1.2 Relogeo de sondajes históricos**

En el programa de ampliación del tajo en la zona sur, proyecto Cola Calle Noruega Bajo, consideró como prioridad el relogeo de taladros históricos, con el fin de obtener el modelo geológico confiable. Se relogió un total de 20 sondajes que interceptan la zona interés. La información obtenida fue: contactos litológicos, dureza, color, textura, litología (menor - litología a detalle) y litología (mayor - dominios principales), tipo de estructura, alteración, mineralización, identificación de zonas de sulfuros, óxidos y mixtos.

La información obtenida del relogeo se sistematizó y estructuró en el programa Excel, donde se establece 5 parámetros principales como; litología (textura, litología del tramo e interpretación litológica), estructura (Intensidad de fallamiento, intensidad de fracturas y venilleo), alteración hidrotermal (tipo de alteración e intensidad), mineralización (tipo de mineralización y porcentaje de cada mineral), zonas (óxidos, sulfuros, mixtos). En la misma hoja, en diferentes pestañas se encuentran los datos de remuestreo y QAQC.

### **5.1.3 Interpretación de relogeo y hojas de logeo**

Conforme se fue realizando el relogeo se observó que existían algunas interpretaciones y descripciones que no coincidían con las muestras, motivo por el cual se revisó mediante el relogeo algunas de estas interpretaciones antiguas, a continuación, se cita algunas interpretaciones:

El Grupo Mitú ha sido reconocido en la unidad minera desde informes antiguos, pero como un paquete de potencia pequeña, que no sobrepasaba los 10 metros, sin embargo, cuando se comenzó con la etapa de relogeo fue otra la realidad, encontrando en los sondajes potencias de 50 metros a más, los



componentes litológicos están intercaladas con limo arcillitas, conglomerados, etc. En las hojas de logeo antiguas este paquete ha sido nombrado de diferentes formas, tal es el caso se ha tenido nombres como; volcánico, andesita, calizas, dolomías, filitas, etc.

Con respecto a las hojas de logeo a partir del año 2012 se tuvieron algunas modificaciones a partir de las reinterpretaciones en el logeo con el fin de obtener un modelo adecuado.

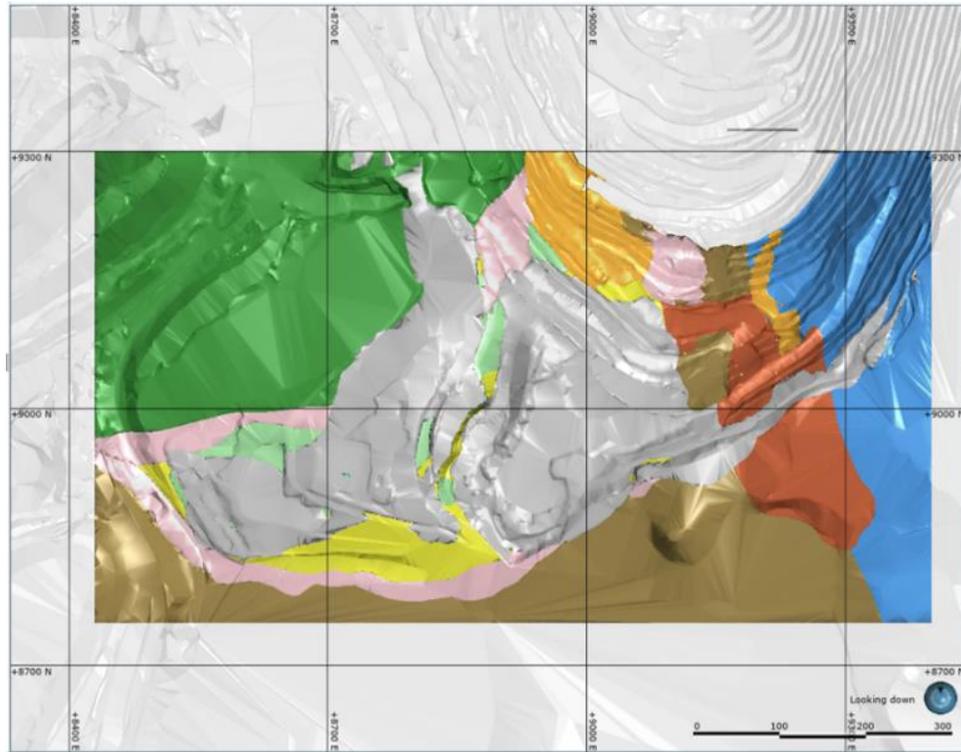
#### **5.1.4 Modelo litológico**

Para el modelo geológico del Proyecto Cola Calle Noruega Bajo se utilizó la data de registro de las hojas de logeo, mapeo superficial en campo, interpretación de secciones históricos, relogeo de taladros históricos, perforación diamantina. Esta información ha sido plasmada primero en vistas 2D en softwares de ArcGis y Qgis, para posteriormente sea modelado en software 3D Geo Leapfrog, por el método de Interval selección (ver figura 47).

En una primera etapa se analizó si se podía realizar un modelo litológico con la cantidad de 85 categorías registradas, dichas categorías están registradas dentro de la columna litología minor o litología a detalle, llegando a la conclusión que existían muchos caracteres para dicho modelo, por tal motivo se consideró unificar las categorías en unidades litoestratigráficas como; Aglomerado Rumiallana, Fragmental Lourdes, cuerpo de Pirita, Brecha Freática, Brecha Hidrotermal, grupo Mitú, grupo Pucará y los intrusivos uarzo – monzonitas, el cual son los dominios principales del tajo Raul Rojas.

Un punto importante es la existencia de un dominio estratigráfico

controlado por la falla regional Cerro de Pasco la cual ha sido denominada como «Falla Longitudinal» por Harrison (1951), Jenks (1951) y Ángeles (1999), pues la actividad de esta ha servido como control para la sedimentación de las diferentes secuencias desde el emplazamiento del Grupo Mitú (Pérmico superior), hasta la deposición de las formaciones Pocobamba y Calera (Eoceno).

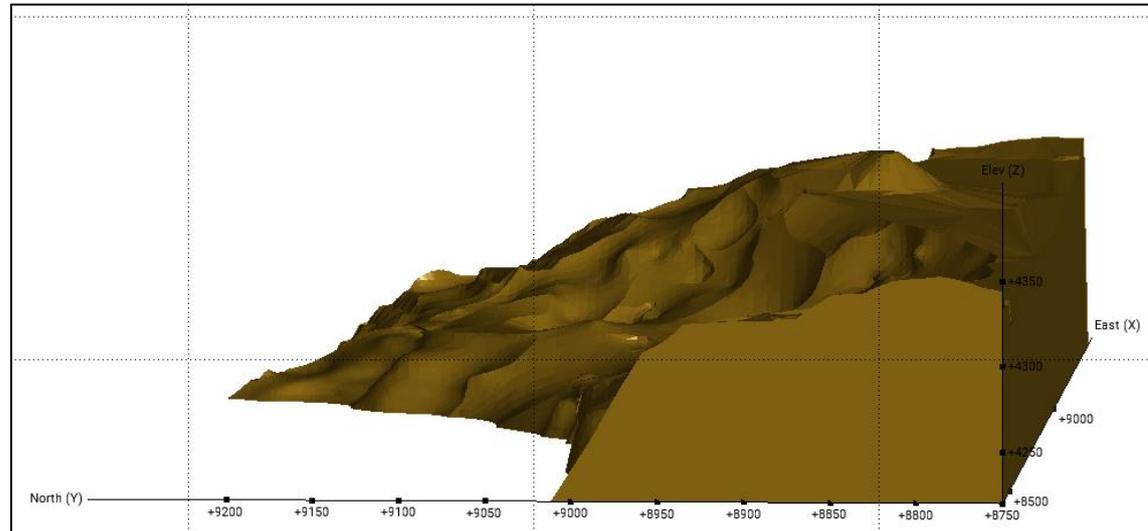


**Figura 47.** Modelo geológico del Proyecto Cola Calle Noruega Bajo.

#### **5.1.4.1 Grupo Excelsior**

La unidad litoestratigráfica se encuentra ubicado hacia el lado Oeste del proyecto de investigación. Litológicamente está conformada por rocas metamórficas de cuarcitas y filitas principalmente; geocronológicamente pertenece al Paleozoico Inferior – Devónico, esta unidad es considerada como roca basamento, tiene contacto con el cuerpo de Pirita, también considerado como roca basamento (ver figura 48).

(Laughlin, 1924), en la mina Excelsior, ubicada al sur de la mina Cerro de Pasco, definió como Formación Excelsior a una secuencia de lutitas negras pizarrosas con intercalaciones de areniscas cuarzosas.

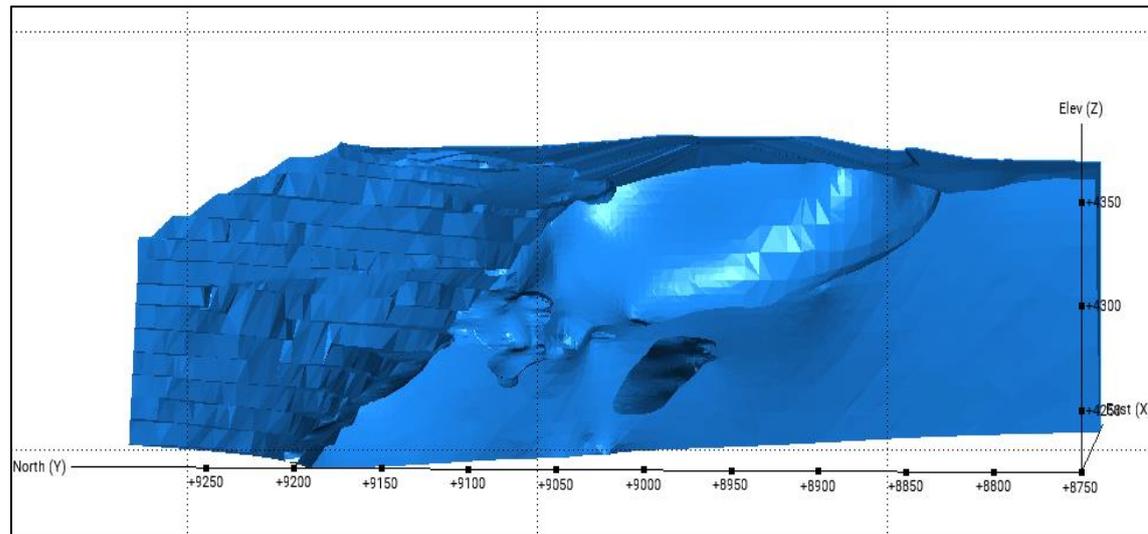


**Figura 48.** Modelo geológico basamento grupo Excelsior.

#### 5.1.4.2 Grupo Pucará

Esta unidad estratigráfica, geocronológicamente pertenece al Triásico Superior – Jurásico, está ubicado hacia lado Este del Proyecto, se caracteriza por ser roca metalotecto (caliza), con mineralización de Pb – Zn, esta moderadamente alterada con patinas y vetilleos de óxidos y en sectores tiene presencia de caliza Chert (silicificado) con abundantes venillas de Ankeritas – Sideritas, trazas y diseminaciones de Galena y Esfalerita puntualmente (ver figura 49).

Muchos autores han realizado varios estudios sobre estas secuencias, (Laughlin, 1924) definió el Grupo Pucará en las cercanías del Goyllarisquizga. Posteriormente, (Mergard, 1968) subdividió al Grupo Pucará en las formaciones Chambará, Aramachay y Condorsinga.

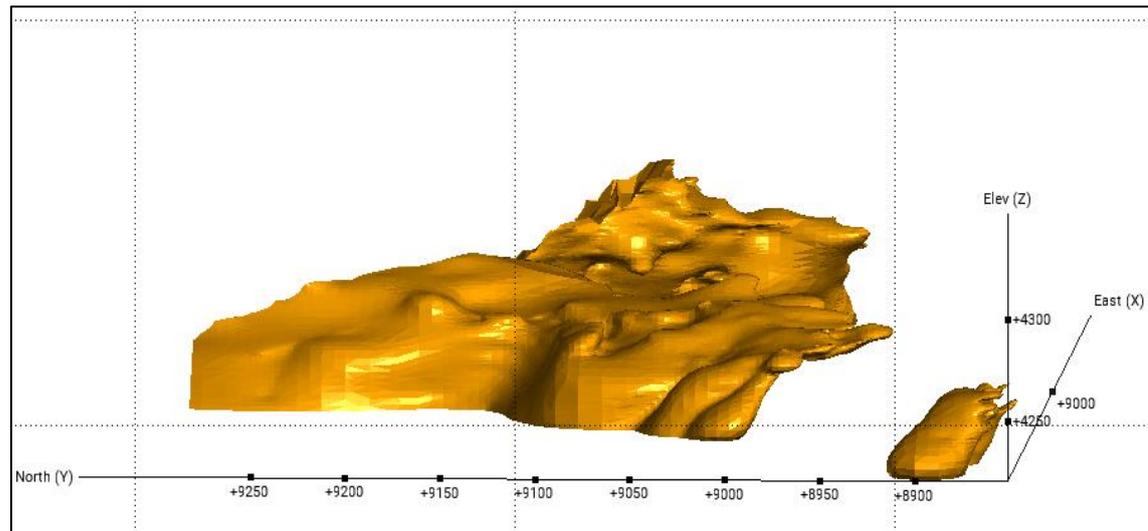


**Figura 49.** Modelo geológico grupo Pucará.

### 5.1.4.3 Cuerpo Pirita

El cuerpo de pirita se encuentra emplazada entre la brecha polimictica (brecha freática) y el Grupo Pucará, a una profundidad de 80-90m relativamente; se encuentra relacionada a los controles estructurales de la zona de estudio, principalmente a la falla longitudinal. Los datos históricos recopilados corroboran la relación del cuerpo de pirita con datos de muestreo en canales, mapeos, y taladros históricos realizados en interior mina (ver figura 50).

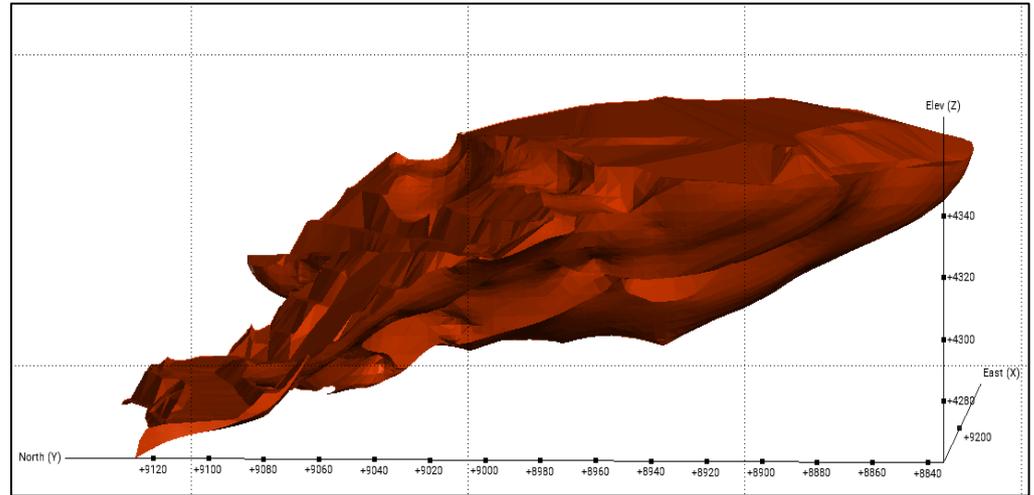
(Lacy, 1949), ha clasificado la pirita de Cerro de Pasco en seis categorías, de acuerdo a su asociación, aparente sincronización, tamaño de grano y habitud, lo que nos da a entender que este cuerpo de pirita ha tenido multieventos de formación. Einaudi (1977) considera al cuerpo de Pirita como la primera etapa de mineralización de Cerro de Pasco de igual forma Baumgarther (2007), solo con una diferencia de dos subetapas adicionales.



*Figura 50.* Modelo geológico cuerpo Pirita.

#### 5.1.4.4 Brecha Freática

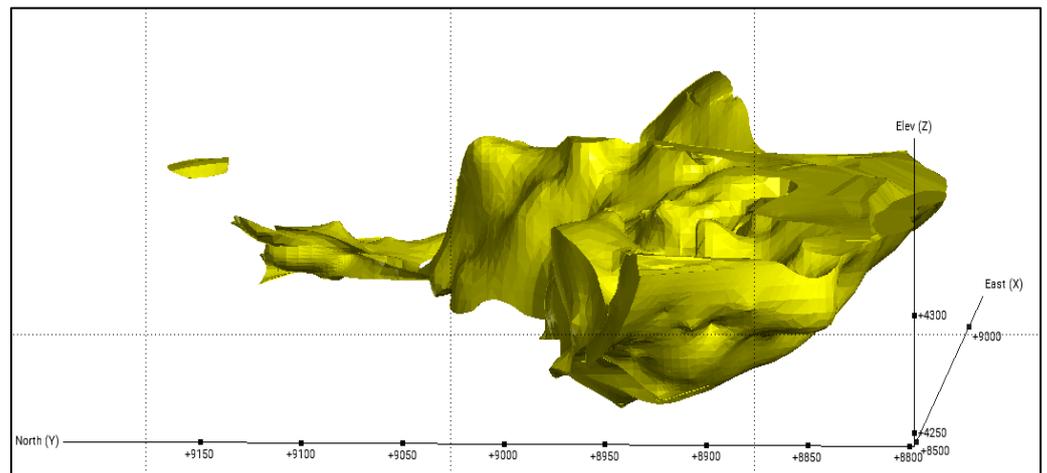
También denominada brecha CNB, está ubicado hacia el Sur Este del proyecto de investigación, es considerado como el ultimo evento de explosión y foco mineralizado, se caracteriza por ser una brecha polimictica con clastos de calizas, limos, areniscas, Py friable y/o deleznable en matriz de ceniza volcánica. Mineralógicamente tiene disseminaciones de Esfalerita – Galena; (ver figura 51) cabe mencionar que, en los análisis de multielementos se obtuvo buenos resultados de tierras raras.



**Figura 51.** Modelo geológico Brecha Freática.

#### 5.1.4.5 Brecha Hidrotermal

Está ubicado hacia el lado sur oeste del proyecto CCNB, se caracteriza por presentar una matriz fuertemente silicificada y una textura obliterada y oquerosa de matriz Jarosita, Goetita, en algunos casos se evidencio relictos del grupo Mitú, areniscas, limos y clastos volcánicos (ver figura 52). Mineralógicamente está relacionada a los controles estructurales E-W de Ag-Au.

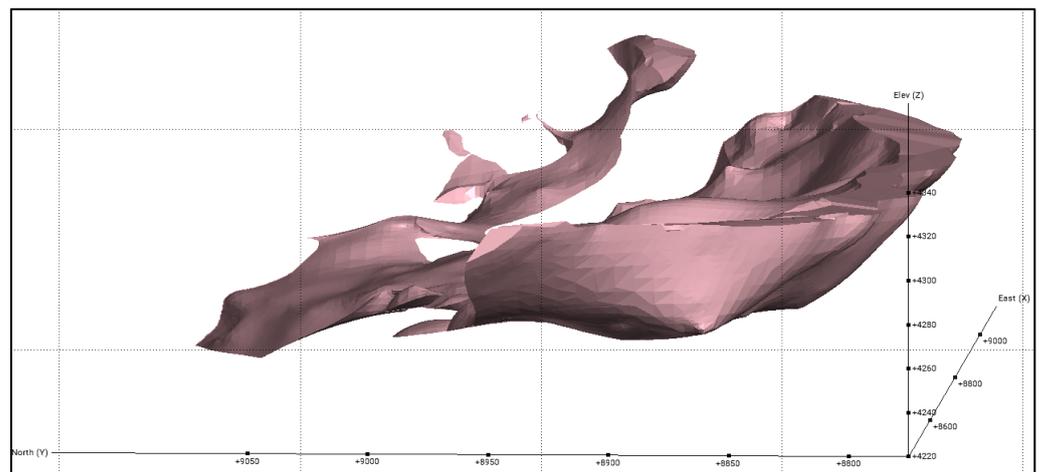


**Figura 52.** Modelo geológico Brecha Hidrotermal.

#### 5.1.4.6 Fragmental Lourdes

Es una roca volcánica (brecha polimictica) con matriz dacítica, conformado por clastos de piritas – plagioclasas – filitas, esta moderadamente agilizada, no presenta interés económico en la actualidad, en profundidades se relacionan a vetas de Cu pero de manera puntual. Una particularidad de esta litología es que presenta fragmentos de cuarzo rotos también conocidos como ojos de cuarzo. Asimismo, en la zona sur del tajo se evidencio relictos de tufos dacíticos afectado por los fluidos hidrotermales, lixiviados y por presentar una textura vuggy silice (ver figura 53).

Es la secuencia más antigua del complejo volcánico de Cerro de Pasco; descrita anteriormente por Boutwell (Bowditch 1935) originalmente llamando a esta roca “fase fragmentaria Lourdes” y la nombró una brecha intrusiva. (Laughlin, 1924), lo renombro como el tufo Lourdes.



**Figura 53.** Modelo geológico Diatrema Fragmental Lourdes.

### 5.1.4.7 Caracterización de muestras

- **Filitas**

<b>FILITA</b>			
<b>Litología</b>	Filita	<b>Coordenadas locales</b>	X: 9145 Y: 8996
<b>Formación</b>	Grupo Excelsior	<b>Zona</b>	Tajo Raul Rojas
<b>RGB Litología</b>	140, 80, 0	<b>Fecha</b>	Oct-22
<b>Descripción Macroscópica</b>	Filitas con moderada foliación.		
<b>Mineralización</b>	No presenta		
<b>Textura</b>	Foliada		
<b>Alteración</b>	No presenta		
<b>Color</b>	Gris azulado	<b>N° Muestra</b>	1
<b>Realizado por:</b>	Base de datos	<b>Revisado por</b>	A. Salinas



*Figura 54.* Descripción de muestra de mano de filita.

- **Calizas**

<b>CALIZA</b>			
<b>Litología</b>	Caliza	<b>Coordenadas locales</b>	X: 9200 Y: 9300
<b>Formación</b>	Grupo Pucará	<b>Zona</b>	Tajo Raul Rojas
<b>RGB litología</b>	151, 219, 242	<b>Fecha</b>	Oct-22
<b>Descripción Macroscópica</b>	Caliza con debil reaccion al HCL, en fracturas rellenos por oxidos y vetillas de Dolimita - Calcita - Siderita		
<b>Mineralización</b>	No presenta		
<b>Textura</b>	Packstone		
<b>Alteración</b>	Silicificación moderada		
<b>Color</b>	Gris azulado	<b>N° Muestra</b>	2
<b>Realizado por:</b>	Base de datos	<b>Revisado por</b>	A. Salinas



*Figura 55.* Descripción de muestra de mano de caliza.

- **Piritas**

PIRITA			
<b>litología</b>	Pirita Masiva	<b>Coordenadas locales</b>	X: 9304 Y:9326
<b>Formación</b>	Cuerpo de Pirita	<b>Zona</b>	Tajo Raul Rojas
<b>RGB Litología</b>	255, 140, 0	<b>Fecha</b>	Oct-22
<b>Descripción Macroscópica</b>	Pirita fina friable, cons cristales subedrales con silice gris relleno de espacios y presencia de Marmatita y Galena diss.		
<b>Mineralización</b>	Pirita friable		
<b>Textura</b>	Masiva		
<b>Alteración</b>	No presenta		
<b>Color</b>	Gris verdusco	<b>N° Muestra</b>	3
<b>Realizado por:</b>	Base de datos	<b>Revisado por</b>	A. Salinas



*Figura 56.* Descripción de muestra de mano de pirita.

- **Brecha freatica**

BRECHA CNB			
<b>Litología</b>	Brecha polimictica	<b>Coordenadas locales</b>	X: 9320 Y:9116
<b>Formación</b>	Brecha CNB	<b>Zona</b>	Tajo Raul Rojas
<b>RGB Litología</b>	0, 255, 0	<b>Fecha</b>	Oct-22
<b>Descripción Macroscópica</b>	Brecha polimictica con clastos angulosos a subangulosos de caliza, filita y limonitas; matriz soportada compuesto de ceniza semiconsolidada y polvo de roca.		
<b>Mineralización</b>	No presenta		
<b>Textura</b>	Fragmental		
<b>Alteración</b>	Argilización		
<b>Color</b>	Blanquesino	<b>N° Muestra</b>	4
<b>Realizado por:</b>	Base de datos	<b>Revisado por</b>	A. Salinas



*Figura 57.* Descripción de muestra de mano de Brecha Freatica.

- **Brecha hidrotermal**

<b>BRECHA HIDROTHERMAL</b>			
<b>Litología</b>	Brecha Hidrotermal	<b>Coordenadas locales</b>	X: 9212 Y:9022
<b>Formación</b>	Bx Hidrotermal	<b>Zona</b>	Tajo Raul Rojas
<b>RGB Litología</b>	255, 255, 115	<b>Fecha</b>	Oct-22
<b>Descripción Macroscópica</b>	Brecha polimictica con clastos angulosos a subangulosos con fuerte oxidación y algunos lixiviados, con matriz soportada de sílice.		
<b>Mineralización</b>	No presenta		
<b>Textura</b>	Fragmental		
<b>Alteración</b>	Silicificación		
<b>Color</b>	Marron	<b>N° Muestra</b>	6
<b>Realizado por:</b>	Base de datos	<b>Revisado por</b>	A. Salinas



Figura 58. Descripción de muestra de mano de Brecha Hidrotermal.

- **Fragmental Lourdes**

<b>FRAGMENTAL LOURDES</b>			
<b>Litología</b>	Fragmental Lourdes	<b>Coordenadas locales</b>	X: 8923 Y:9170
<b>Formación</b>	Frag Lourdes	<b>Zona</b>	Tajo Raul Rojas
<b>RGB Litología</b>	132, 0, 168	<b>Fecha</b>	Oct-22
<b>Descripción Macroscópica</b>	Brecha polimictica con clastos sub - redondeados de caliza, filita, arenisca con matriz soporte tobacea de composición dacítica, se puede observar cristales de cuarzo rotos.		
<b>Mineralización</b>	No presenta		
<b>Textura</b>	Fragmental		
<b>Alteración</b>	Argilización		
<b>Color</b>	Blanquesino	<b>N° Muestra</b>	5
<b>Realizado por:</b>	Base de datos	<b>Revisado por</b>	A. Salinas



Figura 59. Descripción de muestra de mano de Fragmental Lourdes.

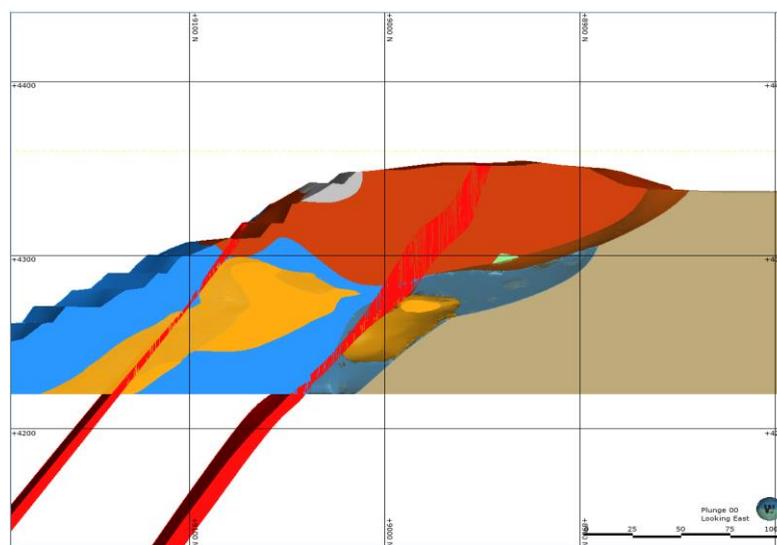
## 5.2 RELACIÓN E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE ESPECTRÓMETRO CON LOS DOMINIOS GEOLÓGICOS

### 5.2.1 Interpretación de dominios estructurales

En la proyección de las estructuras hasta la interacción con la falla longitudinal, tenemos que el contenido de plata – plomo se incrementa hacia zona Oeste, esto probablemente ocasionado por un control litológico.

En este sector tenemos el emplazamiento de brechas hidrotermales (paso de fluidos), las cuales presentan una fuerte oxidación. Estas brechas oxidadas se restringen hasta la falla longitudinal donde se emplaza la brecha CNB, que es posterior a las brechas hidrotermales oxidadas, ya que dentro de sus clastos se ha encontrado clastos mineralizados y oxidados.

A partir de la cota 4300 msnm en promedio se pudo apreciar que la zona de oxidación grada a una zona de mixtos (óxidos – sulfuros), de ahí hacia cotas más bajas tenemos estructuras de Esfalerita – Galena – Piritita fina, controladas por fallas con orientación de N340° Y Bz70°. (ver figura 60).



**Figura 60.** Sección con vistas al E, vetas San Anselmo – Cleopatra.

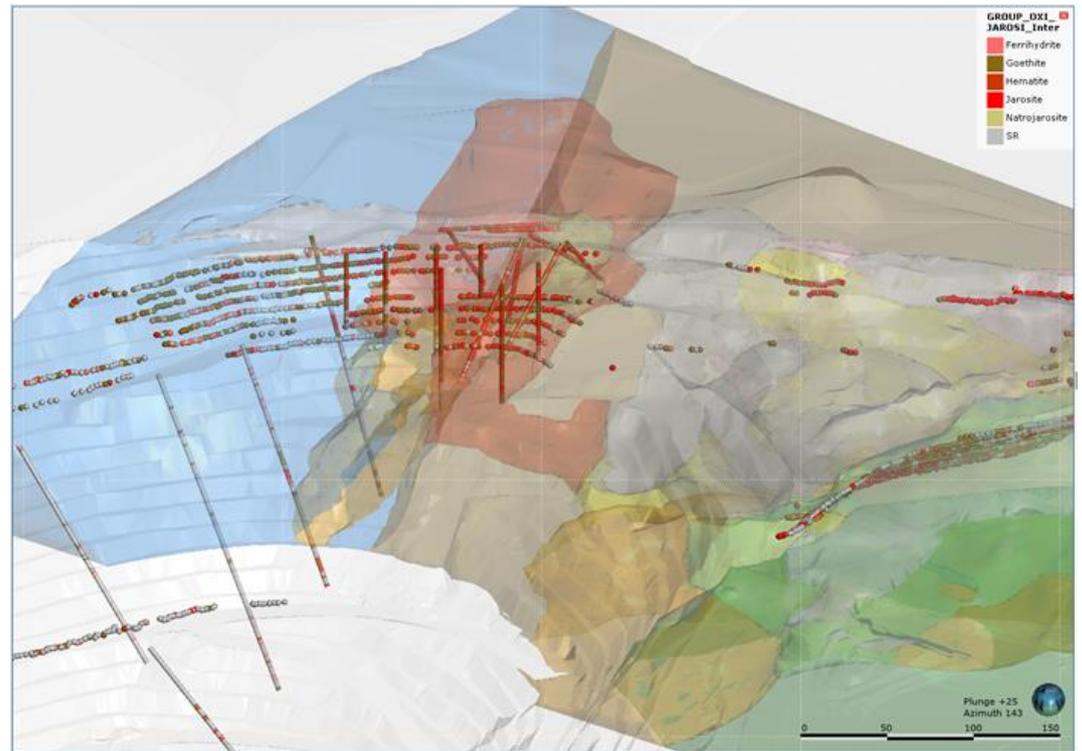


## **5.2.2 Interpretación de resultados de espectrómetro con dominios**

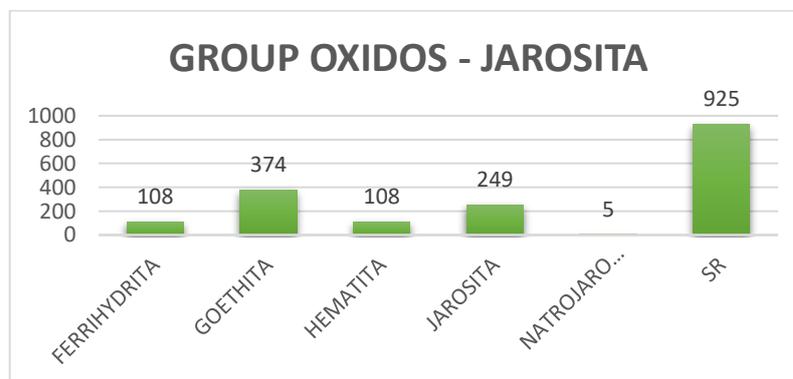
### **litológicos**

#### **5.2.2.1 Grupo óxidos**

En el proceso de recopilación de información geológica, fue necesario realizar lecturas con el equipo Terraspec Halo en sondajes diamantinos históricos, el cual se leen un total de 381 muestras, principalmente en 06 taladros que interceptan en la Brecha Freática también denominada Brecha CNB. Hacia el lado sur del proyecto de investigación los resultados guardan relación con las muestras obtenidas en superficie, con mayor predominación de Jarosita y Goetita y hacia el lado sureste de manera puntual los minerales de Goetita, Ferreidrita y Jarosita, normalmente en fracturas rellenadas por óxidos y hacia la parte superficial del tajo. Según el modelo geológico en 3D se observa claramente dentro del contorno de la Brecha CNB, el cual ha sido guía importante para definir los intercepto de contactos litológicos. (ver figura 61).



**Figura 61.** Ensamble mineralógico del grupo Óxidos – Jarosita; (Ferrihidrita, Goetita, Hematita, Jarosita, Natrojarosita).



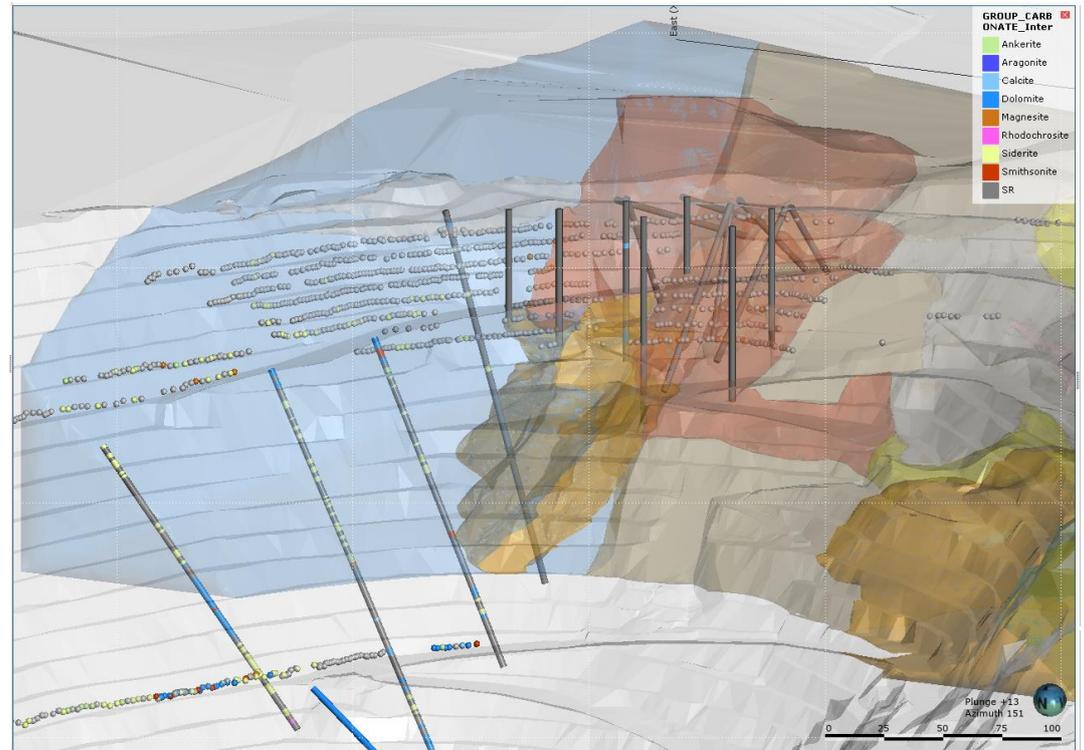
**Figura 62.** Cantidad de lecturas grupo de Óxidos.

En el área de estudio se determinó mayor presencia del grupo de óxidos, principalmente de minerales de Goetita (374 lecturas), que se encuentran en las Brechas freáticas en la matriz sobre todo hacia la superficie y en algunos casos en fragmentos. Seguido por el mineral Jarosita (249 lecturas), se encuentra en las brechas en forma de parches y patinas. Finalmente, las Hematitas (108 lecturas), se encuentran en forma

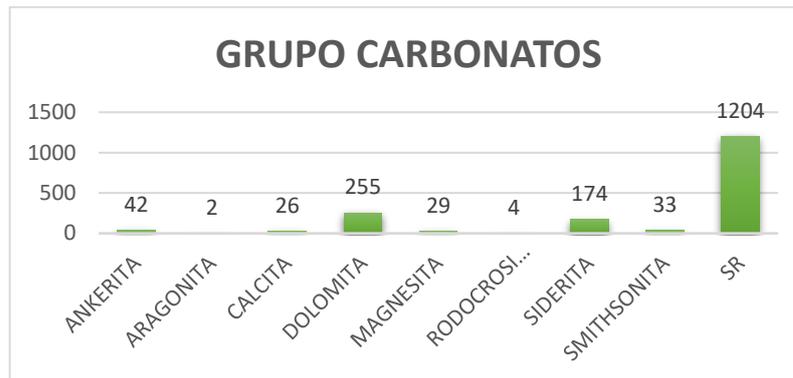
de patinas y rellenando oquedades (ver figura 62).

### 5.2.2.2 Grupo carbonatos

El grupo de carbonatos está ubicado al lado Este del proyecto de investigación y lo conforma el grupo Pucará (calizas), existen 03 taladros históricos con más lecturas de minerales de Siderita, Calcita y Dolomita, este último se encuentra en niveles más bajos del tajo, los cuales han sido evidenciados en el proceso de logeo de los sondajes históricos, asimismo, fue clave identificar los vetillos de siderita ya que guardan relación con los minerales de Pb y Zn. Estos detalles obtenidos en la caracterización de los taladros y mapeos ayudo a interpretar el dominio del grupo Pucará, conformado por calizas de textura craquelada y vetillos de Dolomita y Calcita. (ver figura 63).



**Figura 63.** Ensamble mineralógico del grupo de carbonatos; (Ankerita, Aragonito, Calcita, Dolomita, Magnesita, Rodocrosita, Siderita, Smithsoniana).

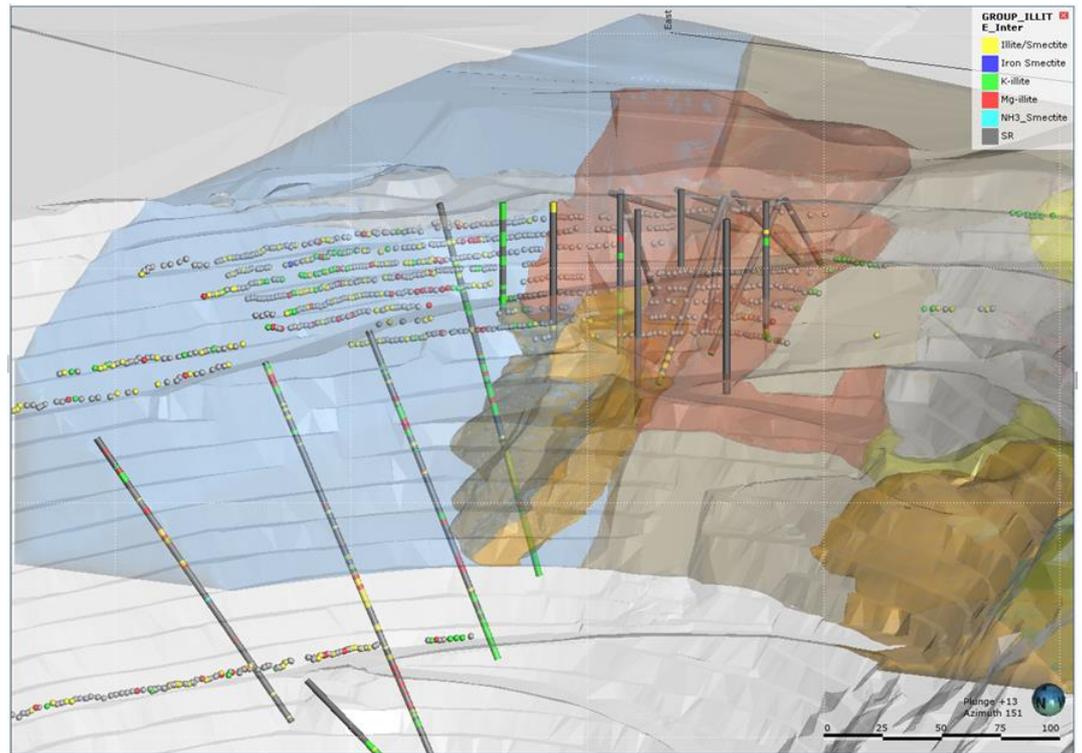


**Figura 64.** Cantidad de lecturas grupo de Carbonatos.

Los minerales letrados por el equipo Terraspec evidencian que el grupo de los carbonatos únicamente se detectaron en calizas del grupo Pucará, las dolomitas (255 lecturas), se presentan en forma de vetillas asociado a las sideritas (174 lecturas) (ver figura 64).

### 5.2.2.3 Grupo Illitas

El grupo de las Illitas han sido reconocidas por el equipo Terraspec en el grupo Pucará, hacia el lado Sureste del área de estudio, conformado por los minerales de Illita y Smectita principalmente. Cabe mencionar que este grupo de minerales guarda relación con las rocas sedimentarias. Existen 03 taladros históricos con resultados de Illita a los 111 m – 124 metros de profundidad y hacia el lado Sur predominan muestras puntuales de Illita – Mg Illita – K – Illita, esto debido a la presencia de clastos sedimentarios de caliza que conforman la Brecha Freatica. En cuanto a las muestras superficiales es variable y de manera puntual tal es el caso de Mg Illita – Iron Smectita. (ver figura 65).



**Figura 65.** Ensamble mineralógico del grupo de Illitas; (Illita/Smectita, Iron Smectita, K-Illita, Mg – Illita).



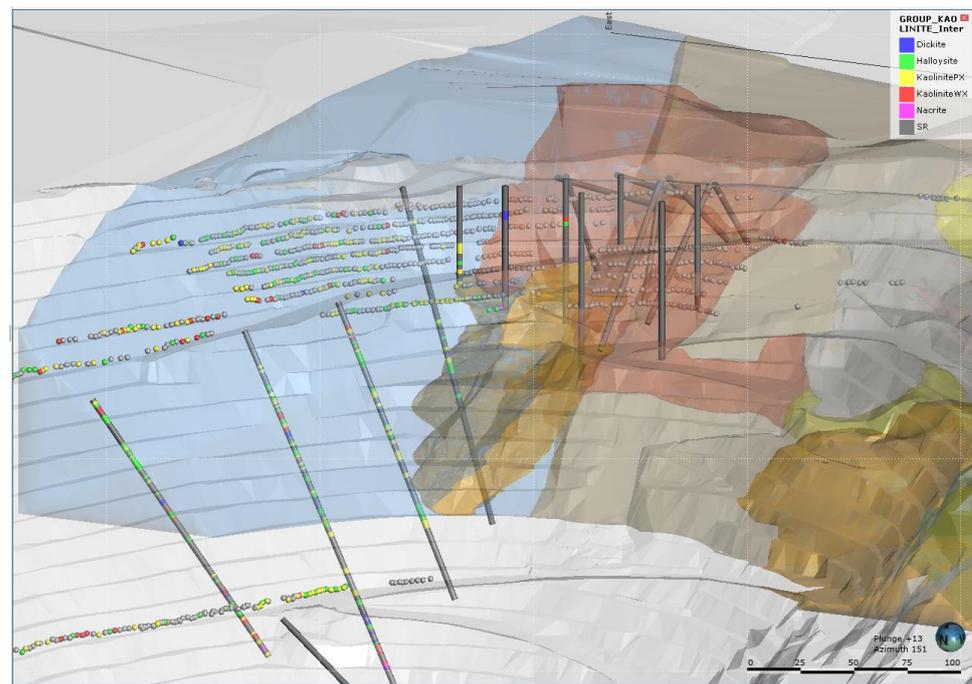
**Figura 66.** Cantidad de lecturas grupo de Illitas.

Según resultados del Equipo Terraspec se tiene un total de 1338 muestras sin reconocer (SR) (ver figura 66), lo que significa que las rocas sedimentarias son alteradas ya sea por fluidos hidrotermales, la actividad volcánica, des carbonatación entre otros.

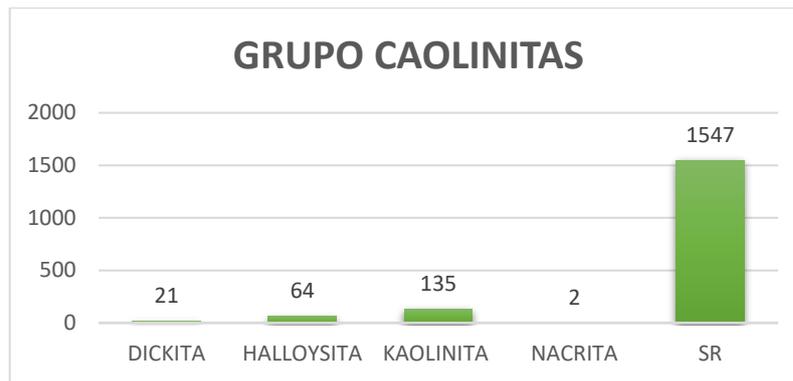
#### 5.2.2.4 Grupo caolinitas

El Grupo de las Caolinitas se encuentran hacia el lado Sureste

exactamente en el grupo Pucará. Según logeo geológico de los sondajes históricos y considerando los límites de contactos litológicos se evidencia en 04 sondajes con mayor predominancia de Caolinita y Halloysita a profundidades intermedias, básicamente se presentan en zonas de fracturamiento y en la zona de calizas craqueladas. En cuanto a las muestras superficiales, fue necesario realizar más lecturas con el equipo Terraspec para una mejor interpretación, sin embargo, por las zonas inaccesibles solo se obtuvo resultados de Caolinita PX y Halloysitas, cabe mencionar que, este grupo de minerales no es muy común en la zona de estudio, pero se evidencio en la zona Suroeste del tajo Raul Rojas. (ver figura 67).



**Figura 67.** Ensamble mineralógico del grupo de caolinitas; (Dickita, Halloysita, Caolinita PX, Caolinita WX, Nacrita).

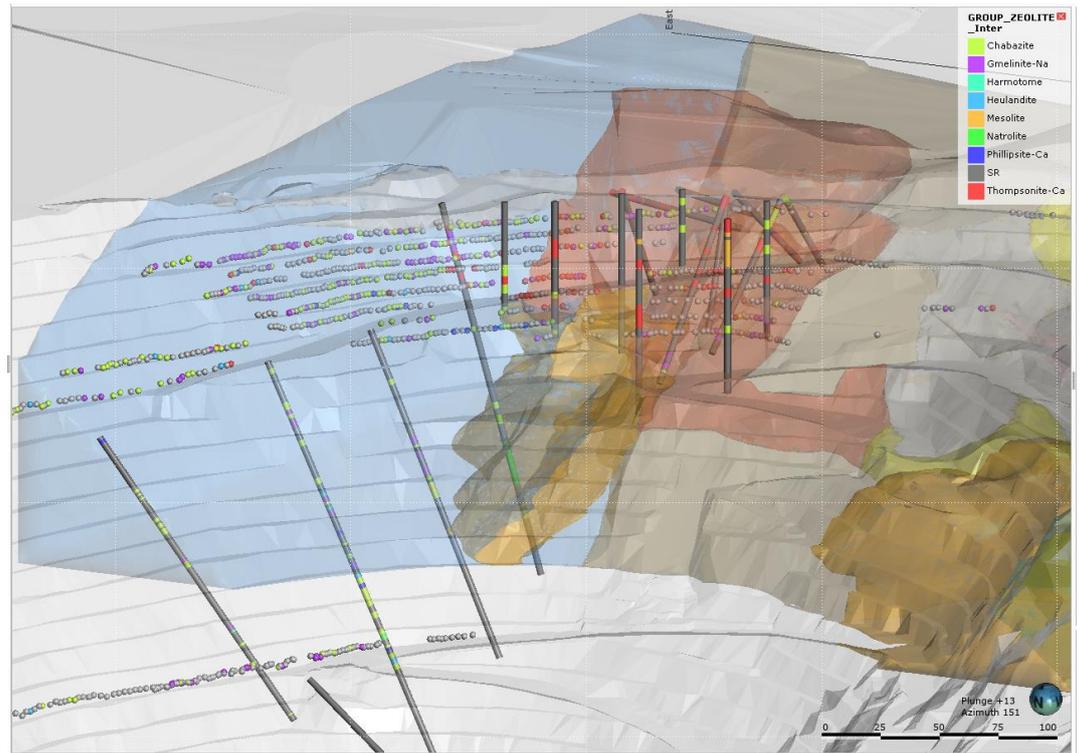


**Figura 68.** Cantidad de lecturas de grupo de Caolinitas.

Según resultados del Equipo Terraspec se tiene un total de 1547 muestras sin reconocer (SR), 135 lecturas de Caolinita, 64 lecturas de Halloysita seguido por Dickita de manera puntual (ver figura 68).

#### 5.2.2.5 Grupo zeolitas

El Grupo de las Zeolitas se encuentra de manera dispersa en el área de investigación, en la zona Sur del proyecto se ha caracterizado las Brechas Freáticas asociadas al grupo de minerales de Thompsonita Ca, Chabazita y Mesolita. Es importante resaltar que el taladro RD-CNB-08-06 que corta el cuerpo de pirita el cual obtuvo como resultado la Natrolita, Sin embargo, es necesario contar con más información de testigos de perforación para una mejor interpretación del cuerpo de pirita. En el Grupo **Pucará** ubicado hacia el lado Este del Proyecto se encuentra minerales de Gmelinita y Chabazitas. (ver figura 69).



**Figura 69.** Ensamble mineralógico del grupo de Zeolite; (Chabazita, Gmelinita Na, Harmotoma, Heulandita, Mesolita, Natrolita, Phillipsita – Ca, Thomsonita – Ca).



**Figura 70.** Cantidad de lecturas de grupo Zeolitas.

El grupo de zeolitas no es muy común en área de investigación, se obtuvo resultados de manera puntual los minerales; Chabazita (96 lecturas) y Thomsonita (46 lecturas) (ver figura 70).

## 5.2.3 Interpolación con dominios geoquímicos – mineralógicos

### 5.2.3.1 Muestreo superficial

Se hizo por el método de canales, teniendo como prioridad el muestreo de estructuras tales como vetas, fallas con relleno de mineral, (ver figura 71). El proceso de QA/QC ha sido definida por las siguientes características: el batch está conformado por 30 muestras y una inserción de 7 controles (total 37 muestras), 01 muestra gemela (supervisada por el geólogo encargado), duplicado grueso – fino, blanco grueso – fino, generalmente ubicado después de una muestra mineralizada para medir la contaminación en el proceso de análisis, finalmente dos estándares (bajo, medio y/o alto).

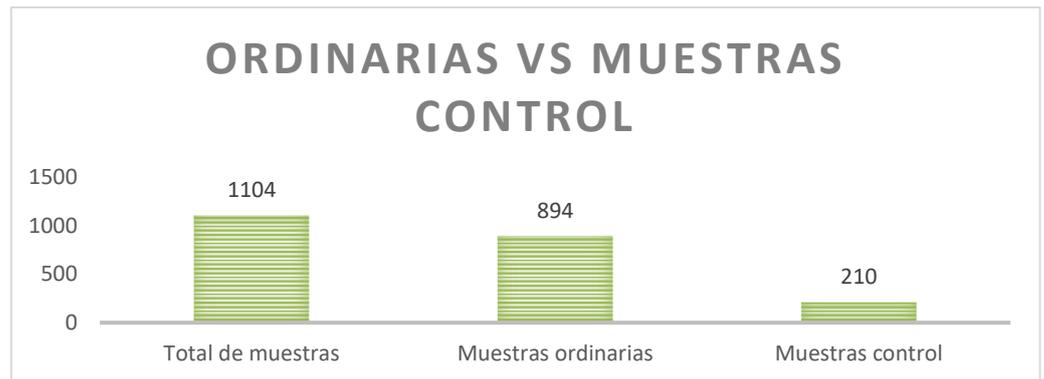


**Figura 71.** Muestreo en canales del proyecto CCNB, ancho 0.2m. longitud 1.07m.

### 5.2.3.2 Re-muestreo de sondajes

Se enviaron a laboratorio interno, un total de 1104 muestras de las cuales 894 muestras son ordinarias, esto representa el 81% del total y 210

son muestras controles los cuales representan el 19% del total (ver figura 72). Los métodos de análisis usados son el método de ICP (Induced Couple Plasma), los elementos analizados son Pb, Zn, Fe, Mn, Cu, Ag, Bi, As, Sb, así mismo el uso de método Fire Assay para determinar los valores de Au (Oro) que no han sido ensayados anteriormente.



**Figura 72.** Muestras totales de remuestreo vs QA/QC.



**Figura 73.** Remuestreo de sondajes e inserción de controles.

### 5.2.3.3 Verificación de control de calidad

Se considero el programa de inserción de controles de calidad en las etapas esenciales de la secuencia de muestreo – preparación – análisis. (ver figura 74).

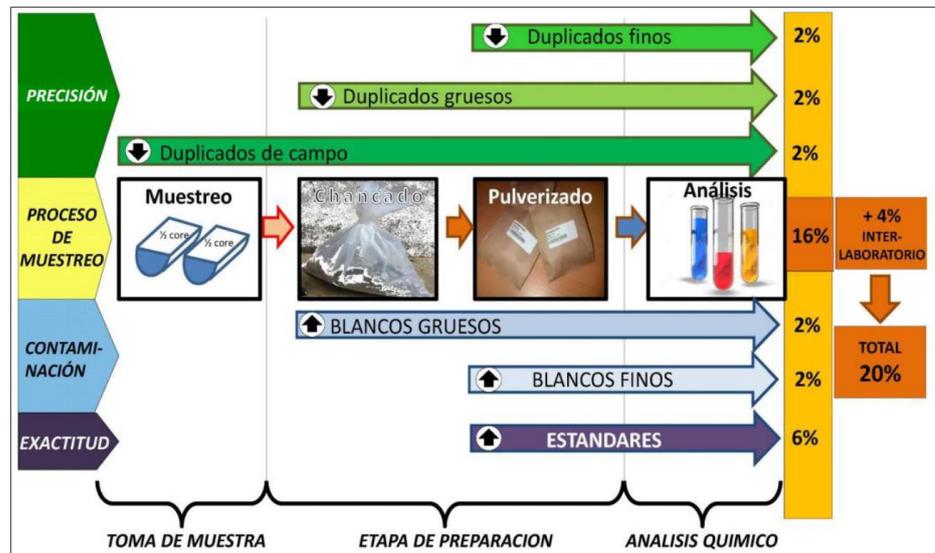


Figura 74. Frecuencia de inserción de muestras de control.

- **Muestras gemelas**

Para un total de 894 muestras, 30 gemelas fueron evaluadas para las cuales el rango de inserción fue de 3.4%. Los gráficos de control de Gemelas se prepararon para todos los elementos principales (Cu, Pb, Zn y Ag). Que establece el error relativo de muestras gemelas 30% ( $m=1.35$ ) (ver tabla 11).

**Tabla 11**  
Resultados de muestras Gemelas.

Elemento	Unidad	Total Muestras	Total Controles	% Controles	Nro. Errores	Tasa de Error (%)	Evaluación
Cu	%	894	30	3.40%	0	0.00%	Aceptable
Pb	%	894	30	3.40%	2	6.70%	Aceptable
Zn	%	894	30	3.40%	1	3.30%	Aceptable
Ag	oz	894	30	3.40%	1	3.30%	Aceptable

Lo resultados del análisis se encuentran dentro del rango aceptable para los elementos Cu, Pb, Zn y Ag.

- **Duplicados gruesos**

Para un total de 894 muestras, 30 Duplicados Gruesos fueron revisadas para las cuales el rango de inserción es de 3.4%. Los gráficos de control de Duplicados Gruesos se prepararon para todos los elementos estudiados (Cu, Pb, Zn y Ag). Que establece el límite de error relativo máximo 20% (ver tabla 12).

**Tabla 12**

*Resultados de Duplicados Gruesos.*

Elemento	Unidad	Total Muestras	Total Controles	% Controlados	Nro. Errores	Tasa de Error (%)	Evaluación
Cu	%	894	30	3.40%	1	3.30%	Aceptable
Pb	%	894	30	3.40%	3	10.00%	Aceptable
Zn	%	894	30	3.40%	1	3.30%	Aceptable
Ag	oz	894	30	3.40%	1	3.30%	Aceptable

Lo resultados del análisis se encuentran dentro del rango aceptable para los elementos Cu, Pb, Zn y Ag.

- **Duplicados finos**

Para un total de 894 muestras, 30 Duplicados Finos fueron revisadas para las cuales el rango de inserción es de 3.4%. Los gráficos de control de Duplicados Finos se prepararon para todos los elementos estudiados (Cu, Pb, Zn y Ag). Que establece el límite de error relativo máximo a 10% (ver tabla 13).

**Tabla 13***Resultados de muestras Duplicados Finos.*

Elemento	Unidad	Total Muestras	Total Controles	% Controles	Nro. Errores	Tasa de Error (%)	Evaluación
Cu	%	894	30	3.40%	0	0.00%	Aceptable
Pb	%	894	30	3.40%	0	0.00%	Aceptable
Zn	%	894	30	3.40%	0	0.00%	Aceptable
Ag	oz	894	30	3.40%	0	0.00%	Aceptable

El resultado en la tasa de errores para el proyecto Cola Calle Noruega Bajo, es aceptable para todos los elementos.

- **Blancos Gruesos**

Para un total de 894 muestras, 30 Blancos Gruesos fueron evaluados para las cuales el rango de inserción fue de 3.4%. Los blancos gruesos se prepararon para todos los elementos estudiados (Cu, Pb, Zn y Ag). Sin embargo, en el proceso de preparación se genera contaminación en Zn (ver tabla 14).

**Tabla 14***Resultados de Blancos Gruesos.*

Elemento	Unidad	Total Muestras	Total BG	Nro. Errores	% Fallos	de Evaluación
Cu	%	894	30	0.00%	0	Aceptable
Pb	%	894	30	0.00%	0	Aceptable
Zn	%	894	30	100.00%	0.033	No Aceptable
Ag	oz	894	30	0.00%	0	Aceptable

Se analizaron los controles de contaminación en las etapas de preparación y análisis, se identificó contaminación en el elemento Zn en el proceso de preparación.

- **Blancos Finos**

Para un total de 894 muestras, 30 Blancos Finos fueron evaluados para las cuales el rango de inserción fue de 3.4%. Los blancos finos se prepararon para todos los elementos estudiados (Cu, Pb, Zn y Ag). Sin embargo, en el proceso de análisis se genera contaminación en Zn (ver tabla 15).

**Tabla 15**  
*Resultados de Blancos Finos.*

Elemento	Unidad	Total Muestras	Total BF	Nro. Errores	% de Fallos	Evaluación
Cu	%	894	30	0.0%	0	Aceptable
Pb	%	894	30	0.0%	0	Aceptable
Zn	%	894	30	100%	0.03	No Aceptable
Ag	oz	894	30	0.0%	0	Aceptable

No se identificaron casos de contaminación para los elementos de Cu, Pb y Ag. Al igual que en los gruesos hubo un periodo de contaminación en Zn del Proyecto.

- **Estándar bajo**

Existe buena exactitud para los elementos Zn y Ag, cuestionable para Cu y Pb (ver tabla 16).

**Tabla 16**  
*Resultados de Estándar Bajo.*

Elemento	Unidad	Total Estándares	Rechazados	Sesgo Final	Evaluación
Cu	%	39	1	10.20%	Inaceptable
Pb	%	39	1	6.44%	Cuestionable
Zn	%	39	1	2.48%	Bueno
Ag	Oz	39	0	0.91%	Bueno

- **Estándar medio**

Hay buena exactitud para los elementos Cu, Pb, Zn y Ag (ver tabla 17).

**Tabla 17**  
*Resultados de Estándar Medio.*

Elemento	Unidad	Total Estándares	Rechazados	Sesgo Final	Evaluación
Cu	%	14	0	1.15%	Bueno
Pb	%	14	0	0.00%	Bueno
Zn	%	14	0	0.00%	Bueno
Ag	oz	14	0	0.74%	Bueno

- **Estándar alto**

Existe una buena exactitud para los elementos de Cu, Pb, Zn y Ag (ver tabla 18).

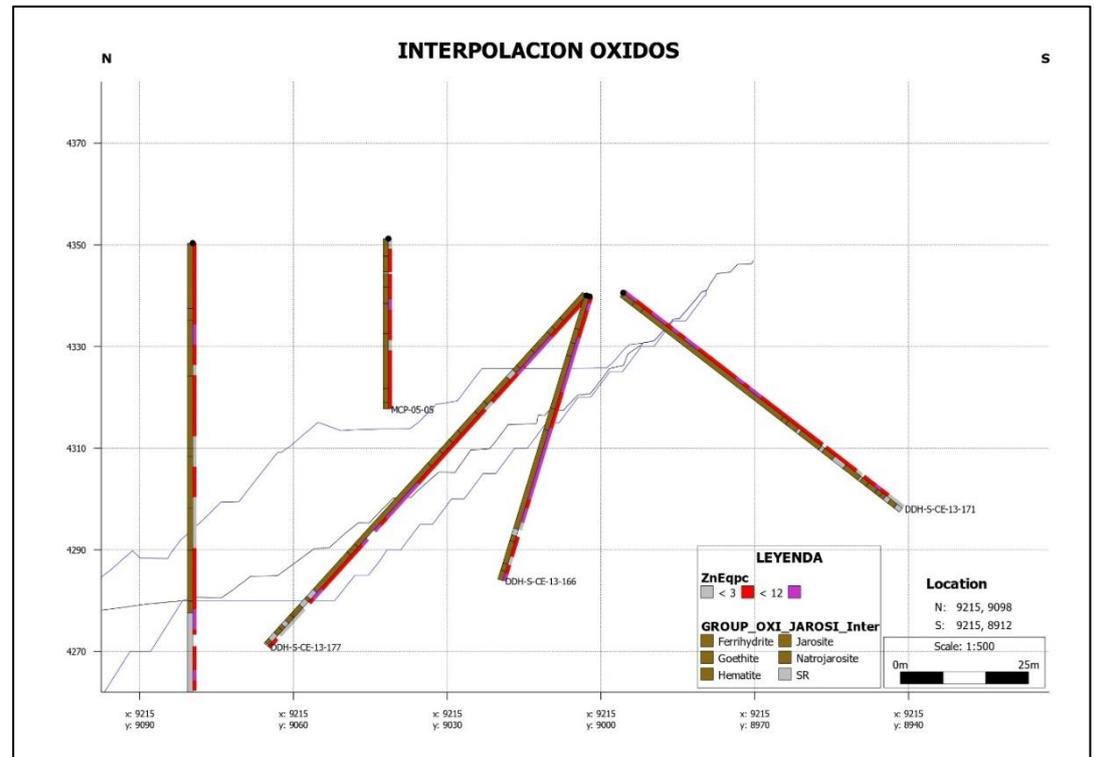
**Tabla 18**  
*Resultados de Estándar Alto.*

Elemento	Unidad	Total Estándares	Rechazados	Sesgo Final	Evaluación
Cu	%	7	1	1.73%	Bueno
Pb	%	7	0	0.26%	Bueno
Zn	%	7	0	0.30%	Bueno
Ag	oz	7	1	1.19%	Bueno

#### 5.2.3.4 Interpolación de grupo de Óxidos y Jarosita

La zona de estudio se caracteriza por presentar fuerte alteración de óxidos en la parte superficial, el cual tiene una potencia entre 30 – 40 metros aproximadamente, esto se interpretó por las observaciones en el proceso de logeo y lectura con Terraspec Halo de los testigos de perforación DDH. Se tuvo como resultado un gran dominio de este grupo, principalmente de Ferrihidrita, Jarosita, Goetita, Natrojarosita y Hematita. La interpretación de la interpolación de datos tomados con el equipo

Terraspec Halo mostró una asociación con la mineralización de Pb – Zn entre 3% – 12% bastante considerable en leyes promedio (ver figura 75).

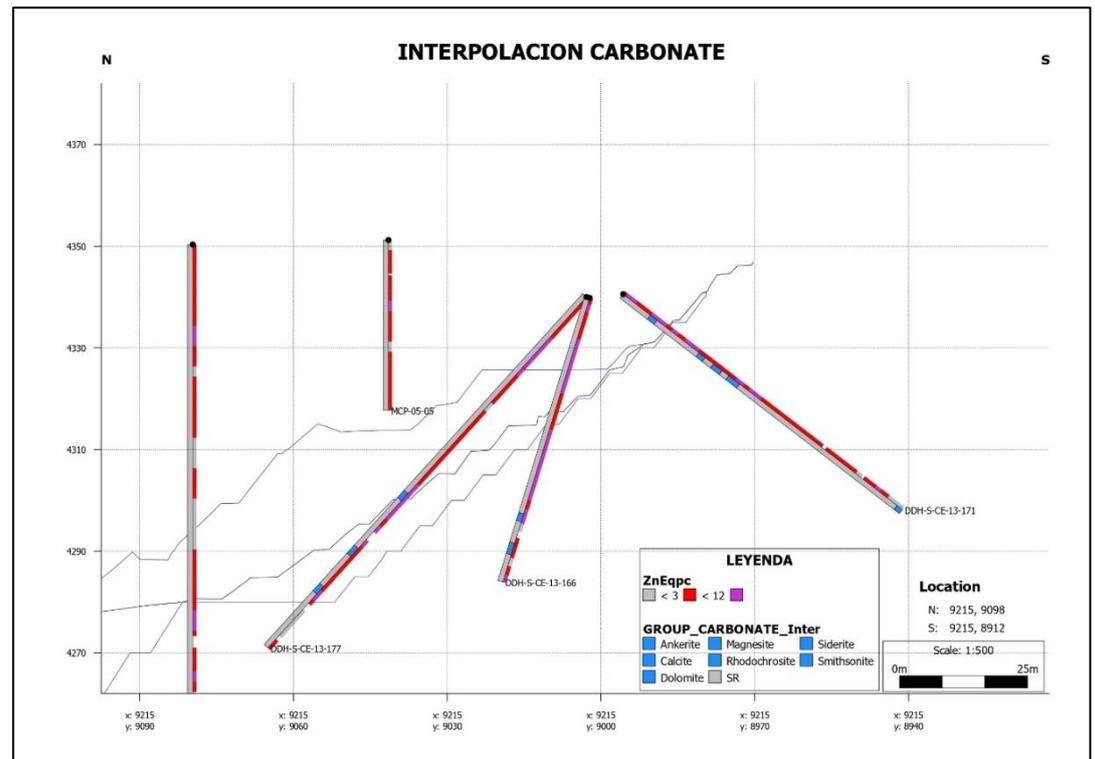


**Figura 75.** Interpolación de Óxidos Vs leyes de Zn equivalente.

### 5.2.3.5 Interpolación de Carbonatos

Se encontró una zonación de minerales carbonatados cuyas lecturas por Terraspec son; Ankerita, Calcita, Dolomita, Magnesita, Rodocrosita, Siderita y Smithsonita. Básicamente el zoneamiento de carbonatos es significativo para el proyecto Cola Calle Noruega Bajo, en vista de que la mineralización de Pb-Zn se encuentra en disseminaciones y vetillas rellenando fracturas en la roca metalotecto del grupo **Pucará**. Asimismo, ha sido necesario contar con más taladros de perforación diamantina para generar interpolación de leyes vs resultados de Terraspec. Sin embargo, existen algunas lecturas puntuales que guardan relación con los resultados

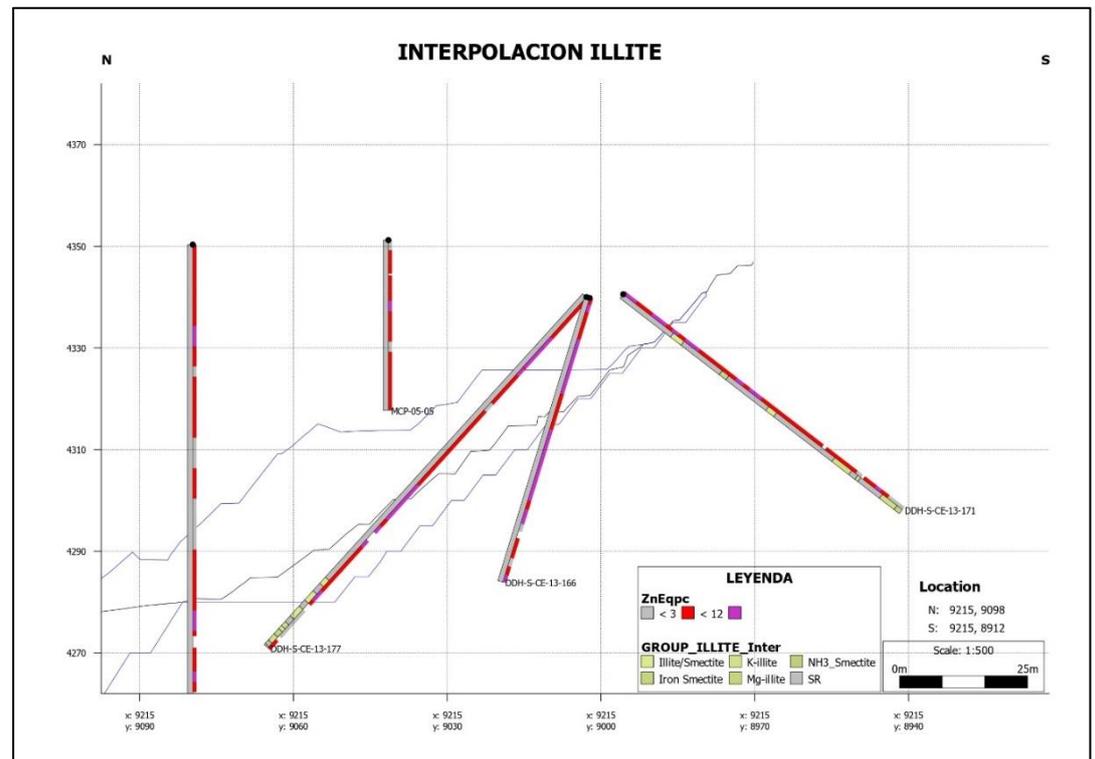
geoquímicos entre el 3% de Zn (ver figura 76).



**Figura 76.** Interpolación de Carbonatos Vs leyes de Zn equivalente.

### 5.2.3.6 Interpolación grupo de Illitas

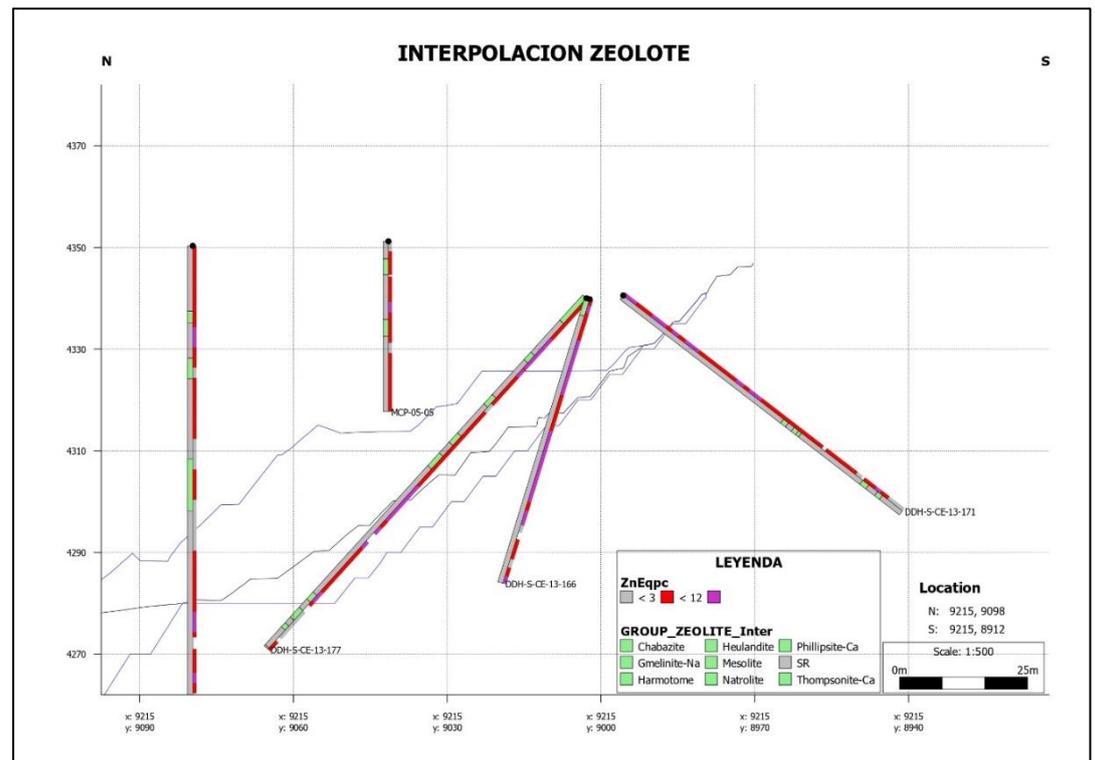
En fluidos con un Ph 4 - 6 dominan los minerales del grupo de Illita. La profundidad y temperatura tienen relación en las cuencas sedimentarias como de campos geotermales activos obteniendo resultados de los ensambles mineralógicos como; Illita/Smectita, Iron Smectita, K-Illita, Mg-Illita, NH<sub>3</sub>Smectita con una relación esporádica de polimetálicos. Este grupo mineral no ha sido de mucha relevancia para buscar relación en las envolventes de interés económico en la zona de estudio, ya que al momento de realizar el remuestreo de sondajes históricos se evidencian tramos sin testigo, el cual se cree que hubo baja recuperación de muestras (ver figura 77).



**Figura 77.** Interpolación de Illitas Vs leyes de Zn equivalente.

### 5.2.3.7 Interpolación grupo de Zeolitas

Es relativamente importante en ambientes termales y consiste en una asociación tales como; Chabazita, Gemelinita-Na, Harmotome, Heulandita, Mesolita, Natrolita, Phillipsita-Ca y Thompsonita – Ca. El grupo de las zeolitas (Natrolita, Chabazita, Mesolita y Heulandandita) guardan relación con los elementos de interés de Pb – Zn menores al 3%, estos resultados geoquímicos y de espectrómetro resultan de interés económico, ya que en la actualidad la ley cut off en la mina Cerro de Pasco es entre 2% a 2.5% (ver figura 78).

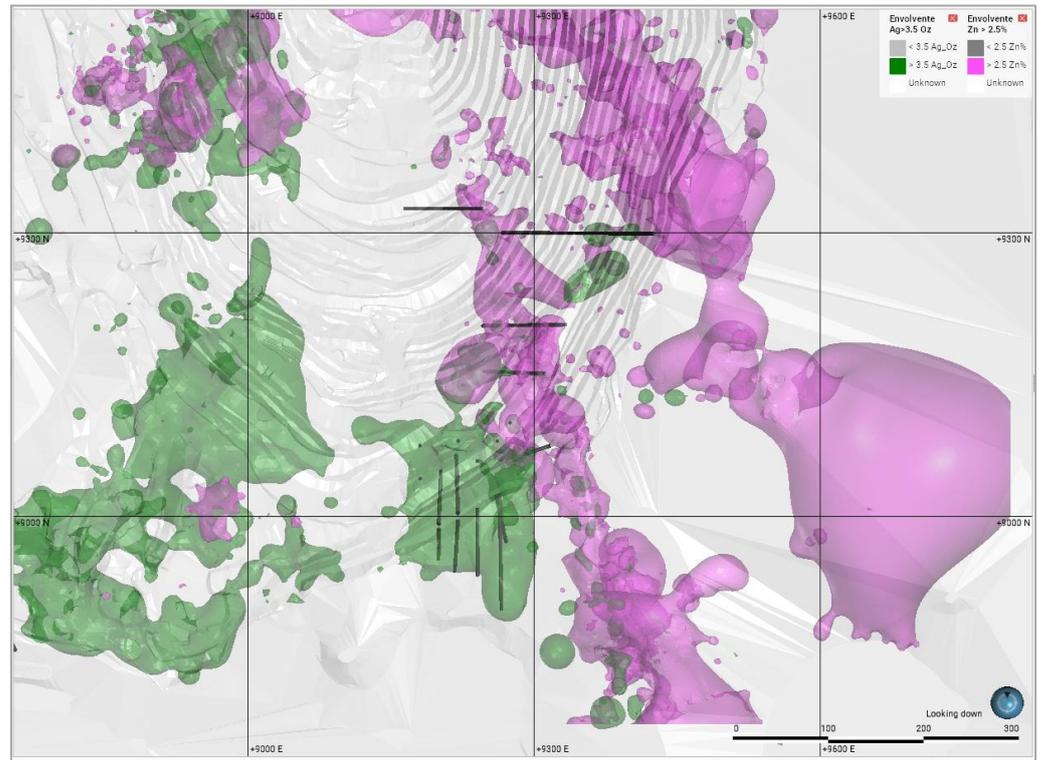


**Figura 78.** Interpolación de Zeolita Vs leyes de Zn equivalente.

### 5.2.3.8 Interpretación y potencial económico

En la zona sur del Tajo Raul Rojas (Proyecto Calle Noruega Bajo), se realizó envolventes de minerales de interés económico en Ag-Zn, por el método de intrusión en el software Leapfrog. Como resultado se obtuvo cuerpos polimetálicos hacia el lado Este del proyecto con concentraciones de  $Zn > 2.5\%$  y hacia las oeste concentraciones de  $Ag > 3.5Oz$  (ver figura 79). Los resultados se obtuvieron a partir de información de taladros de perforación histórica registrados en la unidad GDMS (base de datos central – Volcan) y otros validados con hojas de logueo respectivamente. Cabe mencionar que, en la información histórica se encontró envolventes equivalentes de Plomo Zinc y Plata con data de 2700 taladros y en la actualidad se trabaja con información validada de 5257 taladros de collar, assay, survey y litología, por lo tanto, los sólidos en 3D son más ajustados

y confiables para los elementos de interés económico.



**Figura 79.** Envoltura de leyes en  $Zn > 2.5\%$  y  $Ag > 3.5Oz$



## VI. CONCLUSIONES

1. Se ha logrado caracterizar los principales dominios geológicos a escala 1/500, litoestratigráficamente; el grupo Excelsior, conformado por rocas metamórficas pizarras y filitas; grupo Pucará conformado por rocas sedimentarias calizas con vetilleos de Ankerita y Siderita; Cuerpo de pirita, conformado por piritas friables o deleznales y piritas masivas; Brecha Freática, conformado por clastos de limos, areniscas y piritas; Brecha Hidrotermal, de textura oquerosa con clastos obliterados del grupo Mitú y Tufo Dacítico; Fragmental Lourdes, conformado por clastos polimicticos de filitas y piritas. Los dos principales controles estructurales E -W que controlan la mineralización de CCNB; las alteraciones reconocidas son: dolomitización Ankerita -Siderita, Argilización, Silice Clay y Silice Masiva; mineralógicamente se ha caracterizado zonas de transición de Ag – Pb y Zn.

2. Se logro relacionar e interpretar los resultados con espectrómetro que mostraron los siguientes grupos: óxidos (Ferrihidrita, Goetita, Hematita, Jarosita, Natrojarosita); carbonatos (Ankerita, Aragonito, Calcita, Dolomita, Magnesita, Rodocrosita, Siderita, Smithsonita); caolinitas (Dickita, Halloysita, Caolinita, Nacrita); zeolitas (Chabazita, Gmelinita Na, Harmotome, Heulandita, Mesolita, Natrolita, Phillipsita – Ca, Thompsonita – Ca) y grupo de Illitas (Illita/Esmectita, Iron Esmectita, K – Illita, Mg Illita, Esmectita). El grupo de los óxidos Jarosita es la guía para el descubrimiento de nuevos targets de exploración, el cual ocurre en la Brecha, cuyas leyes son;  $Pb > 0.8\%$ ,  $Zn > 1.5\%$ , asimismo, el cuerpo de piritas, ubicado a mayor profundidad está asociada a la mineralización masiva de Galena y Marmatita con resultados minerales de Chalcantite, Zeolite y Jarosita. El principal control estructural es la veta cleopatra con minerales de Jarosita y Goetita.



## VII. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar campañas de perforación diamantina en el proyecto Cola Calle Noruega Bajo, en las labores antiguas con una proyección al cuerpo CNB, para definir recursos medidos e indicados. Además de obtener mayores resultados mineralógicos de espectrómetro Terraspec Halo.
2. Adquirir licencias de software TSG, para el análisis geológico de datos de reflectancia espectral de minerales y crear bibliotecas minerales por proyectos de exploración.



## VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Angeles, C. (1999). Los sedimentos cenozoicos de Cerro de Pasco: Estratigrafía, sedimentación y tectónica en Sociedad Geológica del Perú. 103 - 118.
- Armando, S. (2013). Taller de Aseguramiento y Control de la Calidad. *Control y Aseguramiento de Calidad en la Exploración Minera* (págs. 5 - 119). Chile: International Chile S.A.
- Baumgartner, R. (2007). Sources and evolution in space and time of hydrothermal fluids at the Cerro de Pasco cordilleran base metal deposit, Central Peru. Thèse Docteur, Université de Genève, Section des Sciences de la Terre, Terre and Environnement. . 66 - 167.
- COMPANY, A. P. (2015). *The Terraspec Halo is the mineral identifier tool for the modern geologist*. Obtenido de [https://www.jsindustrial.com.pe/wp-content/uploads/2021/10/A4-DIST-TerraSpec-Halo-Product-Sheet\\_tcm61-61708.pdf](https://www.jsindustrial.com.pe/wp-content/uploads/2021/10/A4-DIST-TerraSpec-Halo-Product-Sheet_tcm61-61708.pdf).
- Cornelius, K., & Hurlbut, J. (1997). *Manual de Mineralogía*. Edicon Española.
- Cutipa, R. (2020). *Diagrama de procesos de Terraspec Halo*. Cerro de Pasco.
- Gallardo M., Acurio, C., & Cuellar, D. (2019). *Informe de Relogeo de sondajes de Pared Oeste, CCNB y San Alberto*. Pasco.
- Gallardo, M. (2019). *Estructura de metadatos para el Proyecto de Exploraciones Cerro de Pasco*. PASCO.
- Gottardi, G. (1989). *The genesis of zeolites*. Eur. J. Mineral pp. 477 - 487.
- Hawkes. (1975). *Halos y patrones de dispersión*.
- Hemley, J. (1959). Some mineralogical equilibria in the system K<sub>2</sub>O - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - SiO<sub>2</sub> - H<sub>2</sub>O. *American Journal Science*, 257 - 241 - 270.



- Hemley, J., Montoya, J., Marinenko, J., & Luce, R. (1980). *Equilibria in the system Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O and some general implications for alteration/ mineralization processes*. Econ Geol .
- Hemley, R., & Ellis, A. (1983). *Geothermal systems ancient and modern: a geochemical review*. Earth - science reviews 1 -50.
- Infopanalytical. (2017). Terraspec Halo. En *Manual de usuario* (págs. 10 - 80). ASD.
- Jenks, W. (1951). Triassic to Tertiary stratigraphy near Cerro. 203 - 220.
- Jiexiang, G. y. (31 de Junio de 1993). The application of natural zeolite in China. *Zeolites and their Application in the Decontamination of Mine Wastewater*. Wester Australia: Congress Applied Mineralogy.
- Lacy, W. (1949). Types of pyrite and their relations to mineralization at Cerro de Pasco, Peru . *Harvard University*, 193.
- Laughlin, M. (1924). *Notas sobre la Geología y fisiografía de los andes peruanos en los departamentos de unin y Lima*. Perú.
- Mergard, F. (1968). "Geología del cuadrangulo de Huancayo" Instituto Geologico, Minero y Metalurgico. 18.
- Mina, E. d. (2019). *Informe del Estatus del area de Geología Exploraciones*. Cerro de Pasco.
- Niggli, P. (1929). *Ore Deposits of Magmatic Origin*. London: Thomas Murby.
- Perez, D., Buzo, P., Maza, S., Mirabal, R., Ongay, M., & Ruiz, M. (1997). Depósitos de zeolitas. En D. Perez, P. Buzo, S. Maza, R. Mirabal, M. Ongay, & M. Ruiz, *Depósitos de zeolitas Facultat de Geología. Universitat de Barcelona. Fundació Folch* (págs. 333 - 341). Barcelona.
- Rivera, H. (2001). *Introduccion a la geoquímica general y aplicada*. Lima: Grafica Retai.
- Rose, A., & Burt, D. (1979). *Hydrothermal Alteration*. En: *Geochemistry of*



- Hydrothermal Ore Deposits, Segunda Edición, Hubert L. Barnes (ed.). Wiley Interscience Publication 173 - 235.*
- Salinas, A. (2019). *Informe de muestreo en Canales en Tajo Raul Rojas*. Cerro de Pasco.
- Sampieri, R. H., Fenandez Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). Metodología de la investigación. 36 -37.
- Sanchez Soto, P., & Perez Rodriguez, J. (1998). Características generales, propiedades, yacimientos y aplicaciones de pirofilita. I: Estructura, síntesis y características termicas. 1 - 2.
- Stoffregen, R. (1987). Genesis of Acid-Sulfate Alteration and Au-Cu-Ag Mineralization at Summitville, Colorado. 6 - 82.
- Supko P. R. (1977). Subsurface dolomites, San Salvador.
- Townley, B. K. (23 de Julio de 2001). Metalogenesis: Hidrotermalismo y Modelos de Yacimientos. *Metalogenesis*. Chile: Geología económica Departamento de Geología Universidad de Chile.
- Townley, B. K. (2005). Yacimientos Minerales y Procesos Geológicos. *Departamento de Geología - Universidad de Chile; Santiago, Chile*.
- Vargas A., P. (2008). Introducción a la espectroscopia de reflectancia (VNIR - SWIR). *REFLEX HALO* (págs. 2 - 48). REFLEX.
- Winter, J. D. (2001). *An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology*. Georgia Southwestern State University.: Pag 434 - 435.
- <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/manage-data/shapefiles/shapefile-file-extensions.htm>. (01 de JULIO de 2022).

## ANEXOS

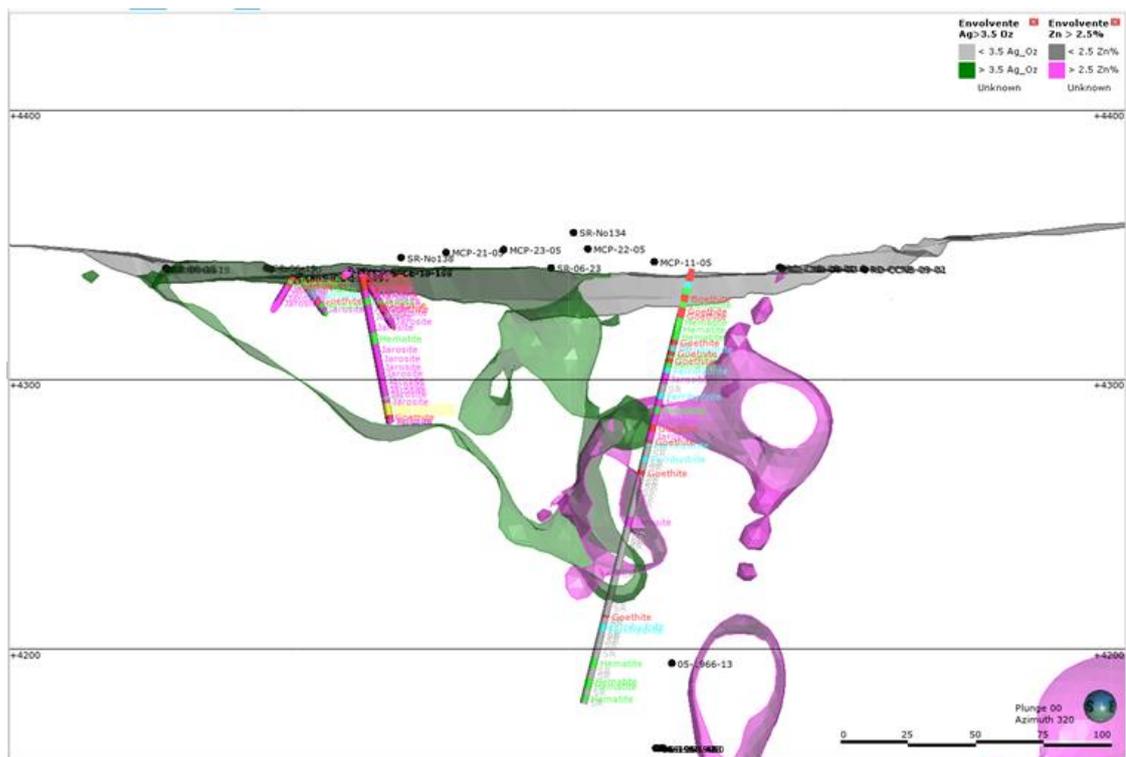
**Anexo 01.** Sección de envoltente de Zn – Ag vs grupo Jarosita óxidos, sondajes de mejor intercepto.

**Anexo 02.** Sección de envoltente de Zn – Ag vs grupo de Carbonatos, sondaje de mejor intercepto.

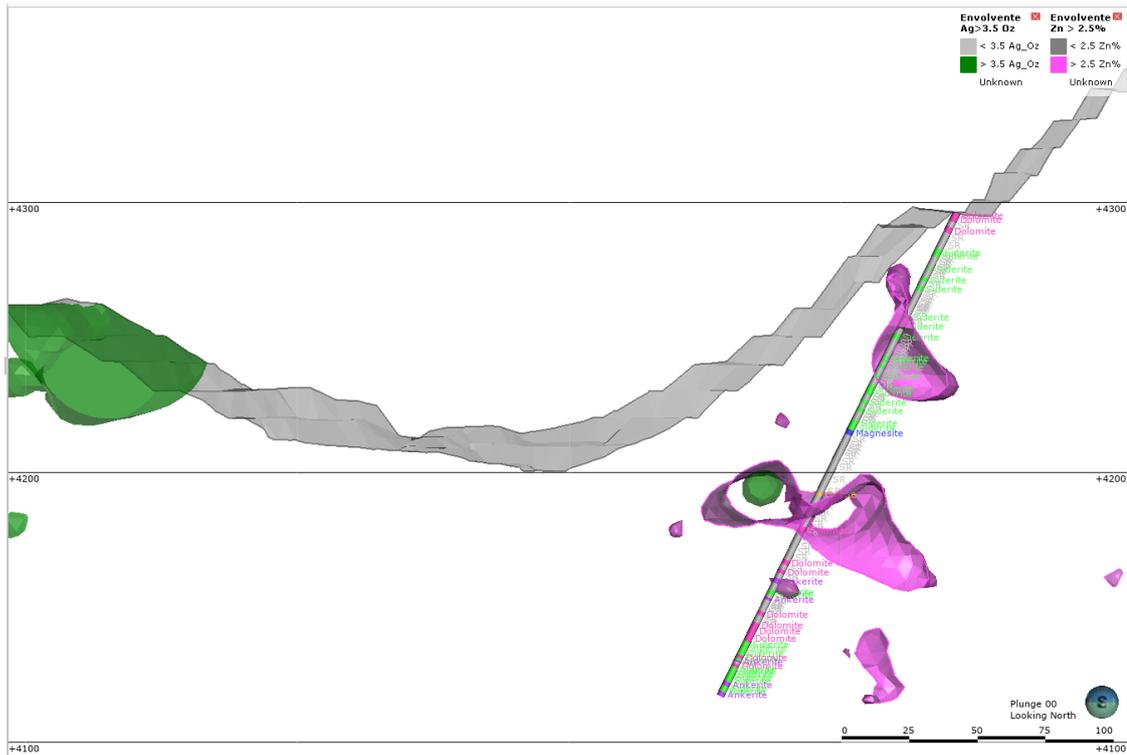
**Anexo 03.** Sección de envoltente de Zn – Ag vs grupo de Illita Smectita, sondaje de mejor intercepto.

**Anexo 04.** Vista en planta Cuerpo CNB.

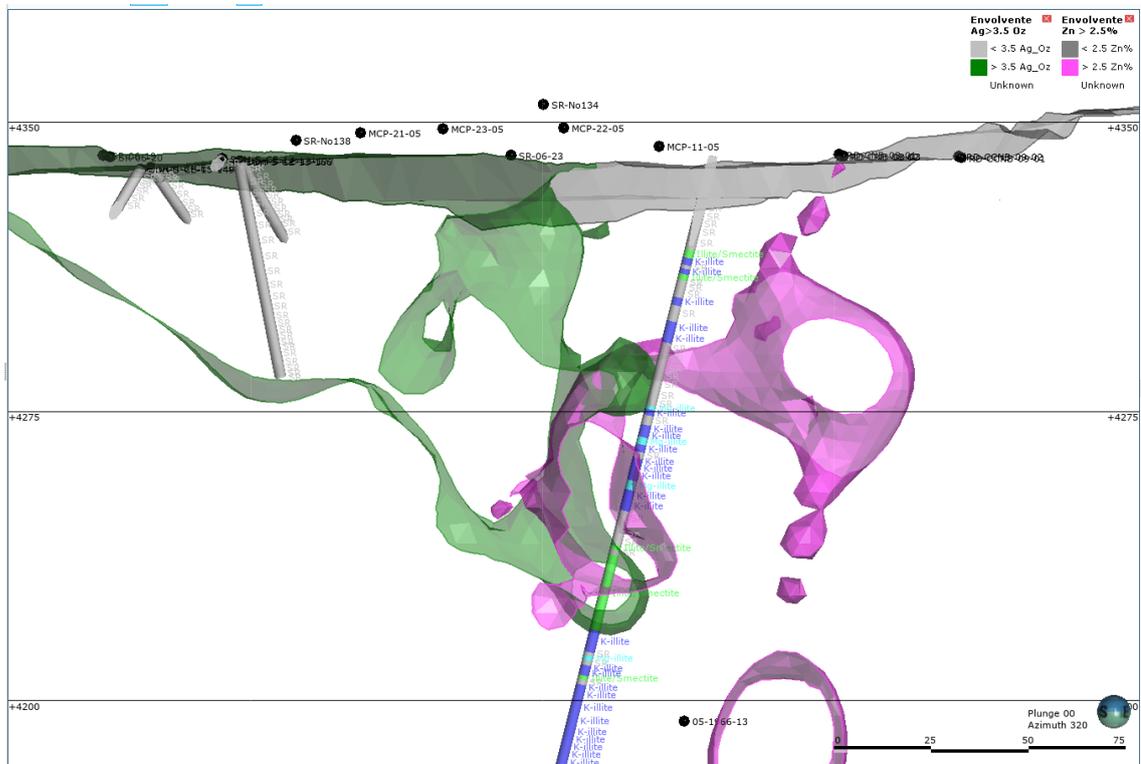
**Anexo 05.** Clasificación de biblioteca mineras – U.M. Cerro.



Anexo 01. Sección de envoltente de Zn – Ag vs grupo Jarosita óxidos, sondajes de mejor intercepto.

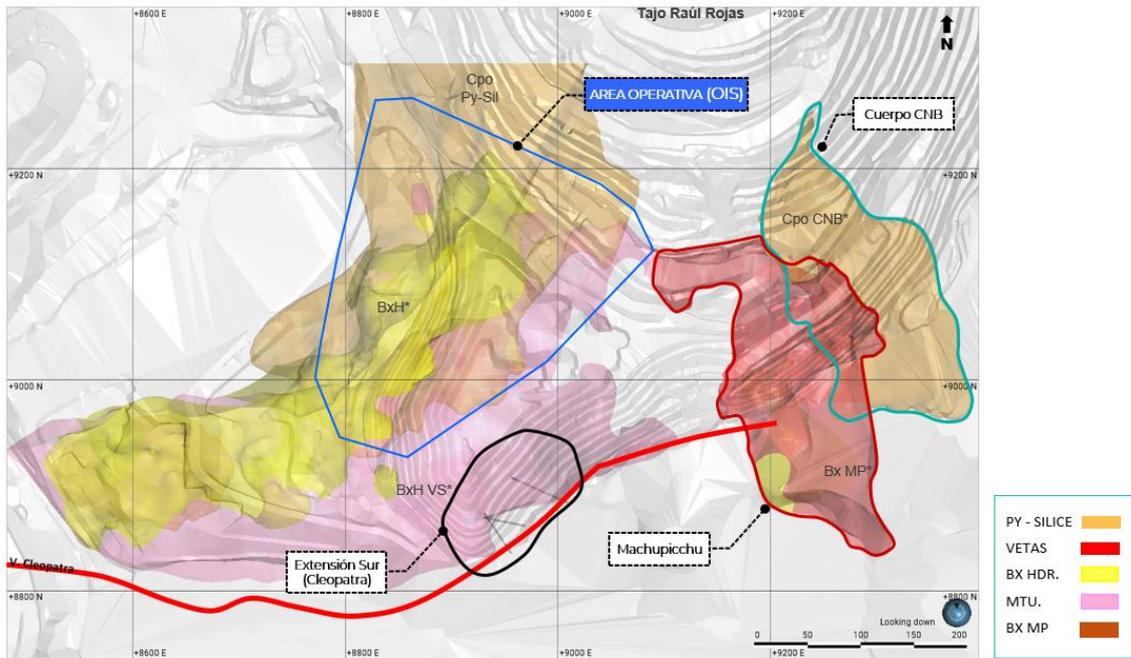


Anexo 02. Sección de envoltente de Zn – Ag vs grupo de Carbonatos, sondaje de mejor intercepto.



Anexo 03. Sección de envoltente de Zn – Ag vs grupo de Illita Smectita, sondaje de mejor intercepto.

intercepto.



Anexo 04. Vista en planta Cuerpo CNB.

<b>BIBLIOTECA MINERAL CERRO</b>	
<b>GRUPO DEL CAOLIN</b>	
Nacrita	1
Dickita	2
CaolinitaWX	3
CaolinitaPX	4
Halloysita	5
SR	Sin registro
<b>ILLITA</b>	
K-illita	1
Mg-illita	2
Illita/Esmectita	3
Iron Esmectita	4
NH3_Esmectita	4
SR	Sin registro
<b>GRUPO DE ZEOLITAS</b>	
Laumontita	1
Heulandita	2
Chabazita	3
Gmelinita-Na	4
Thompsonita-Ca	5
Phillipsita-Ca	6
<b>GRUPO DE MICAS</b>	
Muscovita	1
Paragonita	2
Fengita	3
Lepidolita	4
Flogopita	5
SR	Sin registro
<b>OXIDOS - JAROSITA</b>	
Jarosita	1
Natrojarosita	2
Hematita	3
Goetita	4
SR	Sin registro
<b>GRUPO MONTMORILLONITA</b>	
Montmorillonita	1
Beidelita	2
Nontronita	3
SR	Sin registro
<b>GRUPO DE CLAYS</b>	
Vermiculita	1
Sepiolita	1



Natrolita	7
Mesolita	8
Harmotoma	9
SR	Sin registro
<b>GRUPO DE CARBONATOS</b>	
Siderita	1
Ankerita	2
Smithsonita	3
Rodocrocita	4
Dolomita	5
Aragonito	6
Magnesita	7
Calcita	8
SR	Sin registro
<b>GRUPO DE CLORITAS</b>	
FeCloritas	1
FeMgCloritas	1
SR	Sin registro

Rectorita	1
Palygorskita	1
Saponita	1
Iron Saponita	1
SR	Sin registro
<b>ANFIBOLES</b>	
Glaucofana	1
Hornblenda	2
SR	Sin registro
<b>GRUPO DE EPIDOTAS</b>	
Epidota	1
Clinozoisita	2
Zoisita	3
SR	Sin registro

Anexo 05. Clasificación de biblioteca mineras – U.M. Cerro.



## DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo YANETH RUBEANIZA CUMPA PACHACUTE  
, identificado con DNI 70093291 en mi condición de egresado de:

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

INGENIERIA GEOLOGICA

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

" DETERMINACIÓN DE ALTERACIONES HIDROTERMALES CON ESPECTROMETRO

TERRASPEC HAZO DEL PROYECTO COLA CAÑE NORUEGA BAJO CHAUPITARCA - CERRO

" 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 06 de NOVIEMBRE del 2023

FIRMA (obligatoria)



Huella



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

Por el presente documento, Yo YANETH RUBENIZA GARCIA PACHACUTE  
, identificado con DNI 70093291 en mi condición de egresado de:

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

INGENIERIA GEOLÓGICA

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

Título Profesional denominado:

"DETERMINACIÓN DE ALTERACIONES HIDROTERMIALES CON ESPECTROMETRO TERMOSEC  
HAJO DEL ASAYCERO COLA COLLE MURUGA BAZO CUMENYACA - CERRO DE PASO"

"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 06 de NOVIEMBRE del 2023

  
FIRMA (obligatoria)



Huella