

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA



TESIS

**PROSPECCIÓN GEOLÓGICA Y GEOQUÍMICA PARA LA EXPLORACIÓN DE
COBRE EN EL SECTOR MINAS PUNKU – YANAOCA - CUSCO 2024**

PRESENTADO POR:

Br. EDWIN MAMANI CHOQUETAYPE
Br. KEIKO ROCIO CHOQUE QUISPE

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL
DE INGENIERO GEÓLOGO**

ASESOR:

Dr. FREDY VÍCTOR BUSTAMANTE PRADO

CUSCO – PERÚ

2025



Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

INFORME DE SIMILITUD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-321-2025-UNSAAC)

El que suscribe, el **Asesor** **FREDDY VÍCTOR BUSTAMANTE PRADO**
..... quien aplica el software de detección de similitud al
trabajo de investigación/tesis titulada: **PROSPECCIÓN GEOLÓGICA Y**
GEOQUÍMICA PARA LA EXPLORACIÓN DE COBRE EN EL SECTOR
MINAS PUNKU - YANAOCA - CUSCO 2024

Presentado por: **KETKO ROCIO CHOQUE QUISPE** DNI N° **76202113** ;

presentado por: **EDWIN MAMANI CHOQUETAIPE** DNI N°: **73665097**

Para optar el título Profesional/Grado Académico de **INGENIERO GEOLOGO**

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por **2** veces, mediante el Software de Similitud, conforme al Art. 6º del **Reglamento para Uso del Sistema Detección de Similitud en la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de **7** %.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No sobrepasa el porcentaje aceptado de similitud.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las subsanaciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, conforme al reglamento, quien a su vez eleva el informe al Vicerrectorado de Investigación para que tome las acciones correspondientes; Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de Asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto las primeras páginas del reporte del Sistema de Detección de Similitud.

Cusco, **4** de **DICIEMBRE** de 20...**25**.....


Firma

Post firma **Freddy Víctor Bustamante Prado.**

Nro. de DNI **29457662**

ORCID del Asesor **0000-0001-6291-7541**

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: oid: **27259536398143**

Prospeccion geologica y geoquimica para la exploracion de Cu en el sector Minas Punku_2024_Revisado.pdf

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:536398143

232 páginas

Fecha de entrega

4 dic 2025, 11:55 a.m. GMT-5

25.826 palabras

Fecha de descarga

4 dic 2025, 12:02 p.m. GMT-5

158.000 caracteres

Nombre del archivo

Prospeccion geologica y geoquimica para la exploracion de Cu en el sector Minas Punku_2024_Re....pdf

Tamaño del archivo

19.4 MB

7% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- | | |
|----|---|
| 7% |  Fuentes de Internet |
| 1% |  Publicaciones |
| 4% |  Trabajos entregados (trabajos del estudiante) |

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

 **Caracteres reemplazados**

50 caracteres sospechosos en N.º de páginas

Las letras son intercambiadas por caracteres similares de otro alfabeto.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

INDICE

<i>RESUMEN</i>	1
<i>INTRODUCCIÓN</i>	3
<i>CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES</i>	5
 1.1 Ubicación	5
1.1.1 Ubicación Política	5
1.1.2 Ubicación Geográfica.....	5
 1.2 Accesibilidad	6
 1.3 Planteamiento del problema.....	8
 1.4 Formulación del Problema	9
1.4.1 Problema General.....	9
1.4.2 Problema Específico.....	9
 1.5 Justificación.....	9
1.5.1 Conveniencia.....	9
1.5.2 Relevancia Social	9
1.5.3 Implicaciones Prácticas	10
1.5.4 Valor Teórico	10
1.5.5 Utilidad Metodológica.....	10
 1.6 Objetivos.....	10
1.6.1 Objetivo General	10
1.6.2 Objetivos Específicos.....	11

1.7 Hipótesis	11
1.7.1 Hipótesis General	11
1.7.2 Hipótesis Específicas.....	11
1.8 Variables.....	12
1.8.1 Variable 1	12
1.8.2 Variable 2	12
1.8.4 Variables Operacionales.....	13
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	14
2.1 Antecedentes	14
2.1.1 Antecedentes Regionales.....	14
2.1.2 Antecedentes Nacionales.....	15
2.1.3 Antecedentes Internacionales	15
2.2 Conceptos Teóricas.....	18
2.2.1 Bases teóricas Geológicas	18
2.2.2 Bases teóricas de Estadística	28
2.2.3 Bases teóricas de fluorescencia de rayos X	32
2.2.4 Bases teóricas de estudios de Terraspec	37
CAPITULO III: METODOLOGIA	38
3.1 Método de investigación (enfoque):	38
3.2 Tipo y nivel de investigación (alcance):	39
3.3 Diseño de investigación:	40
3.4 Metodología de trabajo	41
3.4.1 Etapa de gabinete pre-campo	41
3.4.2 Etapa de trabajo en campo.....	41

3.4.3 Etapa de laboratorio	44
3.4.4 Etapa de gabinete post-campo	44
3.5 Técnicas de procesamiento y análisis e interpretación	45
3.5.1 Procesamiento	45
3.5.2 Análisis e interpretación de datos geoquímicos	45
CAPÍTULO IV: MARCO GEOLÓGICO.....	46
4.1 Geomorfología Regional	46
4.1.1 Altiplano:.....	46
4.1.2 Borde NE de la Cordillera Occidental:.....	46
4.2 Geomorfología Local	49
4.2.1 Montañas de rocas Sedimentarias:	50
4.2.2 Vertiente o piedemonte coluvio-deluvial (V-cd):.....	50
4.3. Flora Y Fauna	51
4.3.1 Flora:	51
4.3.2 Fauna:.....	52
4.5 Geología Regional	55
4.5.1 Estratigrafía Regional.....	55
4.5.2 Geología Estructural Regional	62
4.6 Geología Local	67
4.6.1 Estratigrafía Local.....	67
4.6.1 Geología Estructural Local.....	73
CAPÍTULO V: GEOLOGÍA ECONÓMICA	75
5.1 Metalogenia	75
5.2 Alteración y mineralización.....	76

5.2.1 Alteración	76
5.2.2 Mineralización:.....	84
CAPITULO VI: GEOQUIMICA Y ANALISIS GEOQUÍMICO	88
6.1 Geoquímica De Rocas.....	88
6.1.1 Muestreo Geoquímico	88
6.2 Análisis Geoquímico	91
6.2.1 Geoquímica De Estructuras No Mineralizadas (Roca caja):	91
6.2.1 Geoquímica de Estructuras Mineralizadas	93
6.3 Análisis Estadístico Geoquímico	108
6.3.1 Estadística Univariables	108
6.3.2 Estadística Bivariables	136
6.3.2 Estadística multivariable.	146
CAPITULO VII: RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	152
7.1 Interpretación geoquímica.....	152
CONCLUSIONES.....	154
RECOMENDACIONES	156
BIBLIOGRAFIA	157

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Ubicación geográfica del sector Minas Punku	5
Tabla 2: Rutas de acceso al sitio estudiado.....	6
Tabla 3: Matriz de operacionalidad de variables	13
Tabla 4: Muestreo Geoquímico de Estructuras Mineralizadas	89
Tabla 5: Muestreo Longitudinal y transversal a las estructuras.....	90
Tabla 6: Resultado del Análisis Químico Elemental por Litología	91
Tabla 7: Resultado del Análisis Químico Elemental por Litología	92
Tabla 8: Promedio de resultado del Análisis Químico de la Estructura 1	96
Tabla 9: Promedio de resultado del Análisis Químico de la Estructura 2	98
Tabla 10: Promedio de resultado del Análisis Químico de la estructura 3	100
Tabla 11: Resultado del Análisis Químico Elemental de la Estructura 4	102
Tabla 12: Resultado del Análisis Químico Elemental de la Estructura 4S	105
Tabla 13: Resultado del Análisis Químico Elemental de la estructura 4B	106
Tabla 14: Resultado del Análisis Químico Elemental de la estructura 4N.....	107
Tabla 15: Rangos de correlación de elementos.....	147
Tabla 16: Matriz de consistencia	160

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de ubicación del sector Minas Punku.....	7
Figura 2: Ambiente de dispersión primaria y secundaria.	20
Figura 3: Movilidad de los elementos en ambientes supérgenos.....	21
Figura 4: Asociación de elementos Pathfinders.....	23
Figura 5: Emisión de la radiación de fluorescencia de rayos X.	32
Figura 6: Ilustración del mecanismo de emisión de fluorescencia por rayos X.	33
Figura 7: Equipo Vanta TM XRF Analyzer	34
Figura 8: Programación del equipo.....	34
Figura 9: Disparos y lectura de la muestra de roca.....	35
Figura 10: Revisión y almacenamiento de resultados.....	35
Figura 11: Enfoque cuantitativo.....	38
Figura 12: Alcance de la investigación.	39
Figura 13: Diseño de investigación.....	40
Figura 14: Unidades geomorfológicas regionales y ubicación del cuadrángulo de Cusco.....	47
Figura 15: Mapa geomorfológico local.....	49
Figura 16: Montañas en rocas Sedimentarias de zona de estudio Minas Punku	50
Figura 17: Vertiente o pie de monte de las montañas de la formación Anta	51
Figura 18: Fauna de la zona de estudio Minas Punku	52
Figura 19: La temperatura más alta (roja) y la más baja (azul).	53
Figura 20: La temperatura media por hora, codificada por colores en bandas. Las áreas sombreadas superpuestas señalan la noche y el crepúsculo civil.	54

Figura 21: Estratigrafía de los dominios morfoestructurales regionales.	55
Figura 22: Columna estratigráfica de la Formación Anta levantada al sur de Pomacanchi, límite de los cuadrángulos de Cusco y Livitaca.	58
Figura 23: Columna estratigráfica de la Formación Ayavacas, levantada en koricancha.	60
Figura 24: Mapa geológico regional.	61
Figura 25: <i>Contacto entre las formaciones Arcurquina y Anta, mostrando en A los conglomerados y en B las calizas (Fotografía con vista al norte).</i>	62
Figura 26: Dominios estructurales en la región de Cusco, Abancay y Sicuani.	64
Figura 27: Cuadro de correlación de edades de las unidades estratigráficas del borde noreste de la Cordillera Occidental y del Altiplano en el cuadrángulo de Cusco, y su vinculación con la cinemática de las placas de Nazca y Sudamérica.	65
Figura 28: Representación paleogeográficos del Eoceno inferior (52-43 Ma) que corresponde a la cuenca Kayra y del Eoceno superior-Oligoceno inferior (43-30 Ma) para la cuenca Soncco.....	66
Figura 29: Afloramiento de las areniscas cuarzosas	67
Figura 30: Afloramiento de rocas conglomerados.....	68
Figura 31: Afloramiento de rocas volcánicas (Andesita)	69
Figura 32: Afloramiento de brecha andesítica	70
Figura 33: Afloramiento de rocas calizas	71
Figura 34: Unidades litológicas del sector Minas Punku.....	72
Figura 35: Mapa estructural local.	73
Figura 36: Espejos de falla.....	74
Figura 37: Mapa metalogenético del Sector Minas Punku.	76
Figura 38: Diagrama de proceso de adquisición de Imagen Satelital ASTER	77

Figura 39: Diagrama de procesos de las técnicas para preparar la imagen satelital para la combinación de bandas	78
Figura 40: Diagrama de proceso de técnicas espectrales	79
Figura 41: Mapa con resultados ASTER del Sector Minas Punku.....	80
Figura 42: Mapa de muestreo para análisis de TERRASPEC del Sector Minas Punku.....	82
Figura 43: Mapa de alteración del Sector Minas Punku.....	83
Figura 44: Mapa de zonas de Cu (Zona potencial, Zona marginal).....	85
Figura 45: Mapa de mineralización del sector Minas Punku (Zona potencial).	86
Figura 46: Mapa de Muestreo geoquímico del Sector Minas Punku.....	88
Figura 47: Muestreo de estructuras por elementos	89
Figura 48: Muestreo Longitudinal y Transversal por elementos a las estructuras.	90
Figura 49: Promedio de elementos Químicos de la Andesita	92
Figura 50: Promedio de elementos Químicos del conglomerado	93
Figura 51: Mapa de Secciones (A – A') y secciones (B –B')	94
Figura 52: Sección transversal de la Estructura 1	95
Figura 53: La estructura 1 tiene dirección antiandina NE-SW con azimut N20 y Dip 75°-85° con una potencia variable entre 0.5m-1m (fotografía con vista al Sur).....	95
Figura 54: Promedio de resultados de los análisis químicos de la Estructura 1	96
Figura 55: Sección transversal de la Estructura 2	97
Figura 56: La estructura 2 tiene dirección antiandina NE-SW con azimut N60 y Dip 63°-75° con una potencia variable entre 0.3m-0.5m (fotografia con vista al norte).	97
Figura 57: Promedio de resultados de análisis químicos de la Estructura 2	98
Figura 58: Sección transversal de la Estructura 3	99

Figura 59: La estructura 3 con dirección antiandina NE-SW con azimut N56 y Dip 64°-65° con una potencia 1m-1.5m (fotografía con vista al sur)	99
Figura 60: Promedio de resultados de análisis químicos de la Estructura 3	100
Figura 61: Sección transversal de la Estructura 4	101
Figura 62: La estructura 4 con dirección antiandina NE-SW conazimut N15-N20 y Dip 65°-80° con una potencia 1.5m-2.0m (fotografía panorámica con vista al oeste).	101
Figura 63: Promedio de resultados de análisis químicos de la Estructura 4	102
Figura 64: Corte de sección B – B'	104
Figura 65: Perfil Longitudinal de la estructura 4	104
Figura 66: Promedio de resultados de análisis químicos de la Estructura 4S	105
Figura 67: Promedio de resultados de análisis químicos de la Estructura 4B	106
Figura 68: Promedio de resultados de análisis químicos de la Estructura 4N	107
Figura 69: Distribución no Normalizada de Cu	109
Figura 70: Distribución Normalizada de Cu	109
Figura 71: Distribución no Normalizada de Zn	110
Figura 72: Distribución Normalizada de Zn	110
Figura 73: Distribución no Normalizada de As	111
Figura 74: Distribución Normalizada de As	111
Figura 75: Distribución no Normalizada de Mo	112
Figura 76: Distribución Normalizada de Mo	112
Figura 77: Distribución no Normalizada de Ag	113
Figura 78: Distribución Normalizada de Ag	113
Figura 79: Distribución no Normalizada de Au	114

Figura 80: Distribución Normalizada de Au.....	114
Figura 81: Distribución no Normalizada de Pb	115
Figura 82: Distribución Normalizada de Pb	115
Figura 83: Distribución no Normalizada de Fe.....	116
Figura 84: Distribución Normalizada de Fe.....	116
Figura 85: Distribución no Normalizada de S	117
Figura 86: Distribución Normalizada de S	117
Figura 87: Distribución no Normalizada de Si	118
Figura 88: Distribución Normalizada de Si	118
Figura 89: Distribución no Normalizada de K.....	119
Figura 90: Distribución Normalizada de K.....	119
Figura 91: Distribución no Normalizada de Ca	120
Figura 92: Distribución Normalizada de Ca	120
Figura 93: Distribución no Normalizada de Al.....	121
Figura 94: Distribución no Normalizada de Al.....	121
Figura 95: Histograma (Cu).....	122
Figura 96: Box Plot (Cu).....	122
Figura 97: Histograma (Zn)	123
Figura 98: Box Plot (Zn).....	123
Figura 99: Histograma (As)	124
Figura 100: Box Plot (As).....	124
Figura 101: Histograma (Mo)	125
Figura 102: Box Plot (Mo).....	125

Figura 103: Histograma (Ag).....	126
Figura 104: Box Plot (Ag)	126
Figura 105: Histograma (Au).....	127
Figura 106: Box Plot (Au)	127
Figura 107: Histograma (Pb)	128
Figura 108: Box Plot (Pb).....	128
Figura 109: Histograma (Fe).....	129
Figura 110: Box Plot (Fe)	129
Figura 111: Histograma (S)	130
Figura 112: Box Plot (S).....	130
Figura 113: Histograma (Si)	131
Figura 114: Box Plot (Si).....	131
Figura 115: Histograma (K).....	132
Figura 116: Box Plot (K)	132
Figura 117: Histograma (Ca)	133
Figura 118: Box Plot (Ca).....	133
Figura 119: Histograma (Al).....	134
Figura 120: Box Plot (Al)	134
Figura 121: Histograma (Mn)	135
Figura 122: Box Plot (Mn).....	135
Figura 123: Grafica de dispersión entre As y Cu.....	136
Figura 124: Grafica de dispersión entre Cu y Cd	137
Figura 125: Grafica de dispersión entre Cu y Fe	137

Figura 126: Grafica de dispersión entre Cu y Si.....	138
Figura 127: Grafica de dispersión entre Zn y Mo.....	138
Figura 128: Grafica de dispersión entre Zn y Ag	139
Figura 129: Grafica de dispersión entre Zn y S	139
Figura 130: Grafica de dispersión entre Fe y As	140
Figura 131: Grafica de dispersión entre Cd y As.....	140
Figura 132: Grafica de dispersión entre Cu y Ca.....	141
Figura 133: Grafica de dispersión entre Fe y Mn	141
Figura 134: Grafica de dispersión entre K y Al.....	142
Figura 135: Grafica de dispersión entre Mo y As.....	142
Figura 136: Grafica de dispersión entre Pb y Ag.....	143
Figura 137: Grafica de dispersión entre Pb y Mo	143
Figura 138: Grafica de dispersión entre Pb y S	144
Figura 139: Grafica de dispersión entre Pb y Zn	144
Figura 140: Grafica de dispersión entre Si y Al	145
Figura 141: Grafica de dispersión entre Ti y K	145
Figura 142: Grafica de dispersión entre Zn y Rb.....	146
Figura 143: Correlación de Pearson mayores a 0.5	148
Figura 144: Dendrograma de elementos químicos por correlación	149
Figura 145: Mapa de anomalías de elementos geoquímicos.	153
Figura 146: Estructura 02 del Sector Minas Punku	210
Figura 147: Estructura 04 del Sector Minas Punku	211
Figura 148: Estructura 04 (Boca Mina) del Sector Minas Punku.....	211

Figura 149: Estructura 01 del Sector Minas Punku, descripción mineralógica y muestreo geoquímico.....	212
Figura 150: Reconocimiento litológico de las rocas en la Estructura 01 del Sector Minas Punku	213
Figura 151: Reconocimiento de alteraciones hidrotermales de las rocas en la Estructura 01 del Sector Minas Punku	213
Figura 152: Mapeo geológico y medición de estructuras Sector Minas Punku.....	214
Figura 153: Mapeo geológico de las calizas de la Formación Arcurquina.....	214

INDICE DE AÑEXOS

Anexo 1: Matriz De Consistencia	159
Anexo 2: Mapa De Ubicacion.....	161
Anexo 3:Mapa De Concesiones Mineras.....	163
Anexo 4: Mapa Geomorfologico Regional.....	165
Anexo 5: Mapa Geomorfologico Local	167
Anexo 6: Mapa Geologico Regional.....	169
Anexo 7: Mapa Geologico Local	171
Anexo 8: Mapa De Alteraciones Hidrotermales	173
Anexo 9: Mapa Geologico Estructural	175
Anexo 10: Mapa Metalogenetico.....	177
Anexo 11: Mapa De Mineralizacion.....	179
Anexo 12: Mapa Aster	181
Anexo 13: Mapa De Terraspec	183

Anexo 14: Mapa Geoquimico.....	185
Anexo 15: Mapa De Anomalias Geoquimicas.....	187
Anexo 16: Lectura Y Preparación De Datos Geoquímicos Desde Excel	189
Anexo 17: Analisis Estadistico Por Elementos Quimicos	191
Anexo 18: Análisis De Correlaciones Entre Elementos Químicos (Ppm).....	195
Anexo 19: Analisis De Dendrograma	198
Anexo 20: Documento De Xrf (Espectrometría De Fluorescencia De Rayos X).....	201
Anexo 21: Resultados Por Estructura De Xrf (Espectrometría De Fluorescencia De Rayos X)	203
Anexo 22: Resultados De Muestras Por Terraspec.....	205
Anexo 23: Longitudinal Y Transversal.....	207
Anexo 24: PANEL FOTOGRAFICO.....	210

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres Adrián Mamani y Marcelina Choquetaipe, quienes, con su respaldo permanente y comprensión se convirtieron en la principal inspiración para alcanzar esta meta. A mi compañera de tesis Keiko Choque, cuya dedicación y aporte significativo hicieron posible la culminación de este proyecto académico.

Edwin Mamani Choquetaipe

Esta investigación, que marca el fin de una valiosa etapa y el inicio de una nueva, la dedico con todo mi corazón. A mis padres Sebastián Choque y Victoria Quispe, por ser mi faro de fortaleza y amor, y por enseñarme que la perseverancia es la clave para alcanzar mis sueños. A mis hermanas Keli y Michelle, por sus palabras de aliento y su apoyo incondicional, que fueron la fuerza e inspiración que me impulsó a mejorar cada día. Y finalmente, a mi compañero Edwin Mamani por la perseverancia de no rendirnos hasta alcanzar este anhelo.

Keiko Rocio Choque Quispe

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios, por brindarnos fortaleza necesaria para culminar en este camino académico.

A nuestros padres y hermanos, por su apoyo constante, motivación y confianza, que se convirtieron en nuestro soporte esencial para concretar esta meta.

De manera especial, expreso mi gratitud a nuestro asesor Dr. Fredy V. Bustamante y a los ingenieros Luis Cerpa y Shirley Custodio (Consultora en Geología Espectral), por su orientación, paciencia y por compartir sus conocimientos, cuyos aportes fortalecieron de manera notable el desarrollo de este estudio.

Asimismo, reconocemos la colaboración de nuestros compañeros de trabajo, quienes con su respaldo y compañerismo hicieron más llevadero este camino de formación.

A todos ustedes, expresamos nuestro profundo reconocimiento por haber contribuido de manera significativa a la realización de este logro académico y personal.

ABRREVIATURAS

Au: Oro

Ag: Plata

Cu: Cobre

Pb: Plomo

Zn: Zinc

Mn: Manganeso

Bi: Bismuto

As: Arsénico

Al: Aluminio

Te: Teluro.

Ca: Calcio

Hg: Mercurio

Sb: Antimonio

Tl: Talio

Se: Selenio

Mo: Molibdeno

Ba: Bario

Mn: Manganeso

Fe: Hierro

S: Azufre

XRF: Fluorescencia de rayos X

NW: Noroeste

NE: Noreste

SE: Sureste

SW: Suroeste

Az: Azimut

Dip: Buzamiento

Ha: hectáreas

mm: milímetros

m: metros

Km: kilómetro

Kg: Kilogramo

Ppm: Partes por millón

Ma: millones de años

RESUMEN

El área de investigación geográficamente se encuentra en la franja XV (Franja de pórfitos-skarns de Cu-Mo (Au, Zn)) y depósitos de Cu-Au-Fe relacionados con intrusiones del Eoceno-Oligoceno, este estudio se desarrolló en el sector Minas Punku - Yanaoca, localizado al sur del centro poblado Jaquiracunca, distrito Yanaoca, provincia Canas, departamento Cusco-Perú; donde la prospección geológica y geoquímica aún enfrenta desafíos que limitan una evaluación precisa del potencial mineral del área regional.

El objetivo principal del estudio es prospectar la geología y geoquímica para la exploración de cobre (Cu). El método de investigación es cuantitativo, con un alcance descriptivo y correlacional y diseño no experimental – transversal, con el propósito es describir y analizar las estructuras mineralizadas y correlacionar con los resultados geoquímicos para definir las anomalías de cobre (Cu) en el sector Minas Punku.

Las variables utilizadas fueron prospección de geología y geoquímica y la exploración de cobre, se logró definir 2 áreas (Zona potencial y Zona marginal): Siendo la zona potencial de mayor prioridad que la zona marginal. Zona potencial por su alto potencial de minerales de cobre en óxidos con valores promedio 9.6 %, acompañados por Pb y Zn emplazados en estructuras anti andinas con dirección NE – SW con potencias entre 0.5 m a 2m en rocas conglomeradas de la formación Anta y la zona marginal por su menor contenido de cobre en óxidos en trazas en estructuras anti andinas con dirección NE – SW con potencias menores a 0.3m en rocas conglomeradas de la formación Anta.

Palabras Claves: Prospección, Geoquímica, Cobre, Geología.

ABSTRACT

The research area is geographically located in the XV zone (Cu-Mo (Au, Zn) porphyry-skarn zone) and Cu-Au-Fe deposits related to Eocene-Oligocene intrusions. This study was developed in the Minas Punku - Yanaoca sector, located south of the populated center of Jaquiracunca, Yanaoca district, Canas province, Cusco department, Peru; where geological and geochemical prospecting still faces challenges that limit an accurate assessment of the mineral potential of the regional area.

The primary objective of this study is to conduct geological and geochemical exploration for copper (Cu). The research method is quantitative, descriptive and correlational in scope, and uses a non-experimental cross-sectional design. The purpose is to describe and analyze the mineralized structures and correlate them with the geochemical results to define copper (Cu) anomalies in the Minas Punku sector.

The variables used were geological and geochemical prospecting, as well as copper exploration. Two areas were defined (Zone A and Zone B): Zone A was a higher priority than Zone B. Zone A was identified due to its high potential for copper oxide minerals, averaging 9.6%, accompanied by Pb and Zn located in anti-Andean structures trending NE - SW with thicknesses ranging from 0.5 m to 2 m in conglomerate rocks of the Anta Formation. Zone B was identified due to its lower copper oxide content in trace amounts, located in anti-Andean structures trending NE - SW with thicknesses less than 0.3 m in conglomerate rocks of the Anta Formation.

Keywords: Prospecting, Geochemistry, Copper, Geology.

INTRODUCCIÓN

La búsqueda y exploración de recursos minerales metálicos como el cobre (Cu) juegan un papel crucial en la economía peruana, siendo así de interés para una posible explotación de estos recursos metálicos debido a su alta demanda en el mercado global. La prospección geológica y la prospección geoquímica en esta área específica aún presentan varios desafíos que limitan una evaluación precisa y eficaz de su potencial mineral.

En particular, el sector de Minas Punku situado al sur del centro poblado Jaquiracunca, distrito Yanaoca, provincia Canas, departamento Cusco-Perú; pertenece a la franja metalogenética XV de pórfidos-Skarn de Cu – Mo (Au, Zn) relacionados a los intrusivos del Eoceno – Oligoceno, donde aflora un depósito sedimentario de la formación Anta constituidas por rocas conglomerádicas con clastos volcánicos y sedimentarios con estructuras mineralizadas con dirección NE – SW constituidas principalmente por minerales de óxidos de cobre (Cu), siendo así un área con altas probabilidades de poder encontrar anomalías de cobre (Cu) económicamente rentables. Por lo tanto, el siguiente trabajo de investigación consiste en 6 capítulos, de los cuales son:

El Capítulo I: Se estableció el contexto general del estudio, detallando la ubicación política y geográfica, su accesibilidad, y estructurando el planteamiento, la formulación de los problemas de investigación, definir los objetivos e hipótesis que guían la tesis, junto con la operacionalización de las variables.

El Capítulo II: Se describió los fundamentos conceptuales y contextuales de la investigación. Se revisan los antecedentes regionales, nacionales e internacionales relacionados con la exploración y la utilización de enfoques geológicos y geoquímicos. Además, se

profundiza en las bases teóricas: La geoquímica, los principios de estadística aplicados a datos geoquímicos y los fundamentos de la fluorescencia de rayos X, esenciales para la comprensión de los análisis.

El Capítulo III: Se describió el enfoque y diseño (tipo) de investigación. Como también, se detalla la metodología de trabajo en sus diferentes etapas: gabinete pre-campo, campo, laboratorio y gabinete post-campo, asegurando la recolección y análisis de datos. Finalmente, se explican los métodos para procesar y analizar datos, con énfasis en la interpretación de los resultados geoquímicos.

El Capítulo IV: Se presentó una descripción detallada del entorno geológico del área de investigación. Se aborda la geomorfología regional - local, así como la flora y fauna del sector. Posteriormente, se profundiza en la geología regional y local (estratigrafía y geología estructural), elementos cruciales para entender el contexto de la mineralización.

El Capítulo V: Se presentó la metalogenia de la región, proporcionando un marco sobre el origen y la distribución de los depósitos minerales de cobre. Se describen en detalle los tipos de alteración hidrotermal y la mineralización observada en el sector, elementos esenciales para la identificación de zonas con potencial económico.

El Capítulo VI: Presenta los resultados del análisis geoquímico de las muestras, diferenciando entre estructuras no mineralizadas (roca caja) y estructuras mineralizadas. Se aplica un análisis estadístico geoquímico, que incluye estadística univariable, bivariable y multivariable, para la interpretación profunda de las anomalías y la identificación de patrones asociados a la mineralización de cobre.

Finalmente se presentó las conclusiones, recomendaciones, bibliografía y anexos correspondientes del estudio realizado.

CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES

1.1 Ubicación

1.1.1 Ubicación Política

El sector de estudio se encuentra en la circunscripción política del departamento de Cusco, según el siguiente detalle:

Departamento	:	Cusco
Provincia	:	Canas
Distrito	:	Yanaoca
Centro Poblado	:	Jaquiracunca
Sector	:	Minas Punku

1.1.2 Ubicación Geográfica

El sector Minas Punku geográficamente está ubicada hacia el sureste de la ciudad del Cusco y estando localizada entre las coordenadas UTM WGS84 19S del siguiente rectángulo envolvente, con un área de 90 ha:

En detalle con las siguientes coordenadas:

Tabla 1: *Ubicación geográfica del sector Minas Punku.*

Coordenadas UTM	
Este	Norte
235200	8418000
236100	8418000
236100	8417000
235200	8417000

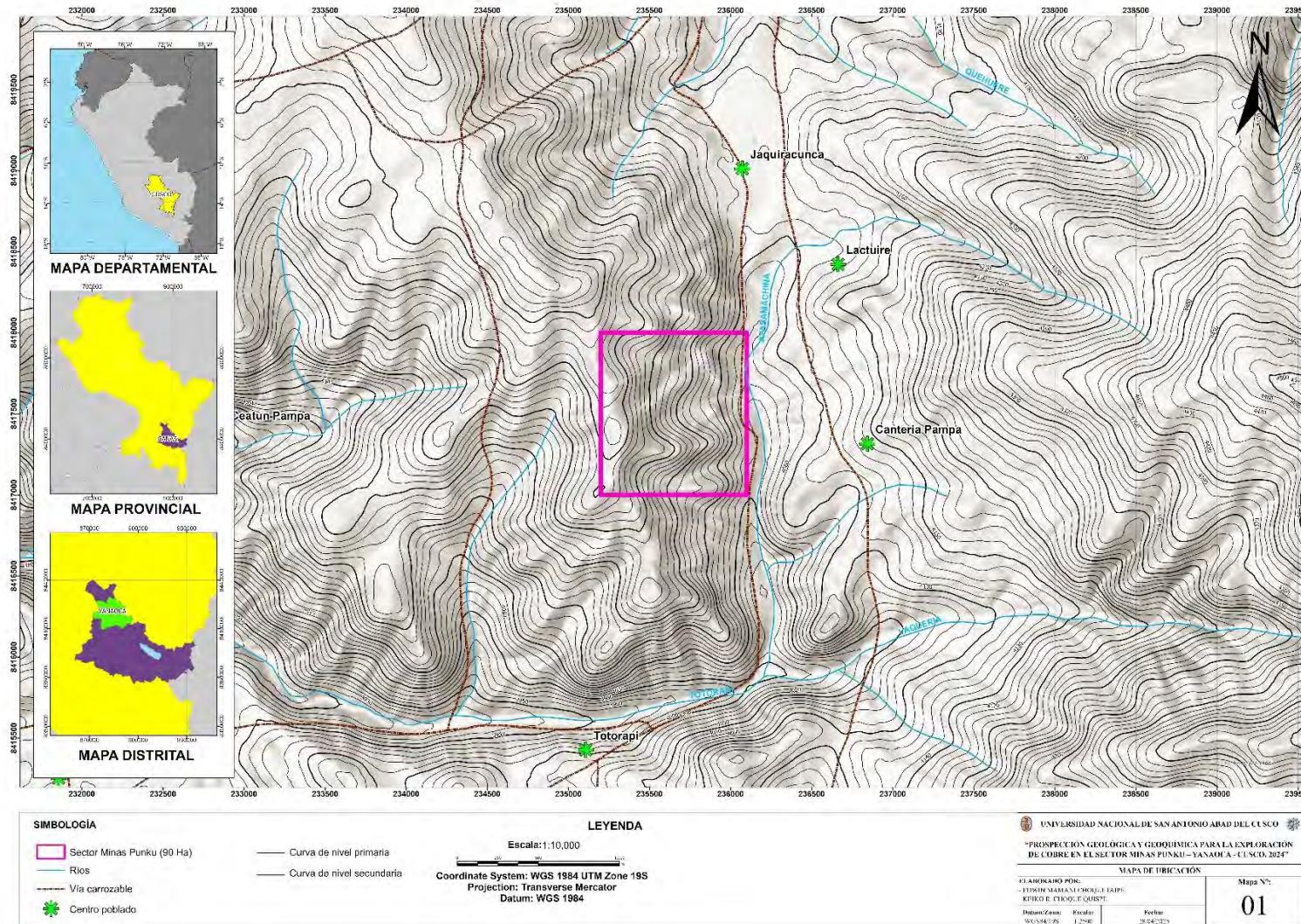
1.2 Accesibilidad

Para acceder al sector Minas Punku, se cuenta con la siguiente vía asfaltada de Cusco-Combapata- Yanaoca, a una distancia aproximada de 125.8km; vía Trocha carrozable de Yanaoca - Centro poblado Jaquiracunca – Sector Minas Punku a una distancia aproximada de 11.56km.

Tabla 2: Rutas de acceso al sitio estudiado.

RUTA	DISTANCIA	TIEMPO	VIA
Cusco - Combapata	107.25 km	2h 10min	Asfaltado
Combapata - Yanaoca	18.55 km	30 min	Asfaltado
Yanaoca- Jaquiracunca	9.92 km	15min	Trocha Carrózale
Jaquiracunca - Sector Minas Punku	1.64 km	15 min	Trocha carrózale

Figura 1: Mapa de ubicación del sector Minas Punku.



Nota: Adaptado de Geocatmin

1.3 Planteamiento del problema

El área de investigación geográficamente se encuentra en la franja XV, una zona caracterizada por la presencia de pórfidos-skarns de Cu-Mo, con ocurrencias asociadas de Au y Zn, así como depósitos de Cu-Au-Fe vinculados a intrusiones ígneas del período Eoceno-Oligoceno. Esta franja se extiende entre la Cordillera Occidental y el Altiplano, que abarca 3949.2 km del área, correspondiente al 5.4% del área continental; Las edades de los eventos de mineralización en esta región se encuentran en un rango comprendido entre los 30 y 42 millones de años.

El sector Minas Punku, asentado al sur del centro poblado Jaquiracunca, distrito Yanaoca, provincia Canas, departamento de Cusco, se encuentra cerca de evidencias de cobre (Cu), siendo así un área con probabilidades de poder encontrar un posible deposito mineral de cobre (Cu) económicamente rentables; debido a su alta demanda en el mercado global. La prospección geológica y la prospección geoquímica en esta área específica aún presentan varios desafíos que limitan una evaluación precisa y eficaz de su potencial mineral.

El siguiente trabajo presenta una compleja geología no especificado (geología estructural, mineralización y tipos de alteraciones hidrotermales) que complican la identificación y explicación que sustenten las evidencias de cobre (Cu). La información geológica actual es limitada y desactualizada, lo que dificultaría la realización de interpretaciones geológicas sobre la distribución y concentración de minerales económicos de la zona.

Además, la prospección geoquímica es fundamental para identificar y explicar la evidencia de cobre (Cu); y con la recolección y análisis de datos geoquímicos se identificará una anomalía significativa de cobre (Cu), dando una buena interpretación de datos se reducirá el nivel de riesgo en la exploración de cobre (Cu).

Por lo tanto, se necesitarán realizar más investigaciones detalladas que abarquen estudios geológicos y geoquímicos con el objetivo de comprender, identificar y explicar la evidencia de cobre en la etapa inicial de exploración.

1.4 Formulación del Problema

1.4.1 Problema General

- ¿Cuál es la prospección geológica y geoquímico para la exploración de cobre (Cu) en el sector Minas Punku?

1.4.2 Problema Específico

- ¿Cuál es la caracterización geológica (litología y geología estructural) del sector Minas Punku?
- ¿Cuál es la alteración hidrotermal y mineralización en el sector Minas Punku?
- ¿Cuál es la interpretación geoquímica de cobre (Cu) en el sector Minas Punku?

1.5 Justificación

1.5.1 Conveniencia

El siguiente trabajo de investigación en el sector Minas Punku aportará con la identificación de nuevas anomalías de cobre (Cu) en sectores aun no estudiados, lo cual aumentaría el área de interés con mejores métodos de estudios y futuras inversiones por compañías de exploración, en el sector Minas Punku.

1.5.2 Relevancia Social

El presente estudio de investigación en el sector Minas Punku, será de gran relevancia para el desarrollo del sector minero a futuro, siendo así un área de mayor interés para la

exploración de cobre (Cu), contribuyendo a la atracción de nuevos inversionistas y crecimiento económico, generándose más empleos de trabajo, desarrollo y uso de nuevas tecnologías y mejora en la educación y salud.

1.5.3 Implicaciones Prácticas

El siguiente trabajo de investigación en el sector Minas Punku, determinara el potencial del área de estudio por cobre (Cu) y explicar las evidencias de cobre (Cu) existentes de acuerdo a la interpretación y análisis geoquímicos.

1.5.4 Valor Teórico

La investigación que se presenta en el sector Minas Punku, proporcionara el conocimiento geológico y geoquímico de anomalías reconocidas por cobre (Cu), siendo así un aporte para futuras investigaciones.

1.5.5 Utilidad Metodológica

La investigación desarrollada en el sector Minas Punku aporta una metodología de prospección geológica y geoquímica, usando los métodos como uso de imágenes Áster, mapeo geológico y muestro geoquímico por los métodos de análisis de terraspec y análisis geoquímico de XRF, así como el procesamiento estadístico e interpretación geológica constituyen un aporte práctico para identificar anomalías de cobre (Cu).

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo General

- Realizar la prospección geológica y geoquímica para la exploración de cobre (Cu) en el sector Minas Punku.

1.6.2 Objetivos Específicos

- Describir la caracterización geológica (litología y geología estructural) del sector Minas Punku.
- Determinar los tipos de alteración hidrotermal y mineralización en el sector Minas Punku.
- Realizar la interpretación geoquímica de cobre (Cu) en el sector Minas Punku.

1.7 Hipótesis

1.7.1 Hipótesis General

Una vez realizada la interpretación de los resultados por los métodos ASTER, terraspec, estadística de los resultados del XRF y mapeo geológico detallado nos permitirá comprender las anomalías de cobre (Cu) identificando los elementos guías (Pathfinders) asociados al cobre (Cu) de la formación Anta.

1.7.2 Hipótesis Específicas

- La caracterización geológica (litología y geología estructural) del sector Minas Punku que afloran en la Formación Anta nos permite delimitar una posible área con un potencial valor económico por cobre (Cu), por las evidencias estructurales que se presenta en el sector Minas Punku.
- El reconocimiento de los ensambles mineralógicos nos permite definir los principales tipos de alteración hidrotermal asociados a las estructuras mineralizadas, así como la identificación de las principales zonas mineralizadas de cobre (Cu) (Óxidos-Sulfuros) en el sector Minas Punku.

- El procesamiento del análisis geoquímico de las muestras permite determinar el tipo de mineralización por medio de las correlaciones de elementos (Pathfinders) y con la interpretación de resultados comprender la distribución del cobre (Cu) en el sector Minas Punku.

1.8 Variables

1.8.1 Variable 1

- Prospección geológica y geoquímica

1.8.2 Variable 2

- Exploración de cobre (Cu) en el sector Minas Punku

1.8.4 Variables Operacionales

Tabla 3: Matriz de operacionalidad de variables

Tipos de Variables	Nombre de Variable	Dimensiones	Indicadores	Índice
Variable 1	Prospección geológica y geoquímica	Litología	Tipo de roca	<ul style="list-style-type: none"> • Descripción macroscópica de rocas
		Geología Estructural	Estructuras Geológicas	<ul style="list-style-type: none"> • Mapeo e interpretación de fallas
		Alteraciones hidrotermales	Tipo de alteraciones	<ul style="list-style-type: none"> • Clasificación de alteraciones hidrotermales
		Mineralización	Tipo de mineralización	<ul style="list-style-type: none"> • Mapeo de estructuras mineralizadas. • Procesamiento e interpretación de resultados geoquímicos
Variable 2	Exploración de cobre (Cu) en el sector Minas Punku	Franja metalogenética	Ubicación del área de investigación	<ul style="list-style-type: none"> • Mapeo y muestreo geoquímico de estructuras mineralizadas
		Tipo de Yacimiento		<ul style="list-style-type: none"> • Interpretaciones de Estructuras mineralizadas
		Estructura mineralizada		<ul style="list-style-type: none"> • Interpretación geológica y geoquímica

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

2.1.1 Antecedentes Regionales

Antecedente 1: Carhuapoma Carlos, J. J. (2020). Caracterización petrológica de las muestras de roca con el analizador XRF portátil Niton XL5 en el proyecto minero Zoraida – Junín

En el proyecto minero Zoraida, distrito de Suitucancha – Yauli – Junín, Carhuapoma (2020) realizó una investigación orientada a la caracterización petrológica de muestras de roca mediante el uso del analizador portátil XRF Niton XL5, con el fin de identificar nuevos objetivos de exploración en función de la concentración de elementos químicos. El estudio, de tipo descriptivo-correlacional y con diseño no experimental de corte transversal, se aplicó a 39 muestras recolectadas mediante un muestreo aleatorio estratificado. Los resultados permitieron clasificar las rocas en carbonatadas y basálticas, identificándose correlaciones de Ca-Mg en carbonatadas (dolomías y calizas) y de Fe-Mg en rocas máficas (basálticas). Asimismo, se determinó que el Zn presentó concentraciones entre 4.68-920.11 ppm con predominancia en rocas basálticas y dolomíticas, en contraste el Pb, con un rango entre 0-45 ppm, se concentró principalmente en dolomías y calizas, aportando así información relevante para la prospección mineral en la zona de estudio.

La referencia aporto con la identificación de elementos Pathfinders por medio de la correlación de los elementos geoquímicos obtenidos por el analizador XRF, la concentración de elementos químicos anómalos pudo caracterizar principales zonas de mineralización en el área de estudio.

2.1.2 Antecedentes Nacionales

Antecedente 2: VILA GODOY ÑIERITON ARQUIMEDES (2021)

En su tesis titulado “DISTRIBUCIÓN MINERALÓGICA Y COMPOSICIONAL EN LAS VETAS CORDILLERANAS DE Zn-Pb-Ag-Cu EN EL DISTRITO DE SAN CRISTÓBAL, DOMO DE YAULI, PERÚ CENTRAL”. Detalla la descripción de la distribución mineralógica y composicional de las vetas San Cristóbal y Andaychagua y del ramal Prosperidad, con el Microanálisis de fluorescencia de rayos X en ankeritas y dolomitas de la Brecha Recuay, en donde los resultados interpretados en conjunto nos permiten definir un claro zonamiento mineral y contenido metálico, a escala de las vetas y del distrito, dando a conocer las posibles direcciones de flujo del fluido Hidrotermal. En la parte central y cerca al pórfito Chumpe las vetas contienen wolframita y minerales de Cu, mientras que en las partes laterales y distales la mineralización es principalmente de Zn, Pb y Ag.

La referencia aporto en la interpretación de los resultados del XRF y la geología de campo, para reconocer el tipo de mineralización polimetálica en vetas, generando nuevos targets de exploración con anomalías geoquímicas por el zonamiento composicional de elementos, en el menor tiempo posible.

2.1.3 Antecedentes Internacionales

Antecedente 3: Seyed Hasan (2014)

En su artículo titulado: “Predicción de Mineralización Potencial usando Datos Geoquímicos Superficiales y Modelos de Regresión Lineal Múltiple en la Mineralización de Pórfito de Cu Kuh Panj (Irán)” La exploración geoquímica es una herramienta fundamental en la prospección de mineralizaciones económicamente viables. El estudio busca abordar la limitación de métodos tradicionales de datos geoquímicos, en el área de la mineralización de pórfito de Cu

Kuh Panj en Irán, proponiendo una metodología mejorada para determinar la ubicación real de la mineralización mediante la integración de información de perforaciones y geoquímica superficial. El objetivo fue aplicar un método estadístico multivariado: la regresión lineal múltiple. Con una variable dependiente de concentración de Cu, con los núcleos de perforaciones y variables independientes de diferentes concentraciones de elementos de las muestras geoquímicas superficiales, estableciendo una relación cuantitativa entre mineralización a profundidad y geoquímica de superficie

Se obtuvo un resultado del modelo de regresión lineal múltiple mostró un coeficiente de determinación (R^2) del 83%, lo cual indica que concentración de Cu puede ser explicado con las concentraciones elementales de las muestras de superficie. La validez del modelo fue verificada mediante la técnica de "bootstrapping", la cual confirmó que el modelo es estadísticamente válido con un alto nivel de confianza del 95%. Los cuales fueron aplicados para generar mapas de la mineralización potencial de cobre en la zona de Kuh Panj. Por consiguiente, La integración de la información del subsuelo (perforaciones) con la geoquímica de superficie representa un avance significativo para optimizar las estrategias de exploración y reducir el riesgo en la identificación de depósitos de Cu porfídico.

Del presente antecedente, aporto al trabajo en demostrar cómo el uso de la regresión lineal múltiple puede establecer una relación cuantitativa entre la concentración de cobre en profundidad y los datos geoquímicos de superficie (en nuestra investigación el XRF). Este método estadístico, combinado con XRF y mapeo geológico, te permite predecir la mineralización correlacional en nuestra área de estudio.

Antecedente 4: Bruno Lemire (2019)

En su artículo titulado: "Nuevos Desarrollos en Técnicas Geoquímicas Portátiles y Tecnologías In Situ en la Exploración Minera"

La exploración minera con los avances tecnológicos, requieren innovación constante, mediante instrumentos portátiles y tecnologías in situ que ofrecen análisis casi en tiempo real. El objetivo del estudio es presentar principales tecnologías portátiles, así como sus beneficios, desafíos y limitaciones en los cuales esta: la fluorescencia de rayos X portátil (pXRF), difracción de rayos X portátil (pXRD), espectrómetros infrarrojos portátiles (PNIR, PMIR), espectroscopia Raman, LIBS, y análisis de gamma espectral. Para ello se enfatiza el control de QA/QC en la preparación de muestras.

Como resultados las tecnologías portátiles in-situ ofrecen una respuesta casi en tiempo real y flexibilidad para la mayoría de las tareas de exploración, proporcionando datos relevantes en minutos y permitiendo decisiones de campo más seguras, lo que optimiza los programas de perforación y muestreo, reduciendo costos y tiempos de operación.

Del presente antecedente, aporto a mi trabajo, al validar el uso del espectrómetro XRF como una técnica de vanguardia en la prospección geológica. Demuestra que estas tecnologías portátiles permiten obtener datos geoquímicos de manera inmediata, contribuyendo a una mejor gestión de decisiones en terreno, acelera los programas de muestreo y perforación, y reduce significativamente los costos y el tiempo total de la exploración.

2.2 Conceptos Teóricas

2.2.1 Bases teóricas Geológicas

2.1.1.1 Geoquímica

Es una disciplina dentro de las ciencias geológicas, estudia la composición química terrestre y de otros cuerpos planetarios, así como de los procesos y reacciones que determinan dicha composición en suelos y rocas. Además, se centra en el análisis del ciclo de la materia y la energía, explicando de qué manera estos controlan el transporte y la redistribución de los elementos químicos a lo largo del tiempo y en distintos ambientes del sistema terrestre, en interacción con la atmósfera y la hidrosfera. Esta disciplina utiliza principios y metodologías propias de la química con el fin de resolver problemáticas geológicas, permitiendo interpretar el funcionamiento del planeta desde un enfoque químico (White, 1997).

En la investigación geoquímica resulta imprescindible aplicar adecuadas técnicas de muestreo y asegurar un análisis químico preciso. La determinación de la concentración y la distribución de los elementos en las diferentes litologías de una zona constituye un paso clave, ya que brinda parámetros de referencia que facilitan la identificación de anomalías geoquímicas en el área estudiada.

2.2.1.2 Prospección Geoquímica

Según Hawkes (1962), la prospección geoquímica comprende el conjunto de métodos aplicados en exploración minera que se fundamentan en la evaluación sistemática de determinadas propiedades químicas presentes en materiales naturales. Estas propiedades suelen corresponder a la concentración de elementos traza en rocas, suelos, aguas, sedimentos o incluso en la vegetación. El objetivo central de este enfoque es reconocer anomalías geoquímicas, es decir, valores químicos atípicos que podrían señalar la existencia de mineralización.

2.2.1.3 Ambientes Geoquímicos

Rivera Mantilla (2007), la movilidad de los iones metálicos dentro de un medio geoquímico está determinada por factores como presión, temperatura y la disponibilidad natural de los elementos químicos. Estos condicionantes controlan la estabilidad de las fases químicas bajo diferentes circunstancias, lo que permite dividir el ambiente geoquímico en:

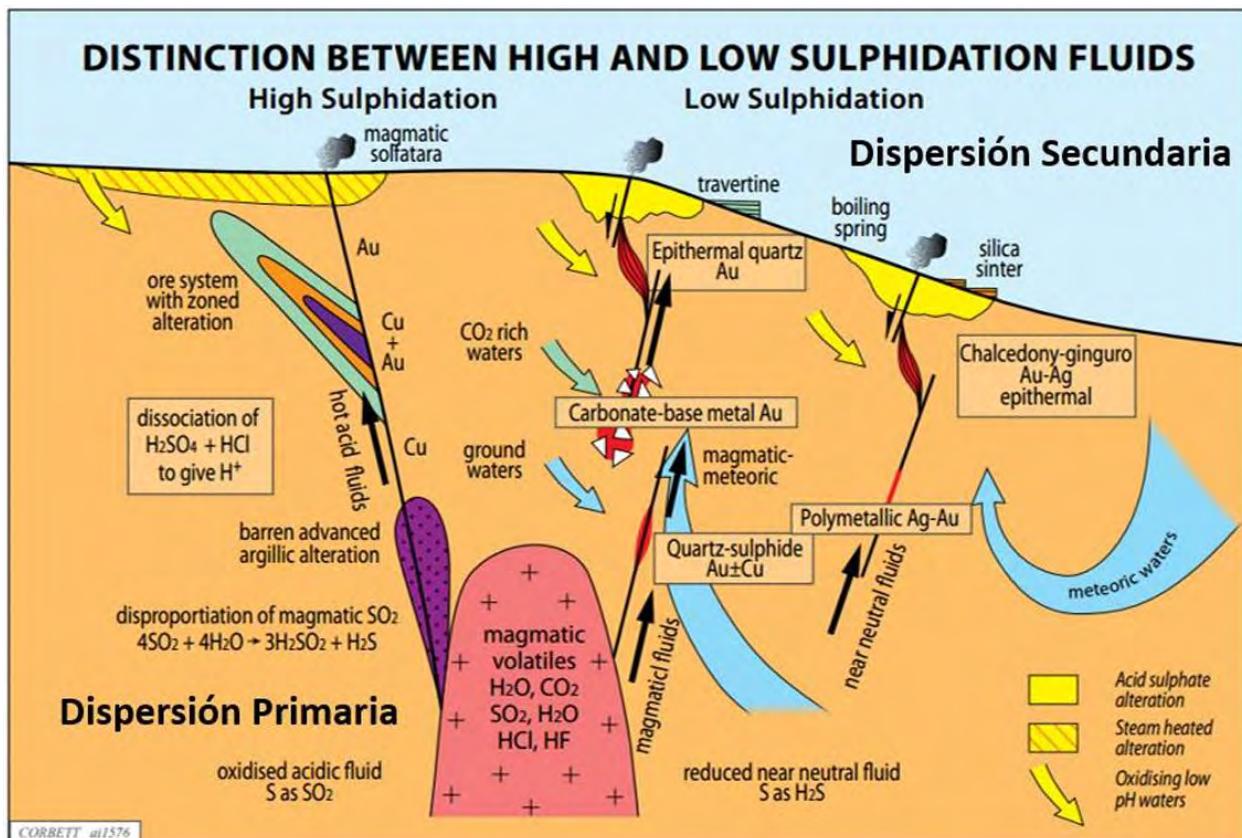
- **Ambiente primario:** Se describe por desarrollarse en profundidades donde predominan altas presiones y temperaturas, con escasa circulación de fluidos y bajos niveles de oxígeno libre. Estas condiciones se conservan en rocas ígneas que actualmente afloran en la superficie (Cueva, 2017).
- **Ambiente secundario:** Hace referencia a los procesos de meteorización, erosión y movimiento en la superficie terrestre y al desarrollo de suelos. Se caracteriza por bajas temperaturas, presiones constantes, libre circulación de fluidos, gran disponibilidad de agua y oxígeno, así como por la presencia de gases atmosféricos asociados a la polución (Cueva, 2017).

2.2.1.4 Dispersión geoquímica

La movilidad de un elemento se entiende como su capacidad de desplazarse de su lugar de origen a otro ambiente a través de procesos mecánicos y fisicoquímicos (Vargas, 2007).

- **Dispersión primaria:** Ocurre en ambientes profundos sometidos a elevadas presiones y temperaturas; las soluciones encuentran como principales vías de circulación y precipitación las fracturas, fallas y aberturas intergranulares de la roca (Cucho, 2016). Geoquímicamente, este proceso se define por la distribución de elementos originados a partir de pulsos de magma intrusivo y fluidos hidrotermales que dan lugar a roca o mena (figura 2).

Figura 2: Ambiente de dispersión primaria y secundaria.



Nota: Adaptado de *Distinction between high and low sulphidation fluids*, por Corbett, G. (2013).

- **Dispersión secundaria:** La dispersión secundaria se caracteriza por la distribución de elementos geoquímicos derivados de procesos supérgenos en las rocas, en ambientes de bajas presiones y temperaturas (Cucho, 2016). Entre los procesos más relevantes se encuentra la meteorización, que transfiere elementos a suelos, aguas y, como compuestos volátiles, a la atmósfera, generando halos de dispersión secundaria. Estos halos se diferencian de los del entorno primario porque tienden a extenderse sobre superficies mucho más amplias (figura 2). Asimismo, los procesos de meteorización están regulados por diversos factores como el clima, la biología, el material parental, la topografía, la morfología y el tiempo de evolución (Townley, 2018).

2.2.1.5 Desplazamiento de los elementos en ambientes endógenos y exógenos

Los criterios que condicionan el desplazamiento de elementos resultan útiles orientado a la identificación directa o indirecta de un concentrado mineral. La posibilidad de que un elemento se desplace en determinado ambiente está vinculada a su movilidad (figura 3). En función de las características físicas y químicas de los elementos de interés, se presentan los siguientes aspectos (Ticona, 2018):

Figura 3: Movilidad de los elementos en ambientes supérgenos.

MOVILIDAD RELATIVA	OXIDANTE (PH 5.8)	OXIDANTE (PH < 4)	REDUCTOR
Muy móvil (K > 10)	Cl, Br, I, S, Rn, He, C, N, Mo, B, (Se, Te, Re,?)	Cl, Br, I, S, Rn, He, C, N, B	Cl, Br, I, Rn, He
Moderadamente móvil (K = 1 - 10)	Ca, Na, Mg, Li, F, Zn, Ag, U, V, As, (Sr, Hg, Sb)	Ca, Na, Mg, Sr, Li, F, Zn, Cd, Hg, Cu, Ag, Co, Ni, U, V, As, Mn, P	Ca, Na, Mg, Li, Sr, Ba, Ra, F, Mn
Ligeramente móvil (K = 0.1 - 1)	K, Rb, Ba, Mn, Si, Ge, P, Pb, Cu, Ni, Co, (Cd, Be, Rn, In, W)	K, Rb, Ba, Si, Ge, Ra	K, Rb, Si, P, Fe
Inmóvil (K, 0.1)	Fe, Al, Ga, Sc, Ti, Zr, Hf, Th, Pa, Sn, TR, grupo Pl, Au, (Cr, Nb, Ta, Bi, Cs)	Fe, Al, Ga, Sc, Ti, Zr, Hf, Th, Pa, Sn, TR, grupo Pl, Au, As, Mo, Se	Fe, Al, Ga, Ti, Zr, Hf, Pa, Sn, TR, grupo Pl, Au, Cu, Ag, Pb, Zn, Cd, Hg, Ni, Co, As, Sb, Bi, U, V, Se, Te, Mo, In, Cr, (Nb, Ta, Cs)

Nota: Adaptado de *Geoquímica aplicada a la exploración minera* por Ticona, J. (2018).

2.2.1.6 Asociación de elementos

La capacidad de un elemento para desplazarse puede modificarse de acuerdo con las condiciones del ambiente, lo que origina asociaciones geoquímicas vinculadas a contextos específicos. Así, existen:

1. Elementos que mantienen asociaciones definidas en cualquier ambiente geológico,
2. Elementos cuya ocurrencia es característica de determinadas rocas ígneas, sedimentarias o menas,
3. Elementos que tienden a movilizarse en conjunto durante los procesos ígneos y metamórficos, pero que pueden diferenciarse a lo largo del ciclo de meteorización.

2.2.1.7 Asociación Geoquímica de los Elementos

Un elemento indicador es aquel utilizado en estudios geoquímicos para identificar la existencia de un cuerpo mineral. Generalmente, este coincide con el mineral de interés económico; no obstante, cuando dicho componente presenta dificultades analíticas o de interpretación, puede recurrirse a un elemento asociado denominado pathfinder, que actúa como indicador indirecto (figura 4).

Figura 4: Asociación de elementos Pathfinders.

DEPOSIT TYPE	MAJOR ELEMENTS	ASSOCIATED ELEMENTS
HYDROTHERMAL DEPOSITS		
Porphyry copper	Cu	Mo, Au, Ag, Re, As, Pb, Zn, K
Porphyry molybdenum	Mo	W, Sn, F, Cu
Skam magnetite	Fe	Cu, Co
SkamCu	Cu, Fe	Au, Ag
Skam Pb-Zn	Pb, Zn	Cu, Co
Skam W-Mo-Zn	W, Mo, Zn	F, Cu, Be, Bi
Skam Bi	Bi	Cu, Pb, Zn
Base metals polymetallic veins and volcanogenic massive sulfides	Pb, Zn, Cu	Ag, Au, As, Sb, Mn, Ba
Sn-W in quartz greisens	Sn, W	Cu, Mo, Bi, Li, Rb, Cs, Re, B, F
Sulfide Sn vein	Sn	Cu, Pb, Zn, Ag, Sb
Co-Ni-Ag vein	Co, Ni, Ag	As, Sb, Bi, U
Gold ore	Au, Ag	As, Hg, Sb, Te, Se, U, Ti
Hg and Sb-Hg	Hg, Sb	As, Ba
Uranium vein	U	Mo, Pb, F, Zn, Ag, Cu
Cu in basalt	Cu	Ag, As
Copper VMS	Cu	Zn, Au
Au, As-rich iron layer	Au, As	Sb
MVT, Pb-Zn	Zn, Pb	Ba, F, Cd, Cu, Ni, Co, Hg
MVT, Fluorite	F	Ba, Pb, Zn
Sandstone uranium	U	Rn, Se, Mo, V, Cu, Pb
Red bed copper	Cu	Ag, Pb
Uranium calcrete	U	Rn, V
MAGMATIC DEPOSITS		
Cromite ore	Cr	Ni, Co, Fe, Mg
Layered intrusive, Pt-Ni-Cu	Pt, Ni, Cu	Cr, Co, Zn
Layered magnatite	Fe	V, Ti, P
Inmiscible Cu-Ni sulfide	Cu, Ni	Pt, Co, As, Au
Inmiscible Fe-Ti oxides	Fe, Ti	P
Carbonatites	Nb, Ta	Na, Zr, P, U
Pegmatites and aplogranites	Be, Li, Cs, Rb	B, U, Th, rare earths
SEDIMENTARY ORES		
Fosforites	P	U
Cu-bearing shales	Cu	Ag, Zn, Pb, Co, Ni, Cd, Hg
Cu-bearing sandstones	Cu	Ag, Co, Ni

Nota: Adaptado de *Elementos principales y asociados en diferentes tipos de depósitos minerales por Siegel y Marikos (2002)*.

2.2.1.8 Muestreo – (Ángel Lambert B., 2006)

El muestreo es la acción de extraer una parte de un material con el propósito de determinar su valor; esta fracción, denominada muestra, debe reflejar de manera representativa las propiedades del total (Ángel Lambert B., 2006).

2.2.1.8.1 Muestreo de Rocas

En cuanto al muestreo de rocas se puede tener los siguientes objetivos:

- Establecer un valor de fondo regional, distrital o local
- Definir umbrales de exploración
- Identificar zonas anómalas
- Evaluación de un blanco previamente definido
- Evaluación superficial de un blanco de exploración

2.2.1.8.2 Muestreo aleatorio (no sistemático) - (ángel lambert b, 2006)

Se caracteriza por efectuarse de forma irregular, enfocándose en zonas con rasgos favorables y sin responder completamente al azar. Aunque puede aplicarse en diferentes fases, su mayor utilidad se encuentra en los inicios de la exploración, ya que facilita la construcción de una base de datos para jerarquizar las áreas de interés. A medida que se adquiere mayor conocimiento del terreno, su aplicación se reduce a situaciones particulares que demandan información específica. Los tipos de muestras más utilizados en este método incluyen chips sample, chips channel, rock sample y grab sample (Ángel Lambert B., 2006).

2.2.1.8.3 Muestreo de superficie - (ángel lambert b, 2006)

Comienza después de identificar un área de interés y consiste en realizar un reconocimiento preliminar basado en un plan de mapeo y muestreo. Posteriormente, se define

tanto el tipo de muestra como el método más apropiado para su obtención (Ángel Lambert B., 2006).

2.2.1.9 Parámetros geoquímicos

Los parámetros geoquímicos más utilizados son el background, el threshold y la detección de anomalías, pues permiten reconocer la distribución elemental y diferenciar valores de referencia de los que presentan concentraciones inusuales.

2.2.1.10 Anomalía Geoquímica

Corresponde a un valor que sobrepasa el umbral establecido; aquellas asociadas con la mineralización se clasifican como significativas, mientras que las que no tienen relación con dichos procesos se denominan no significativas (Rivera, 2007).

2.2.1.11 El Batolito de Andahuaylas-Yauri

El Batolito de Andahuaylas–Yauri constituye una extensa intrusión magmática situada en el sur de los Andes peruanos, abarcando principalmente las regiones de Apurímac y Cuzco. Su formación corresponde mayoritariamente al Cretácico, aunque evidencia actividad magmática que se prolonga hasta el Cenozoico. Está integrado esencialmente por rocas ígneas, como granitoides y tonalitas, originadas en un contexto tectónico y magmático activo. Esta unidad geológica es una de las más relevantes en la configuración estructural del sur del Perú y ejerce una influencia directa en la formación y concentración de diversos minerales metálicos, entre ellos cobre, oro y plata.

De acuerdo con Huertas et al. (2015), el batolito surgió a partir de la interacción entre la placa de Nazca y la placa sudamericana, cuyo proceso de subducción generó el ascenso de material magmático hacia la corteza. Su composición geoquímica y mineralógica lo convierte en un

ambiente altamente propicio para el desarrollo de depósitos minerales, especialmente en zonas donde existen fracturas y alteración hidrotermal.

2.2.1.11.1 Composición y Petrogénesis del Batolito

La composición del Batolito de Andahuaylas–Yauri corresponde principalmente a series calcoalcalinas y subalcalinas. Sus rocas abarcan un rango que incluye granodioritas, tonalitas y monzodioritas, formadas a través de varios pulsos magmáticos que tuvieron lugar desde el Eoceno Superior hasta el Oligoceno. Los estudios petrogenéticos indican que este magmatismo se originó por fusión parcial de la corteza oceánica inferior o por la mezcla de magmas provenientes del manto y de la corteza continental. Las intrusiones más jóvenes —frecuentemente dacíticas y andesíticas— tienen una relación directa con los procesos de mineralización cuprífera.

2.2.1.11.2 La geología estructural del Batolito de Andahuaylas-Yauri:

La estructura del batolito presenta una marcada heterogeneidad y se asocia a un sistema complejo de fallas, fracturas y diques que representan las principales estructuras tectónicas de la región. Estas discontinuidades actúan como conductos para los fluidos hidrotermales que favorecieron la concentración de metales. El batolito está compuesto en su mayoría por rocas graníticas, granodioríticas y tonalíticas, formadas por la cristalización de magmas a profundidades considerables (García, 2017).

En su sector sur, la mineralización se ubica principalmente en zonas adyacentes a fallas y fracturas donde la actividad hidrotermal enriqueció los contenidos de cobre y otros metales. La estrecha relación entre las rocas ígneas y los depósitos minerales es uno de los rasgos más destacados de esta unidad, ya que las intrusiones proporcionan la base geológica necesaria para el

desarrollo de los yacimientos. Pérez y Sarmiento (2018) subrayan que la mineralización cuprífera está íntimamente asociada a áreas de alteración y fracturamiento dentro del batolito.

2.2.1.11.3 Relevancia Metalogenética y Zonación de Elementos

El BAY constituye la principal fuente magmática y de fluidos para una de las regiones más ricas en yacimientos minerales del país. La mineralización exhibe una zonación definida en función de la distancia a los centros intrusivos:

1. **Zona Proximal (Núcleo):** Predominan las alteraciones potásica y fílica (sericítica). Los metales característicos son Cu y Mo, típicos de sistemas tipo pórfido, acompañados de oro en menores proporciones.
2. **Zona Intermedia/Distal:** Presenta alteraciones argílica avanzada y propilítica. A medida que los fluidos se enfrian, precipitan Zn, Pb y Ag en vetas y cuerpos de reemplazo, especialmente en depósitos tipo skarn o sistemas epitermales periféricos. El análisis de la zonación geoquímica mediante elementos trazadores como As y Sb resulta fundamental para identificar y vectorizar los centros mineralizados a profundidad.

2.2.1.11.4 Producción Reservas Y Recursos De Cobre Y Oro En El Batolito Andahuaylas

Yauri

Dentro de las 23 franjas metalogenéticas del Perú, el Batolito Andahuaylas–Yauri forma parte de la Franja XV, caracterizada por la presencia de pórfidos y skarns de Cu–Mo (Au, Zn) y depósitos de Cu–Au–Fe vinculados a intrusiones del Eoceno-Oligoceno (Quispe et al., 2007,

2008). Esta franja destaca como una de las más relevantes por su alta productividad, ubicándose en el tercer lugar nacional en producción de cobre.

Desde el inicio de operaciones de la mina Tintaya en 1986, se han extraído aproximadamente 2 Mt de cobre (Acosta et al., 2009), dentro de los 23 Mt producidos en el Perú (Acosta et al., 2010b,c). Las franjas XIII (Paleoceno–Eoceno; Cuajone, Toquepala, Cerro Verde y Chapi) y XX (Mioceno) ocupan los primeros lugares.

Esta franja metalogenética también ocupa el tercer puesto en cuanto a reservas y recursos de cobre y oro, con alrededor de 24 Mt de cobre distribuidos en proyectos como Las Bambas, Antapaccay, Los Chancas, Quechua, Trapiche, Antilla, Haquira y Cotabambas. Estudios más recientes indican que estas cifras casi se han duplicado, alcanzando aproximadamente 500 t de oro y 40 Mt de cobre (com. per. Acosta, 2011).

2.2.2 Bases teóricas de Estadística

2.2.2.1 Media Aritmética: Es la suma de todos los valores dividida entre el número de observaciones, siendo particularmente útil en geoquímica para estimar concentraciones promedio en distribuciones simétricas (Reimann et al., 2008).

$$\text{MEAN} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i.$$

2.2.2.2 Mediana: Ubicado en la posición intermedia de un grupo de datos organizados del mínimo al máximo. A diferencia de la media, es poco afectada por valores atípicos o distribuciones sesgadas, lo que la convierte en una herramienta adecuada en geoquímica para representar la concentración típica de un elemento sin la influencia de extremos anómalos (Reimann et al., 2008).

2.2.2.3 Moda: Es el valor más frecuente dentro de un conjunto de observaciones. Su cálculo no dispone de una fórmula sencilla, pero puede estimarse mediante un histograma o una función de densidad, identificándola en el punto en el que se alcanza el valor máximo (Reimann et al., 2008).

2.2.2.4 Rango: Es la amplitud que existe entre los valores extremos (máximo y mínimo) de un grupo de observaciones. Aunque constituye una medida sencilla para estimar la amplitud de los datos, puede distorsionarse debido a la influencia de valores atípicos (Reimann et al., 2008).

$$\text{RANGE} = \text{MAX} - \text{MIN}$$

2.2.2.5 Varianza: Calcula el grado de dispersión de una colección de datos en relación con su media, a partir del promedio de los cuadrados de las desviaciones. Dado que su resultado se expresa en unidades cuadráticas, su interpretación no siempre resulta intuitiva (Reimann et al., 2008).

$$\text{VAR} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \text{MEAN})^2$$

2.2.2.6 Desviación Estándar: Equivale a la raíz cuadrada de la varianza y brinda la ventaja de expresarse en las mismas unidades que los datos, lo que facilita su interpretación como medida de dispersión en torno a la media. En distribuciones normales, aproximadamente el 68% de los valores se encuentran dentro de un intervalo de una desviación estándar (Reimann et al., 2008).

$$SD = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \text{MEAN})^2}$$

2.2.2.7 Rango Intercuartílico (IQR): se define como el intervalo comprendido entre el primer y el tercer cuartil, conteniendo la mitad central de las observaciones. Al ser menos sensible a valores atípicos que otras medidas de dispersión, como el rango o la desviación estándar, resulta especialmente útil en la interpretación gráfica de los datos a través de boxplot (Reimann et al., 2008).

$$IQR = 0.7413 \cdot (Q3 - Q1)$$

2.2.2.8 Análisis bivariado: O correlacional consiste en examinar de manera conjunta dos variables, generalmente expresadas como X y Y, con el objetivo de determinar si existe una relación de asociación (R. C. Reimann, P. Filzmoser, R. G. Garrett, R. Dutter.,2008).

2.2.2.9 Análisis multivariable: consiste en la evaluación conjunta de múltiples variables dependientes, entre ellas las características de sustancias químicas dispersantes, la desintoxicación del aceite, la toxicidad de los compuestos y los efectos sobre el medio ambiente (R. C. Reimann, P. Filzmoser, R. G. Garrett, R. Dutter.,2008).

2.2.2.10 Pruebas de Normalidad: (Shapiro-Wilk y Kolmogorov-Smirnov) se aplican para verificar el ajuste de un conjunto de datos a una distribución normal; si el resultado arroja un p menor a 0.05, se interpreta como evidencia suficiente para rechazar la hipótesis de normalidad (R. C. Reimann, P. Filzmoser, R. G. Garrett, R. Dutter.,2008).

Prueba Shapiro-Wilk

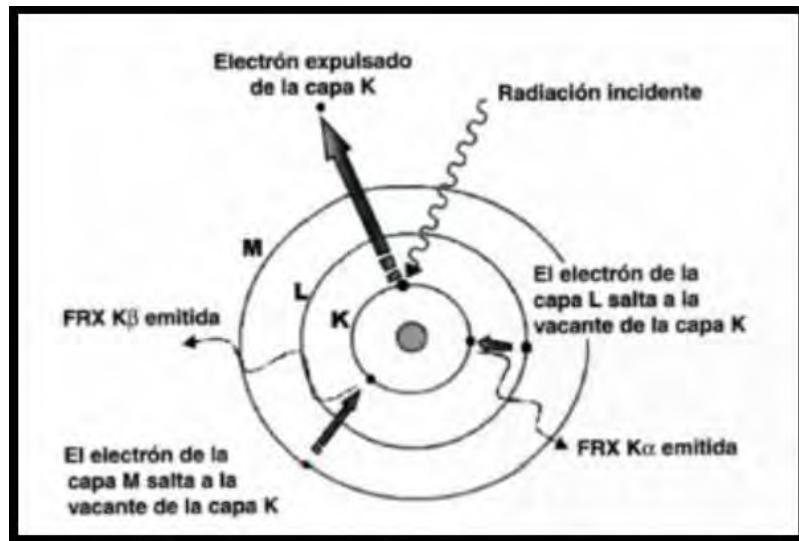
De acuerdo con Novales (2010), la prueba Shapiro-Wilk se utiliza para evaluar la normalidad en muestras pequeñas, particularmente cuando el tamaño no supera las 50 observaciones, siendo en muestras grandes comparable con la prueba de Kolmogórov-Smirnov. El procedimiento inicia con el ordenamiento de los datos de menor a mayor, a partir de lo cual se calculan la media y la varianza muestral. La hipótesis nula de normalidad se rechaza si el estadístico W es inferior al valor crítico establecido para el tamaño de la muestra y el nivel de significancia correspondientes (R. C. Reimann, P. Filzmoser, R. G. Garrett, R. Dutter.,2008).

2.2.2.11 Transformación Logarítmica: De acuerdo con Davis (2002) y Reimann et al. (2008), la transformación logarítmica es una técnica comúnmente utilizada en datos geoquímicos con distribuciones asimétricas. Su aplicación, ya sea mediante logaritmos naturales (Ln) o en base 10 (Log), contribuye a aproximar los datos a una distribución normal, lo que permite emplear métodos estadísticos paramétricos. No obstante, la interpretación de los resultados debe considerar que estos se expresan en concentraciones logarítmicas (R. C. Reimann, P. Filzmoser, R. G. Garrett, R. Dutter.,2008).

2.2.3 Bases teóricas de fluorescencia de rayos X

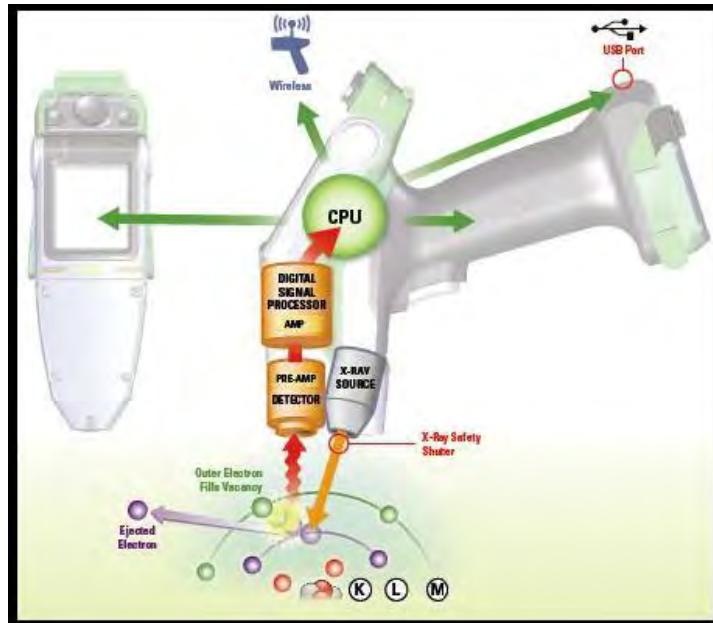
2.2.3.1 Fluorescencia de Rayos X (XRF): Como señala Villanueva (2019) es un método que exige la verificación comparativa de resultados obtenidos con estándares de composición químicos reconocidos. Esta técnica aporta detalles cuantitativos y cualitativos sobre elementos químicos presentes en las muestras. Los análisis cualitativos se derivan a partir de la energía específica o de la longitud de onda correspondiente a la radiación de fluorescencia de rayos X, de la radiación de fluorescencia de rayos-X emitida, mientras la evaluación cuantitativa se determina contando los rayos-X en función de una concreta. Permite analizar muestras como sedimentos, relaves y rocas, teniendo en cuenta que las concentraciones más bajas deben superar el 0,0001% (1 ppm).

Figura 5: Emisión de la radiación de fluorescencia de rayos X.



Nota: Adaptado de Carhuapoma Carlos, J. J. (2018).

Figura 6: Ilustración del mecanismo de emisión de fluorescencia por rayos X.



Nota: Adaptado de Carhuapoma Carlos, J. J. (2018). “Caracterización petrológica de las muestras de roca con el analizador XRF portátil Niton XL5 para contribuir a la ubicación de zonas de ocurrencia mineral en el proyecto minero Zoraida, Distrito de Suitucancha – Yauli – Junín”.

2.2.3.2 Analizador XRF Portátil

Constituye un equipo diseñado para realizar mediciones en campo (*in situ*) de posibles anomalías geoquímicas, se basa a través de la fluorescencia de rayos X, cuyo principio radica en

las transiciones de electrones inducidas por la incidencia de radiación electromagnética (rayos X), teniendo un funcionamiento de la siguiente manera:

- Primeramente, se limpia la muestra a realizar.
- El material es irradiado en su superficie por rayos X de manera directa.
- Se emite fluorescencia de rayos X en forma de fotones desde los átomos de la muestra.
- Los paquetes de energía generados son detectados y traducidos en una señal eléctrica.
- El espectro generado es procesado por la unidad central (CPU) y la composición elemental se calcula en PPM

2.2.3.3 Operación automática del Analizador XRF

- a) Este equipo no necesita calibración, se realiza mediante su estación de acoplamiento

Figura 7: Equipo Vanta™ XRF Analyzer



- b) Se coloca la cantidad de disparos y el tiempo, en este estudio se realizó 3 disparos en cada 20 segundos.

Figura 8: Programación del equipo



c) Se coloca en la encima de la muestra a estudiar

Figura 9: Disparos y lectura de la muestra de roca



d) Se observa todos los elementos en una medida de ppm

Figura 10: Revisión y almacenamiento de resultados



2.2.4 Bases teóricas de estudios de Terraspec

2.2.4.1 Estudios especiales de análisis de espectroscópica Terraspec

Este método identifica los minerales presentes en las firmas espectrales recolectadas de las muestras de roca con la finalidad de definir las zonas de alteración importantes asociados a procesos de mineralización.

La técnica aplicada corresponde a la Espectroscopia de reflectancia de Onda Corta Infrarroja (SWIR), mediante el equipo TERRASPEC, se basa en la utilización de la energía de vibración molecular dentro de las regiones del espectro electromagnético, tales como la luz visible (0.4-0.7 μm), la onda infrarroja cercana (0.7-1.3 μm) y la onda corta infrarroja (1.3-2.5 μm). Con este procedimiento se analiza las propiedades espectrales de los minerales y compuestos. Los minerales identificados por esta técnica poseen una estructura atómica interna que posee la propiedad de absorción de la luz emitida por el espectrómetro Terraspec, teniendo como resultado una curva característica llamada espectro.

Los datos recolectados se interpretan manualmente a partir de los rasgos de absorción y de la reflectancia específica de cada mineral. Para complementar este análisis se emplea el software The Spectral Geologist (TSG 8), que permite extraer parámetros espectrales y precisar variaciones en la composición mineral, así como en la cristalinidad de micas blancas (Cassadyl & Harraden, 2013).

CAPITULO III: METODOLOGIA

3.1 Método de investigación (enfoque):

Cuantitativo: Se basa en la recopilación de datos numéricos y su análisis estadístico, con el propósito de verificar hipótesis, establecer pautas de comportamiento y evaluar teorías (Sampieri, 2014). Busca describir y explicar los resultados de las muestras geoquímicas mediante un procesamiento estadístico.

Figura II: Enfoque cuantitativo.



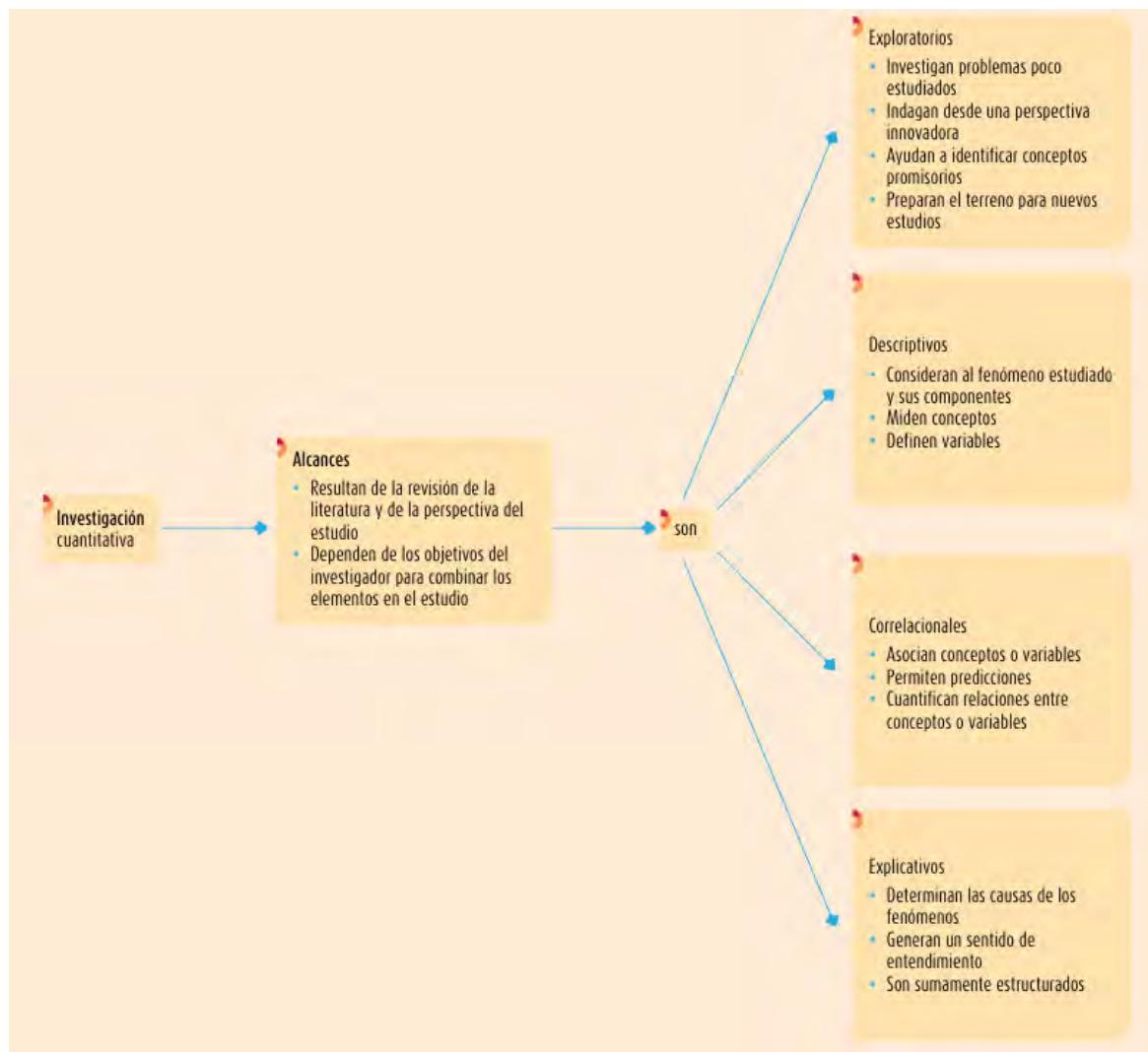
Nota: Adaptado de **Metodología de la investigación** por Sampieri, R. H. (2014)

3.2 Tipo y nivel de investigación (alcance):

Descriptivo: Se sustenta en determinar y detallar las propiedades y características esenciales de un fenómeno a analizar (Sampieri, 2014). Busca caracterizar y documentar las propiedades geológicas y geoquímicas de las estructuras mineralizadas del sector Minas Punku.

Correlacional: Identifican relaciones variables mediante un patrón predecible para un grupo o población (Sampieri, 2014). Su finalidad es explicar la correlación de elementos con el cobre (Cu) por medio de un procesamiento geoquímico.

Figura 12: Alcance de la investigación.

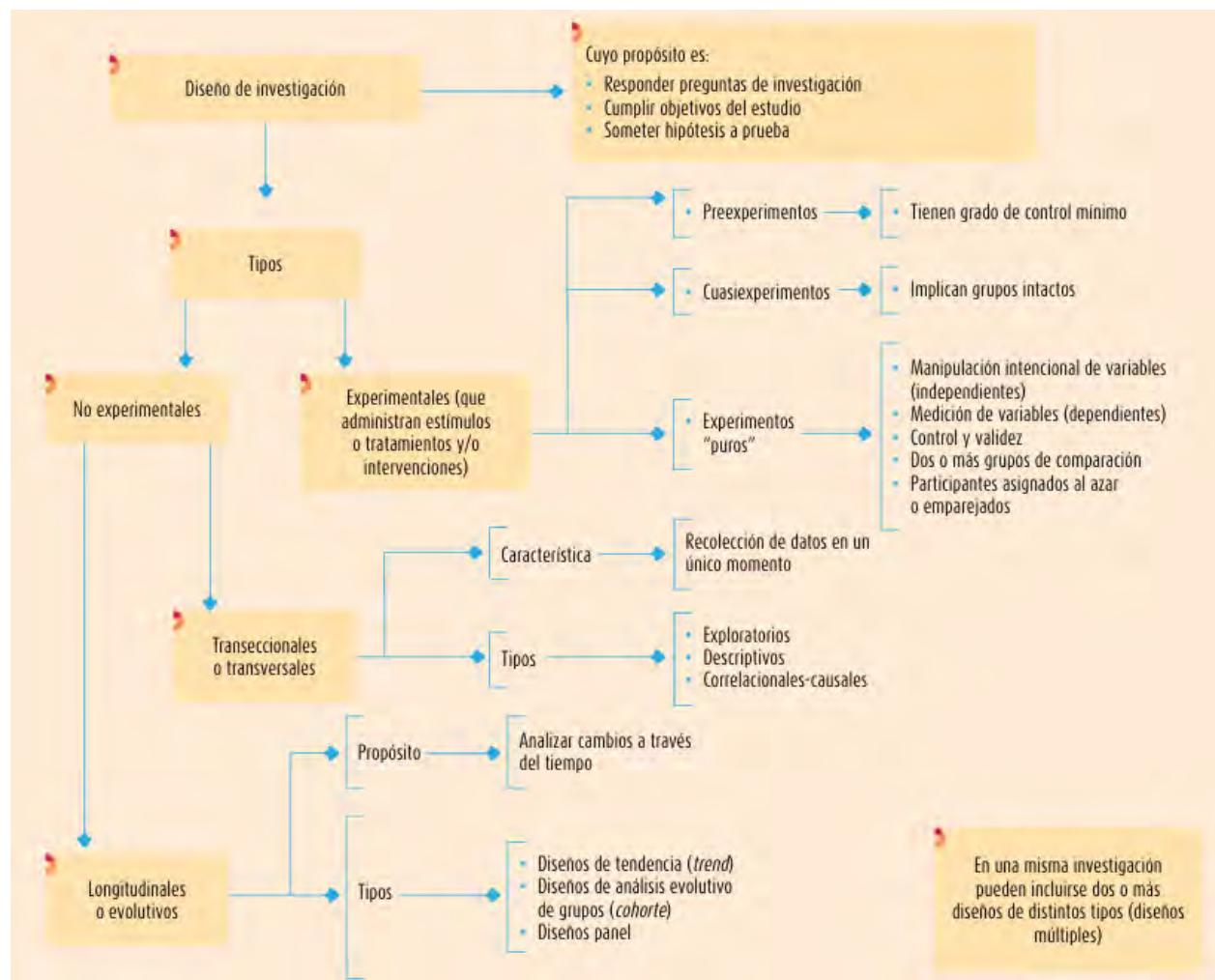


Nota: Adaptado de *Metodología de la investigación* por Sampieri, R. H. (2014)

3.3 Diseño de investigación:

Investigación no experimental - transversal: Se recolectan datos en un solo momento, en un tiempo único (Liu, 2008 y Tucker, 2004). Su propósito es describir y analizar las estructuras mineralizadas y correlacionar con los resultados geoquímicos para definir las anomalías de cobre (Cu) en el sector Minas Punku.

Figura 13: Diseño de investigación.



En una misma investigación pueden incluirse dos o más diseños de distintos tipos (diseños múltiples)

Nota: Adaptado de *Metodología de la investigación* por Sampieri, R. H. (2014)

3.4 Metodología de trabajo

3.4.1 Etapa de gabinete pre-campo

En esta fase inicial, el objetivo será realizar:

- Recopilación bibliográfica, se centrará en los estudios geológicos previos y actuales de la zona de estudio. Se incluirán estudios desde los trabajos pioneros hasta las investigaciones más recientes, con el fin de integrar datos sobre las características litológicas, mineralógicas y geoquímicas del sector Minas Punku.
- Elaboración de mapas geológicos y topográficos usando imágenes satelitales.
- Elaboración de plan de muestreo de rocas.
- Organización de materiales: Costales, bolsas de muestreo, precintos, etiquetas de codificación de muestras, picota, comba, brújula, GPS, libreta de campo, rayador, lupa, lápiz imán, ácido clorhídrico, chaleco de campo, lentes de seguridad, guantes y gorras de campo.

3.4.2 Etapa de trabajo en campo

Una vez completada la etapa pre-campo, se procederá a realizar las actividades de campo durante el periodo comprendido entre enero y abril del 2025. Se realizarán un total de 10 salidas de campo, en las cuales se llevará a cabo el siguiente trabajo:

1. **Cartografiado geológico:** Se procederá a realizar el mapeo detallado de las unidades litológicas presentes en la zona de estudio a una escala al 1:2500, identificando las alteraciones mineralógicas y las estructuras.

- 2. Medición de datos estructurales:** Se medirán y registrarán los datos estructurales como: fallas, dirección de las capas (dip y azimut), vetas, vetillas que permitirán entender mejor el entorno geológico del área.
- 3. Muestreo geoquímico:** Se llevará a cabo el muestreo geoquímico de acuerdo con el plan de muestreo, con el objetivo de identificar elementos químicos para su interpretación y correlación. Las muestras serán enviadas posteriormente a un laboratorio.

3.4.2.1 Técnicas, instrumentos y materiales

3.4.2.1.1 Técnicas

- **Observación directa:** Inspección visual y descriptiva de las unidades geológicas, alteraciones y mineralización en el terreno.
- **Recopilación de datos de campo:** Registro y documentación sistemática de las observaciones realizadas durante las salidas de campo.

3.4.2.1.2 Instrumentos

GPS: Para la georreferenciación precisa de los puntos de muestreo.

Brújula: Para medir las orientaciones de las estructuras geológicas (pliegues, fallas, etc.).

Cámara fotográfica: Para documentar visualmente las características geológicas y los puntos clave de la investigación.

3.4.2.1.3 Materiales

- Imagen satelital
- Mapa base
- Ácido clorhídrico al 10%

- Tablero
- Lupa
- Rayador
- Lápiz imán
- Libreta de campo
- Lápices de colores
- Plumón
- Bolsas de muestreo
- Precinto.
- Picota
- Comba
- Costales

3.4.2.2 Equipo de protección personal (EPP)

- Gorras de campo
- Chaleco de campo
- Lentes de seguridad
- Guantes de seguridad
- Bloqueador
- Poncho de agua.

3.4.3 Etapa de laboratorio

En esta fase, las muestras obtenidas en campo serán ordenadas y seleccionadas para su análisis en laboratorio. Las pruebas incluirán análisis geoquímicos mediante técnicas como Terraspec y análisis XRF. Este análisis detallado proporcionará información para la interpretación de anomalías de cobre (Cu).

3.4.4 Etapa de gabinete post-campo

Una vez completada la etapa de campo, se procederá a la sistematización y organización de los datos obtenidos. Este proceso incluirá:

- 1. Georreferenciación y organización de datos:** Los puntos de control georreferenciados serán incorporados en una base de datos, lo que permitirá un análisis preciso y ordenado de la información.
- 2. Elaboración de mapa geológico:** Utilizando el software ArcGIS, se construirá un mapa geológico detallado que representará las unidades litológicas, las alteraciones y las estructuras tectónicas mapeadas en campo.
- 3. Descripción macroscópica de las muestras:** Se realizará una descripción detallada de las muestras seleccionadas, documentando su litología, alteraciones y mineralización. Esta información será clave para el desarrollo del modelo de reservas y para la interpretación geológica general.

3.5 Técnicas de procesamiento y análisis e interpretación

3.5.1 Procesamiento

Las muestras obtenidas durante el trabajo de campo serán enviadas a un laboratorio especializado, donde se realizarán análisis geoquímicos avanzados, como el análisis de Terraspec y XRF, para identificar elementos químicos.

3.5.2 Análisis e interpretación de datos geoquímicos

Los resultados geoquímicos obtenidos se procesarán mediante métodos estadísticos para determinar tendencias y correlaciones de elemento químicos. El análisis de estos resultados permitirá la interpretación geológica y geoquímica, para así identificar anomalías de cobre (Cu) económicamente rentables.

CAPÍTULO IV: MARCO GEOLÓGICO

4.1 Geomorfología Regional

La zona de estudio se investigó dos unidades geomorfológicas regionales: Altiplano y borde NE de la Cordillera Occidental.

4.1.1 Altiplano:

Según INGEMMET (2020) En esta zona afloran rocas mesozoicas con espesores menores en comparación con la Cordillera Occidental; no obstante, las formaciones continentales rojas del Terciario alcanzan grandes potencias del altiplano, destacando el Grupo San Jerónimo con más de 5000 m y una mayor extensión de afloramientos. Morfológicamente, el sector constituye una altiplanicie con elevaciones entre 3800 y 4000 m s. n. m., aunque algunas montañas superan los 4400 m s. n. m. Esta unidad presenta una fuerte disección por ríos y por la acción glaciar, lo que le confiere un relieve abrupto pese a pertenecer al Altiplano.

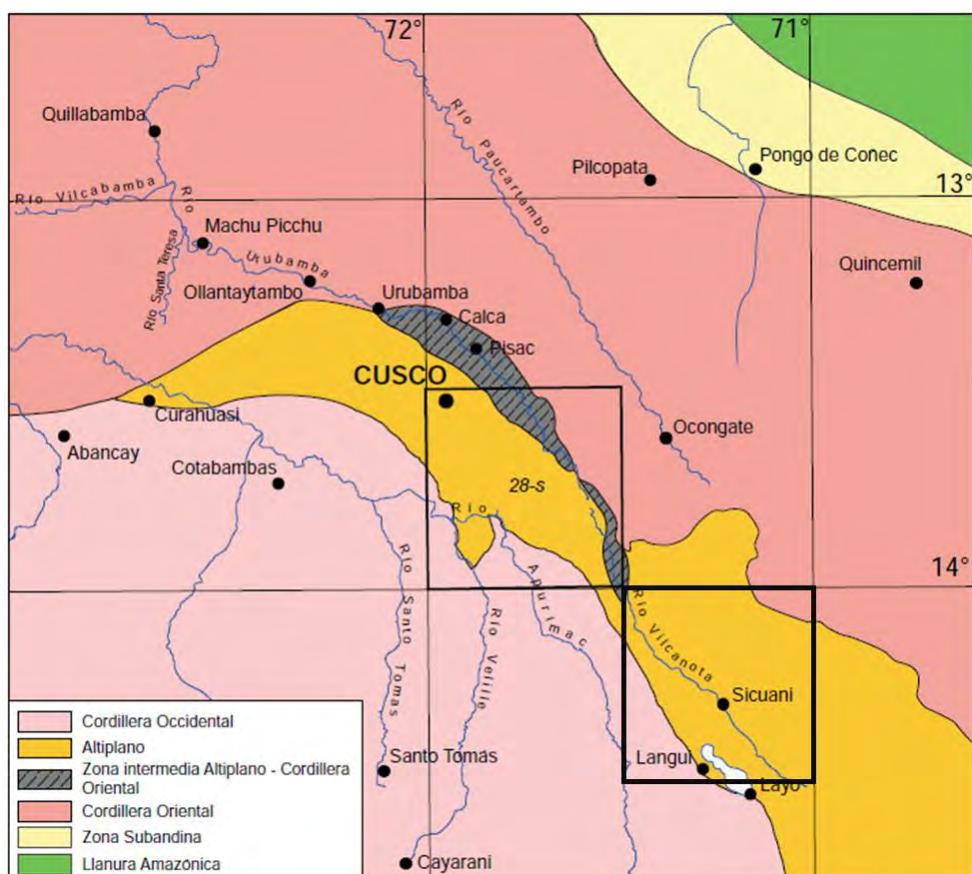
4.1.2 Borde NE de la Cordillera Occidental:

Como señala Carlotto (2011) la unidad geológica está conformada por los contrafuertes orientales de la Cordillera Occidental, con elevaciones entre 4,500 a 4,900 metros, se presentan generados por los afluentes del Vilcanota y Alto Apurímac. En su mayor parte, está constituida por rocas del Terciario y, en menor proporción, del Cretácico.

El contacto con el Altiplano muestra un trazado irregular, asociado a variaciones de los dominios paleogeográficos, controlados por fallas regionales de importancia, con direcciones NNO-SSE Huanoquite - Accha y NO-SE Cusibamba-Acomayo.

Paleogeográficamente, esta zona corresponde al borde nororiental de la cuenca mesozoica occidental ubicada en el sur del Perú. En este sector aparecen areniscas cuarzosas pertenecientes a la Formación Soraya del Grupo Yura, así como calizas de la Formación Arcurquina, que datan del Albiano - Turoniano. Estas unidades estratigráficas están cubiertas de manera discordante por rocas conglomerádicas de la Formación Anta y Grupo Tacaza. Asimismo, se cortan a las unidades mesocenozoicas con los intrusivos eocenos del borde norte del Batolito Andahuaylas-Yauri, generando en algunos sectores procesos de skarn y mineralizaciones, entre ellas el yacimiento de Accha.

Figura 14: Unidades geomorfológicas regionales y ubicación del cuadrángulo de Cusco.



Nota: Adaptado de *Geología del cuadrángulo de Cusco*, hoja 28 S por Carlotto Caillaux, V. S., Cárdenas Roque, J. D., & Carlier, G. (2011).

4.1.2.1 El Batolito de Andahuaylas-Yauri

El Batolito de Andahuaylas–Yauri es una amplia masa intrusiva de origen magmático localizada en el sector sur de los Andes peruanos, principalmente dentro de las regiones de Apurímac y Cuzco. Su desarrollo se atribuye en gran parte al Cretácico, aunque presenta episodios magmáticos que continúan hasta el Cenozoico. Está compuesto fundamentalmente por rocas ígneas, como granitoides y tonalitas, formadas en un ambiente tectónico y magmático activo. Esta unidad geológica es una de las más importantes para la arquitectura estructural del sur del Perú y tiene un papel esencial en la generación y concentración de minerales metálicos como cobre, oro y plata.

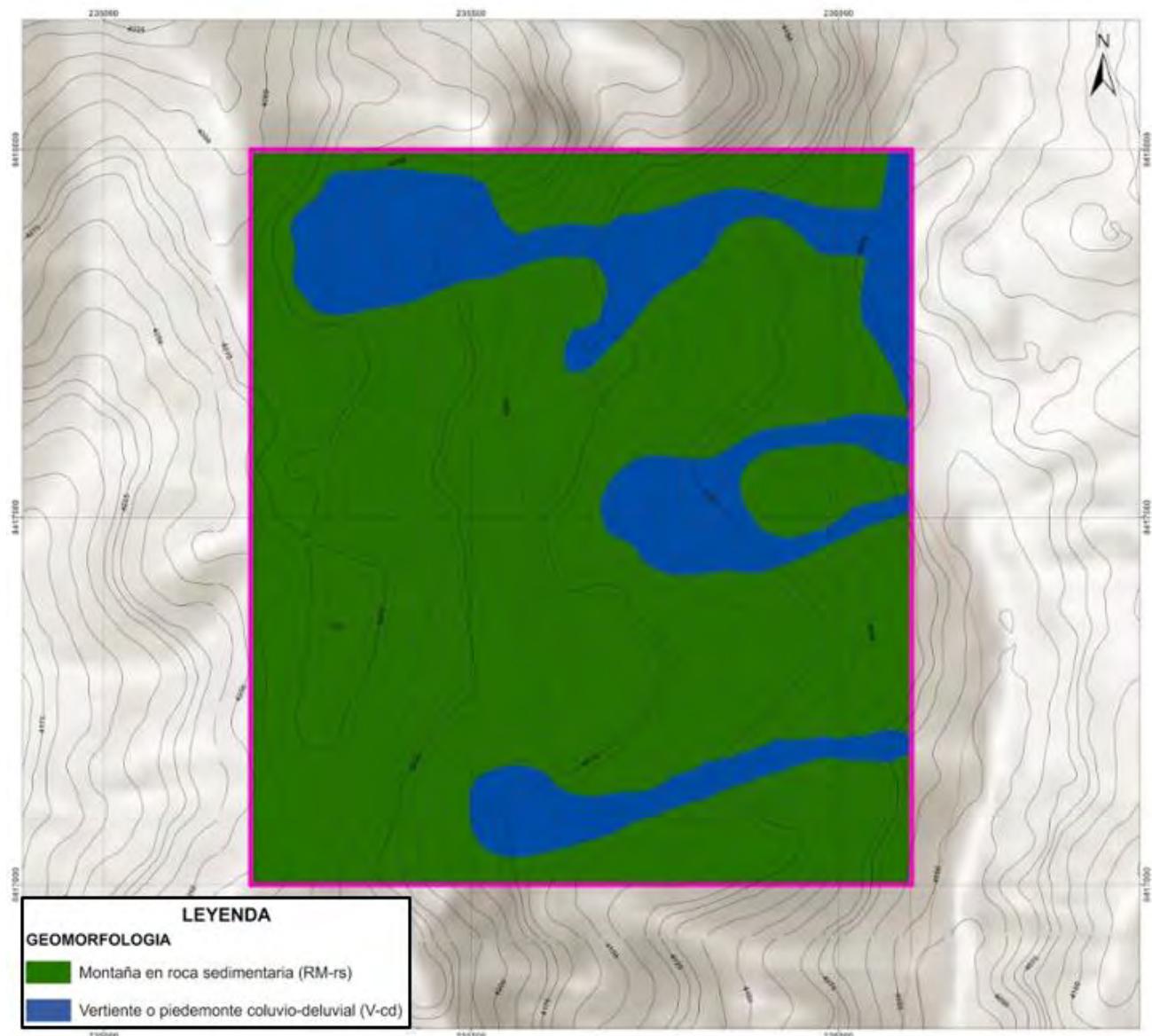
Según Huertas et al. (2015), la formación del batolito está relacionada con la interacción entre la placa de Nazca y la placa Sudamericana, donde el proceso de subducción permitió el ascenso de magmas hacia la corteza. Su composición mineralógica y geoquímica favorece la aparición de depósitos minerales, especialmente en áreas donde se presentan fracturas y procesos de alteración hidrotermal.

Su importancia radica no solo en su extensión y volumen, sino también en su influencia sobre la arquitectura estructural de los Andes del sur. El batolito actuó como un elemento rígido dentro de la corteza, condicionando la deformación regional y controlando la formación de fallas, fracturas y zonas de debilidad que posteriormente permitieron la circulación de fluidos hidrotermales. En consecuencia, esta unidad geológica está estrechamente vinculada con la génesis de depósitos minerales de gran valor económico, como los de cobre, oro, molibdeno y plata, los cuales se distribuyen principalmente en su contacto con secuencias volcánicas y sedimentarias circundantes.

4.2 Geomorfología Local

En el sitio estudiado se han distinguido dos unidades geomorfológicas locales: Montañas de rocas sedimentarias y vertientes (ver figura 15).

Figura 15: Mapa geomorfológico local.



4.2.1 Montañas de rocas Sedimentarias:

En la zona de estudio se identificó la unidad morfológica de montaña de rocas sedimentarias, correspondientes a una elevación natural de terreno, constituida por rocas sedimentarias tipo caliza de la formación Arcurquina, rocas conglomeradas, areniscas cuarzosas y andesitas volcánicas de la formación anta. La parte superior se caracteriza por ser semis redondeada y sus laderas irregulares muestran inclinaciones de moderadas a fuertes entre 15° a 35° (Figura 16).

Figura 16: Montañas en rocas Sedimentarias de zona de estudio Minas Punku



4.2.2 Vertiente o piedemonte coluvio-deluvial (V-cd):

Según Gómez & Parí (2020). Unidad constituida por la acumulación de sedimentos de origen coluvial y eluvial dispuestos de forma interestratificada, lo que impide diferenciarlos como una unidad independiente. Dicho material se ubica acumulados en la base de las laderas de

montañas o acantilados de valles (Figura 17). En el área de estudio lo encontramos a pie de monte de las montañas de la formación Anta.

Figura 17: Vertiente o pie de monte de las montañas de la formación Anta



4.3. Flora Y Fauna

4.3.1 Flora:

La cobertura vegetal en Yanaoca se organiza en diferentes pisos ecológicos:

- **Puna alta:** La mayor parte son de especies como el ichu y la chilligua y en menor proporción las plantas tipo espinosas.

- **Zonas intermedias:** se encuentran especies como: el ichu, musgos, la yareta y líquenes.
- **Zonas bajas:** Se cultivan especies de árboles frutales como la tuna, también papas, hortalizas, maíz, trigo, oca.

4.3.2 Fauna:

La fauna de Yanaoca incluye una variedad de especies adaptadas a su entorno:

- **Mamíferos:** Venado gris y negro de los Andes, vizcacha, cuy salvaje, gato montés, zorrino, gallinazo, llamas y vicuñas.
- **Aves:** Cóndor, diversas especies de perdices y otras aves propias de los altiplanos.

Los pobladores de Yanaoca crían animales en menor cantidad como cuyes, conejos y gallinas, así como ganado ovino, vacuno, camélido, porcino. (Figura 18).

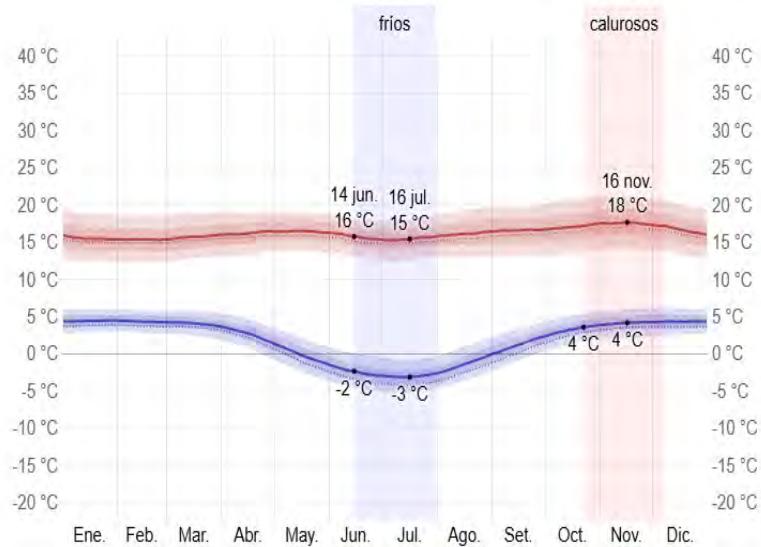
Figura 18: Fauna de la zona de estudio Minas Punku



4.4 Clima

En Yanaoca, los inviernos breves, muy fríos, secos y parcialmente nublados, los veranos son cortos, frescos y nublados. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente oscila de -3 °C a 18 °C y raramente desciende por debajo de -5 °C o supera los 21 °C.

Figura 19: La temperatura más alta (roja) y la más baja (azul).

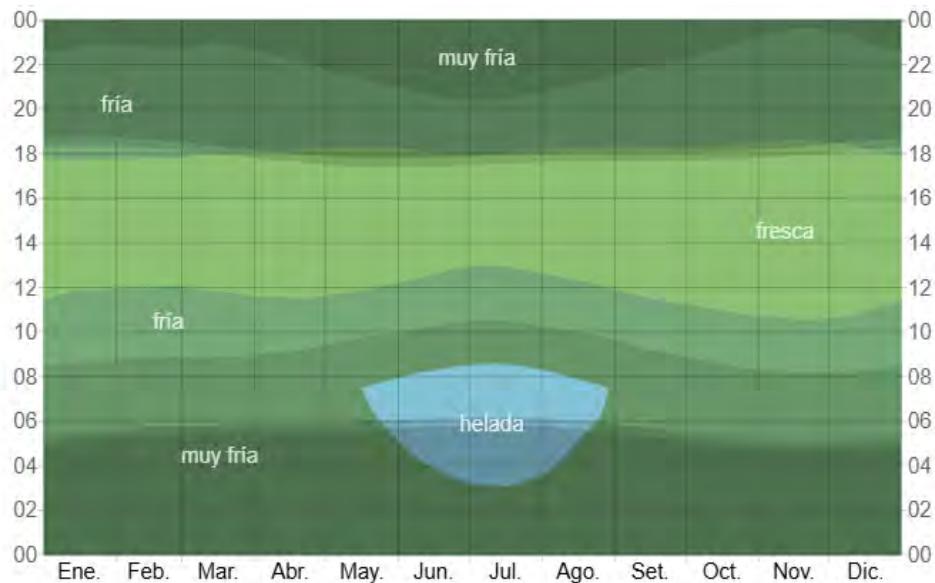


Promedio	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
Máxima	16 °C	15 °C	16 °C	16 °C	16 °C	16 °C	15 °C	16 °C	17 °C	17 °C	18 °C	17 °C
Temp.	9 °C	9 °C	9 °C	9 °C	8 °C	6 °C	6 °C	7 °C	8 °C	9 °C	10 °C	10 °C
Mínima	4 °C	4 °C	4 °C	3 °C	-0 °C	-2 °C	-3 °C	-1 °C	1 °C	3 °C	4 °C	4 °C

Nota: Weather Spark. (s.f.). *Clima de Yanaoca*.

La figura 19 presenta un resumen gráfico de las temperaturas promedio por hora durante el invierno.

Figura 20: La temperatura media por hora, codificada por colores en bandas. Las áreas sombreadas superpuestas señalan la noche y el crepúsculo civil.

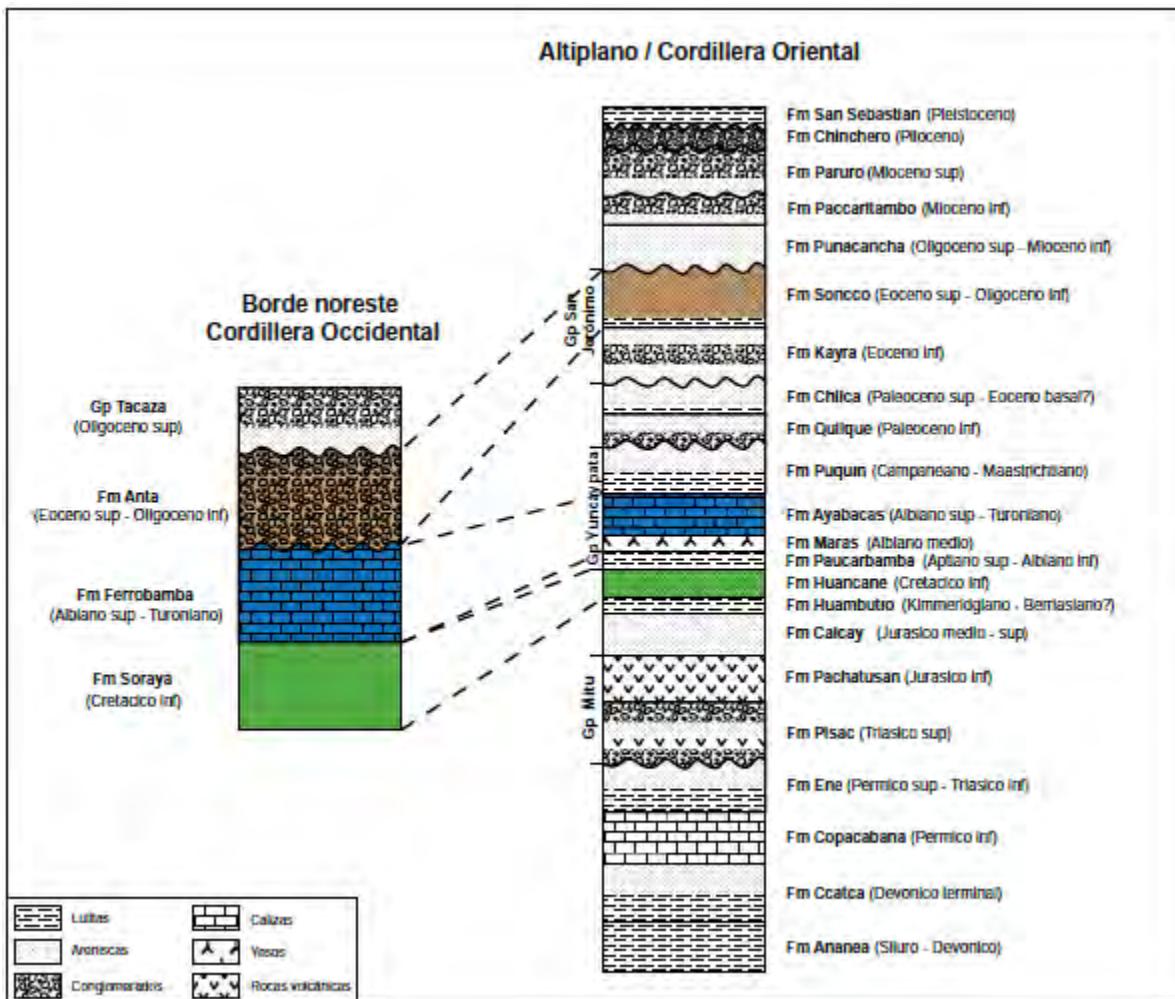


Nota: *Clima de Yanaoca* (<https://es.weatherspark.com/>).

4.5 Geología Regional

4.5.1 Estratigrafía Regional

Figura 21: Estratigrafía de los dominios morfoestructurales regionales.



Nota: INGEMMET - Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico del Perú. (2010). *Boletín 138a:*

Geología del Cuadrángulo de Cusco (28-s). Boletín, Serie A: 138.

4.5.1.1 Grupo Puno

Dentro del cuadrángulo de Cusco, el Grupo Puno está compuesto por las formaciones Soncco y Anta. Ambas se formaron al mismo tiempo, pero en áreas geográficas cercanas.

4.5.1.2 Formación Anta: Eoceno medio y el Oligoceno inferior

Como afirma Carlotto (1996), esta unidad geológica es discordante (erosional) a la Formación Chilca en el tramo vial entre Sangarará y Acomayo, mientras que en localidades como Accha y Acomayo se dispone en discordancia angular sobre la Formación Ferrobamba y cuerpos intrusivos. Paleo geográficamente, se considera equivalente proximal de la Formación Soncco (Carlotto, 1998).

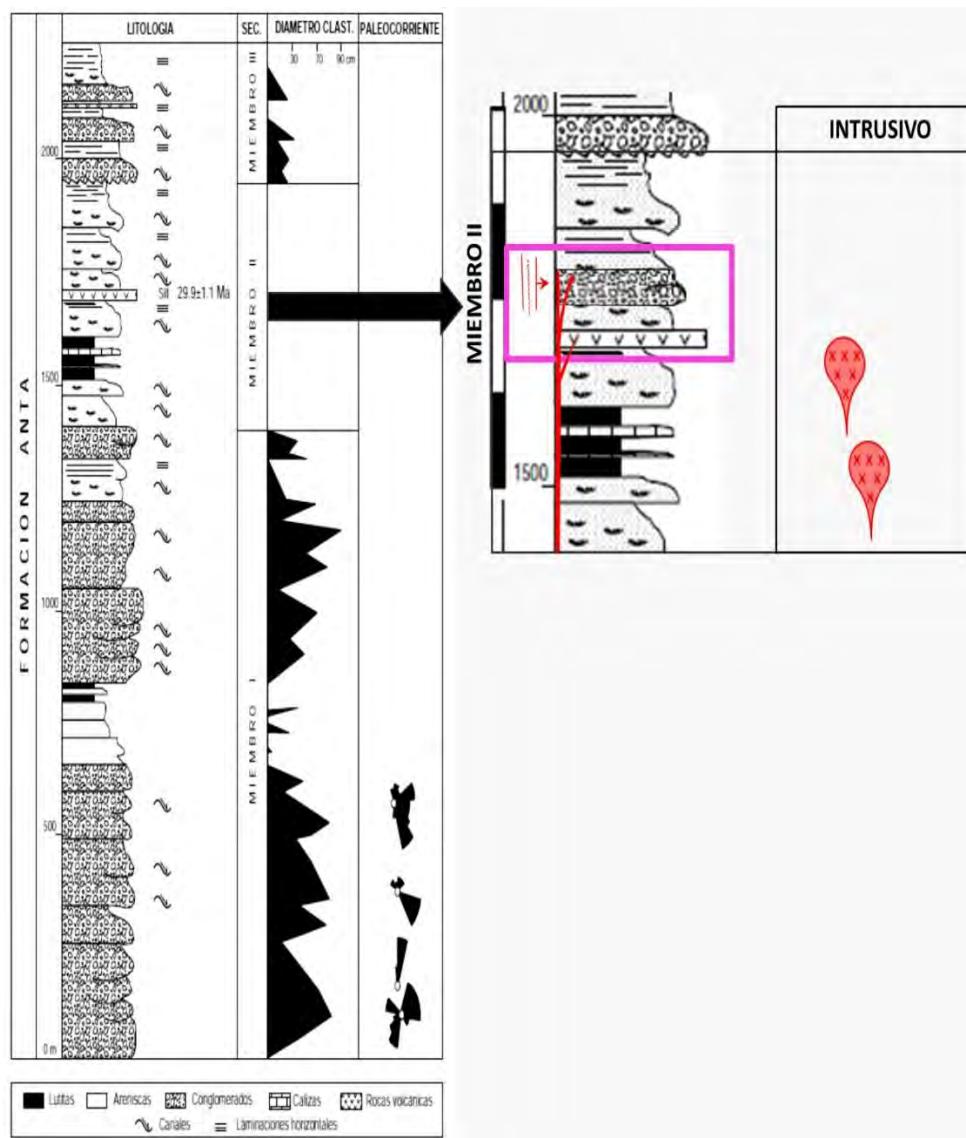
Litológicamente se divide en tres miembros:

- **Miembro I (1,500-2,500 m):** Dominado por conglomerados de abanicos aluviales con clastos volcánicos, calizas y cuarcitas, con intercalación de niveles sedimentarios (areniscas feldespáticas, limonitas rojizas), y en menor proporción, brechas, aglomerados y coladas volcánicas. Hacia el sur se encuentra su máxima potencia, especialmente en el anticlinal de Coyabamba, con 2,500 m de espesor.
- **Miembro II (500-700 m):** Compuesto por secuencias intercaladas de areniscas y lutitas de origen fluvial, con la presencia esporádica de bancos de conglomerados y fragmentos piroclásticos.
- **Miembro III:** En la zona sur de Acomayo se identifica una sucesión de conglomerados con matriz tufácea que yace en discordancia erosional y ligera discordancia angular sobre el Miembro II, con presencia de diques y sills de basalto (Carlotto et al., 1997b; Carlotto, 1998).

Su edad se determina mediante su posición sobre unidades paleocenas-eocenas y dataciones radiométricas. En Limatambo (Cuadrángulo de Urubamba, 27-r) reposa en discordancia sobre rocas intrusivas datadas por el método K/Ar sobre hornblendas en 43.3 ± 1.9

Ma (Carlotto, 1998). Los plutones de Pomacanchi y Acopia infrayacentes a la Formación Anta han sido datadas en 42 Ma (Bonhomme et al., 1985; Carlier et al., 1996). En los macizos de Accha y Acomayo, se registran edades de 44.6 ± 1.1 y 48.5 ± 5.3 Ma, respectivamente, estando sobre yacidos por los conglomerados de la Formación Anta. Coladas volcánicas en la parte media de la formación en Anta-Chinchaypujio (Cuadrángulo de Tambobamba, 28-r) presentan edades K/Ar sobre anfibolitas de 38.4 ± 1.5 y 37.9 ± 1.4 Ma (Carlotto, 1998). Finalmente, en la parte superior de la formación, en la zona de Pomacanchi, lavas, diques y sills presentan edades de 29.9 ± 1.1 Ma, también obtenidas mediante K-Ar sobre roca total. En conjunto, estas evidencias permiten asignar a la Formación Anta una cronología que abarca desde el Eoceno medio hasta el Oligoceno inferior, aproximadamente entre 42 y 30 millones de años.

Figura 22: Columna estratigráfica adaptado de la Formación Anta levantada al sur de Pomacanchi, límite de los cuadrángulos de Cusco y Livitaca.



Nota: Cuadrángulos de Cusco y Livitaca. Tomado de Carlotto (1998).

4.5.1.3 Formación Arcurquina: Albiano-Turoniano

Al sur de Coyabamba y al oeste de Accha. aflora ampliamente al suroeste del cuadrante III la Formación Arcurquina

En base al cuadrángulo de Urubamba (1992) las calizas de esta unidad muestran una disposición estructural disarmónica, presentando pliegues muy apretados que, en algunos sectores, contrastan con la deformación más regular de unidades lito estratigráficas adyacentes como la Formación Hualhuani.

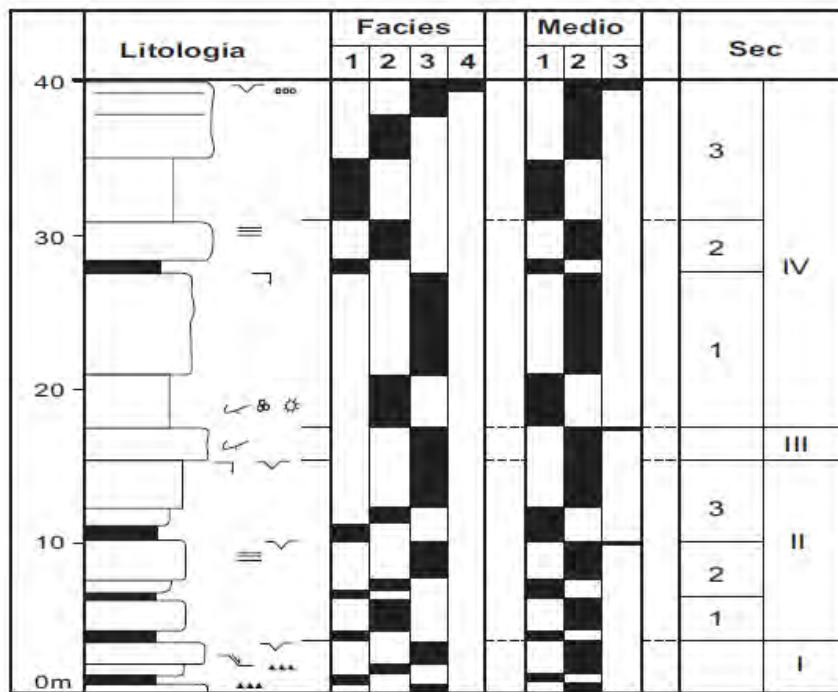
Geológicamente está constituida por calizas, con escasas intercalaciones de lutitas negras, predominadas mayormente por mudstone y wackstone, con menor presencia de packstone y grainstone, dispuestas en bancos con espesores que varían entre 0,20 y 4 metros, organizadas en secuencias con gradación ascendente de tamaño de grano. En zonas de contacto con cuerpos intrusivos, como en el caso de Accha, se observan desarrollos de skarn con mineralización de magnetita.

A causa de la intensa deformación, no se ha podido levantar una columna completa, no obstante, en áreas cercanas como el cuadrángulo de Cotabambas, se han identificado cuatro miembros o secuencias diferenciadas.

La edad de la Formación Arcurquina se establece mediante la fauna fósil de la región, que indica un rango Albiano-Turoniano (Marocco, 1978; Pecho, 1981). Esta edad se puede precisar más mediante correlaciones con la Formación Arcurquina de Arequipa (Jaillard, 1995). Según esta correlación, la secuencia I corresponde al Albiano inferior, la secuencia II al Albiano superior-Cenomaniano, la secuencia III al Cenomaniano medio-superior y la secuencia IV al Turoniano (Benavides, 1962).

Desde una perspectiva económica, las calizas de la Formación Arcurquina representan un importante metalotecto en la exploración de depósitos tipo skarn. En la zona evaluada, se han identificado cuerpos de skarn con granates y magnetita, asociados a mineralización de cobre, particularmente en el sector de Accha.

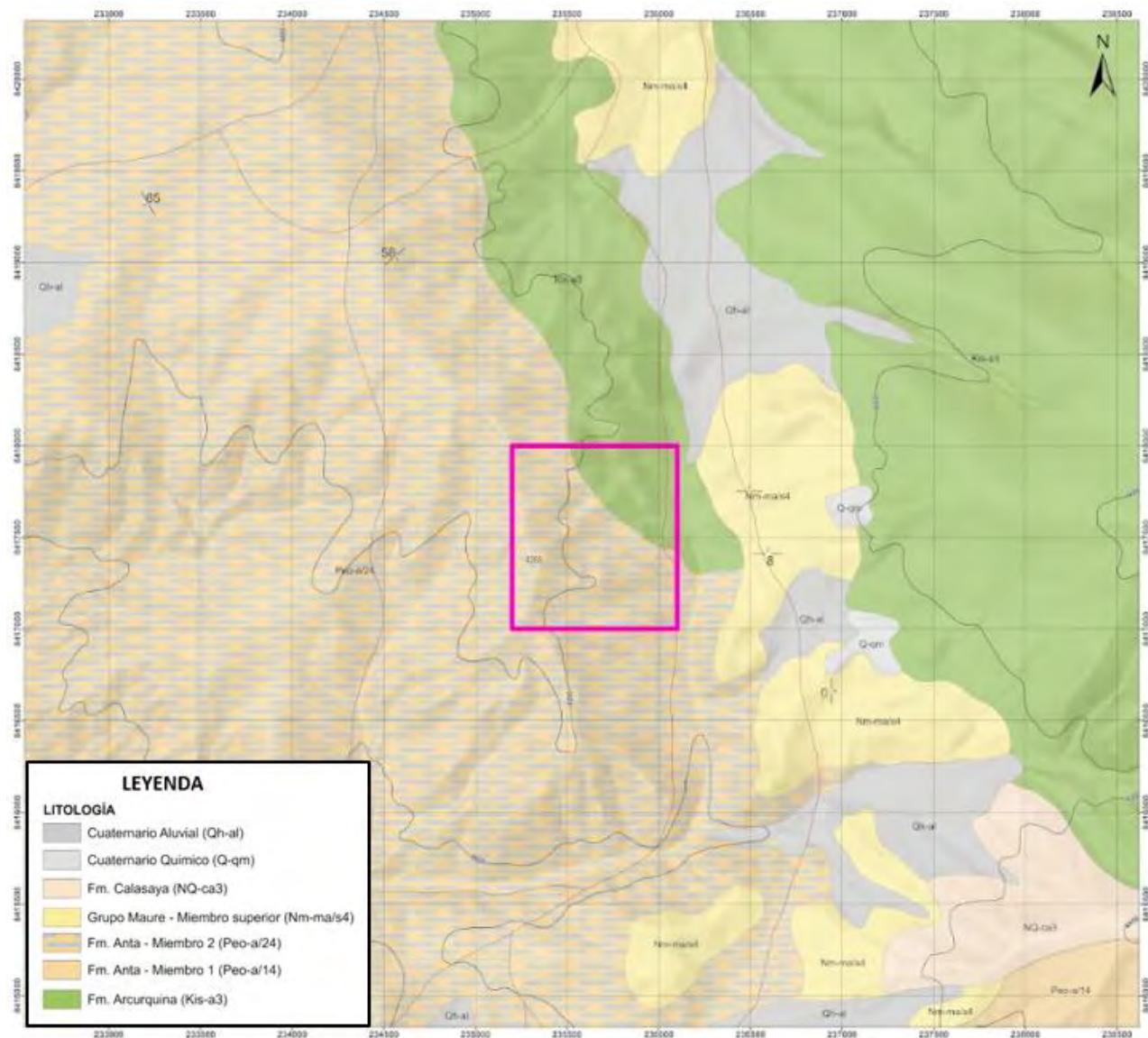
Figura 23: Columna estratigráfica de la Formación Ayavacas, levantada en koricancha.



Litología	Estructuras Sedimentarias	Fauna	Facies	Medio
Calizas	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Figuras de emersión ○ Oolitos — Laminación algar ⊓ Bioturbación ↖ Falla normal sin sedimentaria *** Brechas 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Bioclastos ✳ Equinoideos ✳ Foraminíferos 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Margas 2. Mudstone 3. Wackestone 4. Grainstone 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Infratidal 2. Intertidal 3. Emergido
Margas				

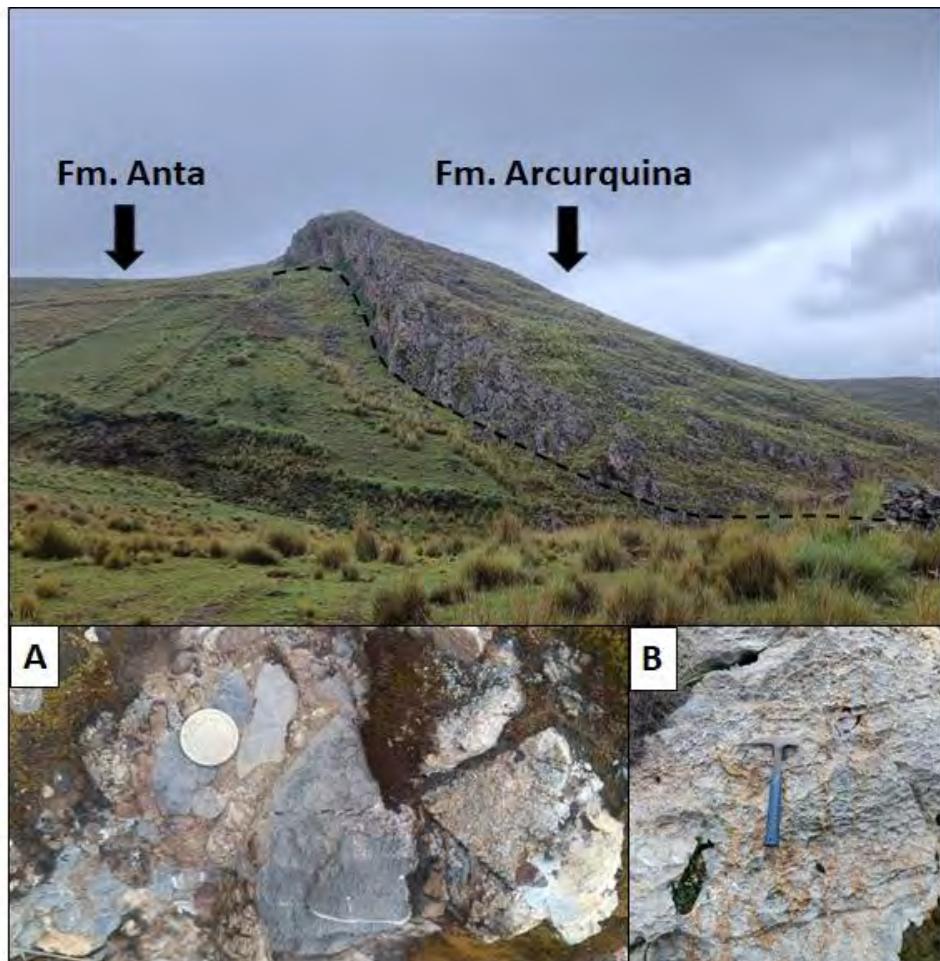
Nota: Adaptado de *Cuadrángulo de Urubamba, Carlotto (1992)*.

Figura 24: Mapa geológico regional.



Nota: Mapa geológico regional donde se observa formaciones geológicas con datos obtenidos del INGEMMET (Ver anexo 06).

Figura 25: Contacto entre las formaciones Arcurquina y Anta, mostrando en A los conglomerados y en B las calizas (Fotografía con vista al norte).



4.5.2 Geología Estructural Regional

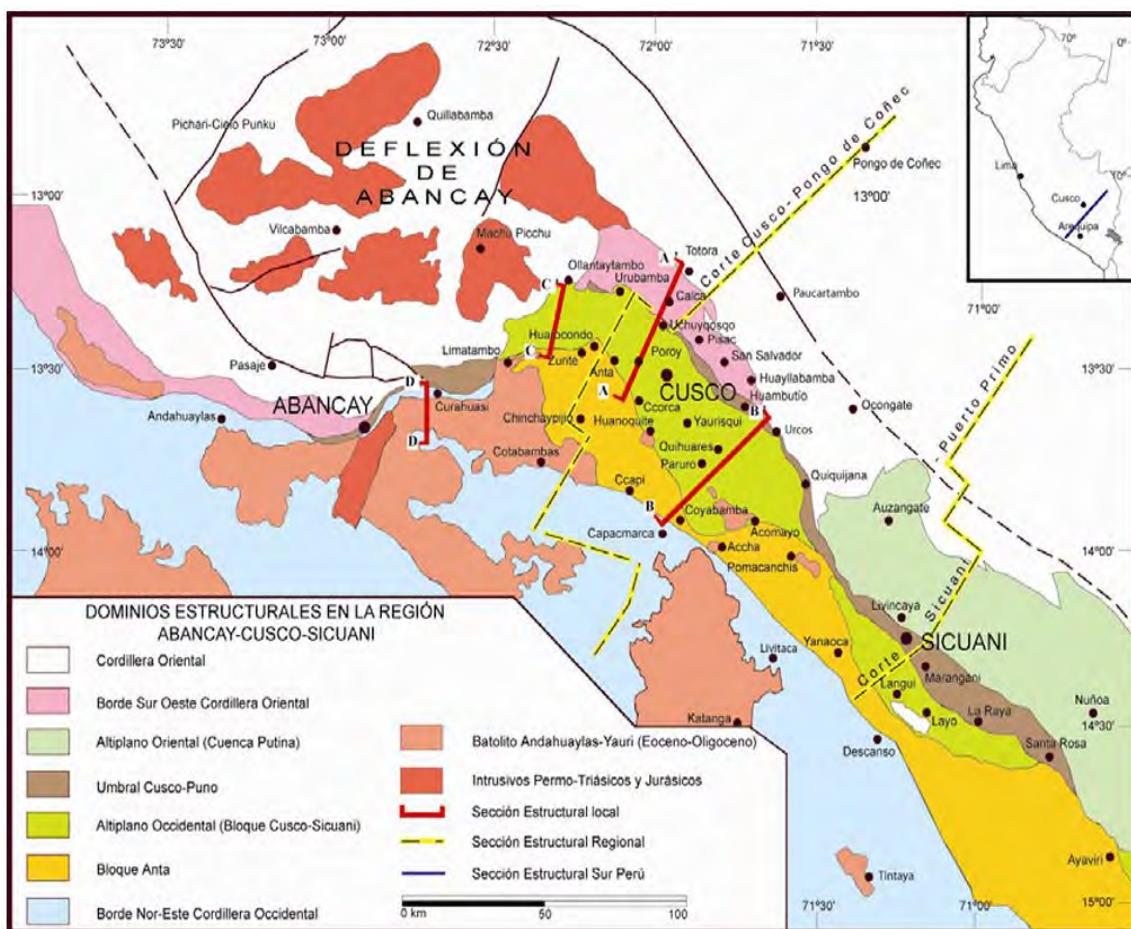
Según Carlotto (2006) el Bloque Anta se encuentra separado del Bloque Cusco-Puno por medio de la falla Huanoquite-Accha o del cabalgamiento Limatambo-Zurite. Esta región dominada por conglomerados y rocas volcánicas pertenecientes a la Formación Anta, que se disponen en discordancia angular sobre unidades más antiguas, como la Formación Arcurquina de la cuenca mesozoica occidental, las formaciones Quilque y Chilca, así como también sobre intrusivos del batolito Andahuaylas - Yauri.

Las estructuras superficiales predominantes en la zona son pliegues amplios, del tipo anticinal y sinclinal, que presentan grandes radios de curvatura. La mayor intensidad de deformación se observa hacia el sector sur, donde estas estructuras se interpretan como pliegues generados por propagación de fallas y plegamientos de amortiguamiento, vinculados a un nivel de despegue situado en el Paleozoico inferior. La deformación y discordancia angular que afectan a la Formación Anta están asociadas a una fase tectónica compresiva ocurrida durante el Eoceno superior y el Oligoceno inferior, Carlotto (2006).

Sección B-B'

En esta sección estructural, la Formación Anta aparece intensamente plegada en anticlinales y sinclinales de gran curvatura. En su extremo sur, la unidad se halla cubierta en discordancia angular por una sucesión de conglomerados no datados, que muestran una débil deformación. Estos conglomerados ocultan las relaciones estructurales entre el Bloque Anta y la Cordillera Occidental, la presencia de discordancias angulares en la base de la Formación Anta sugiere que parte de la deformación no es visible directamente.

Figura 26: Dominios estructurales en la región de Cusco, Abancay y Sicuani.



Nota: Adaptado de *Geología del cuadrángulo de Cusco*, hoja 28 S por Carlotto Caillaux, V. S., Cárdenas Roque, J. D., & Carlier, G. (2011).

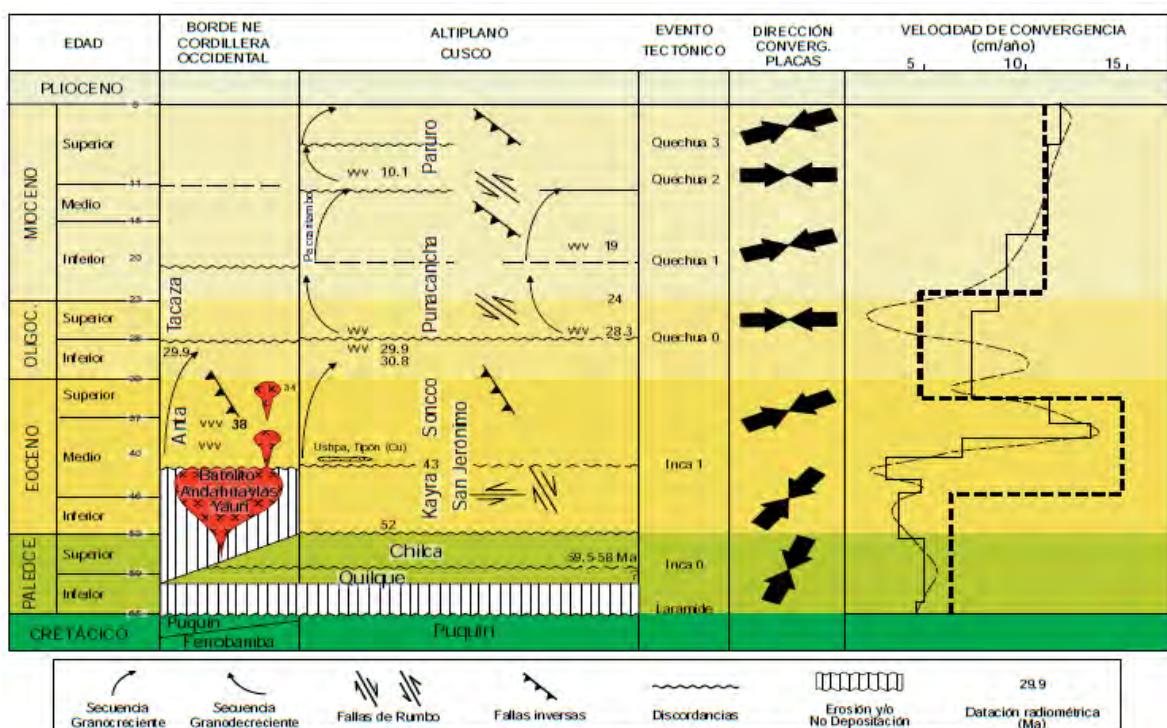
FASE INCA 43-30Ma Compresivo

Durante el intervalo comprendido entre el Eoceno medio y el Oligoceno inferior (43–30 Ma), se desarrolló la principal fase tectónica conocida como Fase Inca (ver Figura 27). La depresión Anta se define como una cuenca tipo *piggy-back*, generada sobre la estructura activa del sistema Cusco–Lagunillas–Mañazo, encontrada al sur del límite entre la Cordillera Occidental y el Altiplano. Hacia el norte, sobre el antiguo alto Cusco–Puno, se acumulaban las areniscas correspondientes a la Formación Soncco. Estas unidades fueron afectadas por una tectónica sinsedimentaria que habría comenzado alrededor de los 43 Ma, marcando la evolución del

margen noroeste de la gran cuenca de ante-país andina. Este proceso deformó tanto la fosa Soncco como la de Anta.

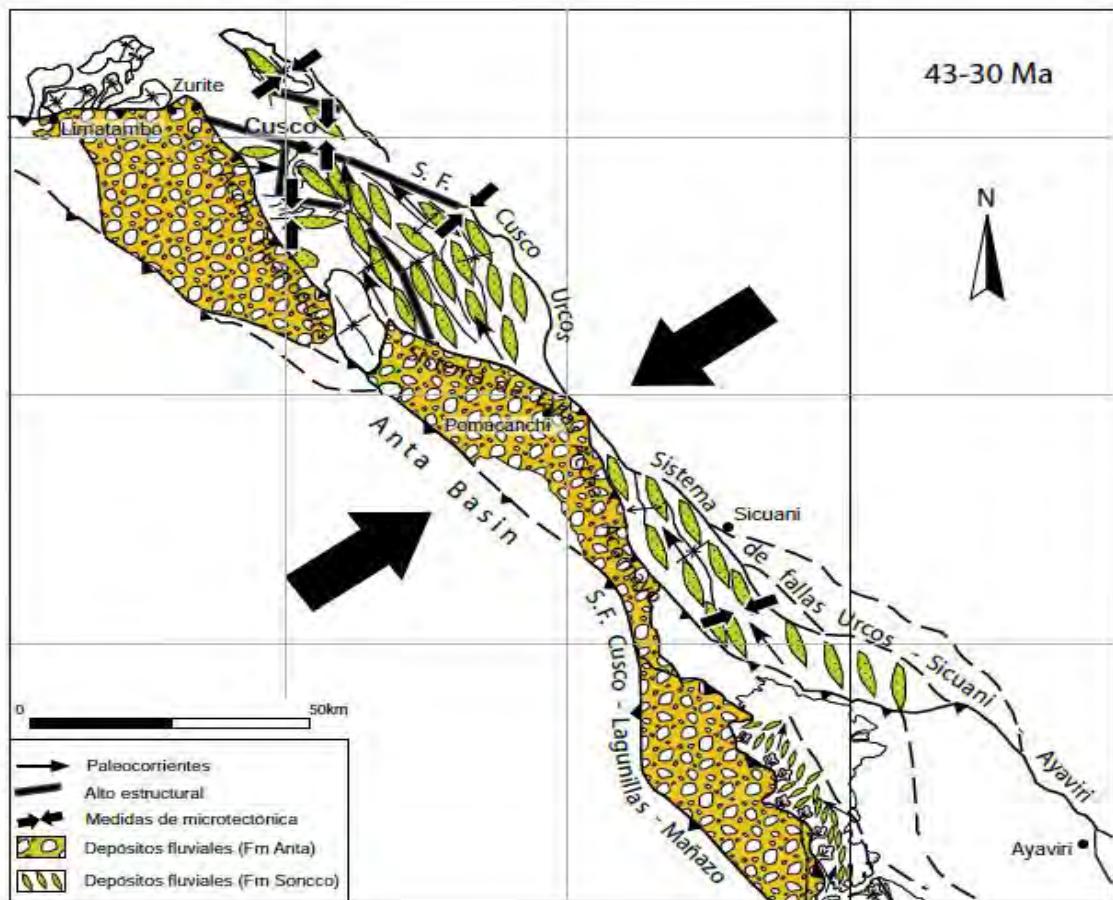
Evidencias de esta fase compresiva incluyen cabalgamientos que expusieron cuerpos de gabro del macizo de Acomayo - Colcha, acumulaciones sedimentarias gruesas y discordancias progresivas entre las formaciones Kayra y Soncco. El mayor pico de actividad volcánica asociada a este episodio tectónico se registra en los niveles intermedios de las formaciones Anta y Soncco, con edades que oscilan entre los 38 - 37 Ma. Hacia el techo de la secuencia sedimentaria, se observa una disminución en la intensidad tectónica, acompañada por la aparición de un vulcanismo de carácter alcalino, datado entre 30 - 29 Ma.

Figura 27: Cuadro de correlación de edades de las unidades estratigráficas del borde noreste de la Cordillera Occidental y del Altiplano en el cuadrángulo de Cusco, y su vinculación con la cinemática de las placas de Nazca y Sudamérica.



Nota: Adaptado de *Geología del cuadrángulo de Cusco*, hoja 28 S por Carlotto Caillaux, V. S., Cárdenas Roque, J. D., & Carlier, G. (2011).

Figura 28: Representación paleogeográficos del Eoceno inferior (52-43 Ma) que corresponde a la cuenca Kayra y del Eoceno superior-Oligoceno inferior (43-30 Ma) para la cuenca Soncco.



Nota: Adaptado de *Geología del cuadrángulo de Cusco*, hoja 28 S por Carlotto Caillaux, V. S., Cárdenas Roque, J. D., & Carlier, G. (2011).

4.6 Geología Local

En base al mapeo geológico a una escala de 1:2500 se pudieron definir con mayor precisión los tipos de litologías existentes de la Formación Anta y Formación Arcurquina.

4.6.1 Estratigrafía Local

4.6.1.1 FORMACIÓN ANTA: Afloramiento con una orientación NW - SE, dominada por rocas conglomerados polimícticos con clastos redondeados a subangulosos, con intercalación de pequeños niveles de arenisca cuarzosas y rocas volcánicas.

4.6.1.1.1 Litología

- **Areniscas cuarzosas:**

Secuencia sedimentaria en forma de lentes de areniscas cuarzosas de color gris claro, presentan una textura granular constituida por granos de Sílice (Si) con diámetro de 1mm-2mm, estas tienen una potencia máxima de 0.5m con una orientación NNE - SSW. Presenta minerales de FeOx como trazas (0.5% visual) en parches y fracturas a lo largo de todo el afloramiento.

Figura 29: Afloramiento de las areniscas cuarzosas



- **Conglomerados poliméticos (dos o más tipos de roca dominando la composición):**

Constituidas por conglomerados poliméticos con clastos de andesita, caliza y areniscas con clastos redondeados a sub redondeados, estos clastos presentan un diámetro > 1cm y una matriz fina con granos entre 1mm-2mm.

En la zona proximal a las estructuras de mineralización presentan minerales de alteración como caolinita-illita moderado en venillas y en reemplazamiento, hematita débil en venillas y reemplazamiento y óxidos de manganeso en fracturas.

Figura 30: Afloramiento de rocas conglomerados



- **Andesitas:**

Presenta un nivel volcánico en la zona SE del sector Minas Punku, de color marrón grisáceo, las andesitas son de textura porfirítica con plagioclasas de 3mm-4mm.

Presentan minerales de alteración en trazas (0.5% visual) de clorita y epidota, estas se encuentran reemplazando parcialmente a los Ferro magnesianos.

Figura 31: Afloramiento de rocas volcánicas (Andesita)



- **Brecha andesítica:**

Constituidas por clasto y matriz volcánico, presentan clastos angulosos a sub angulosos de andesita, estos clastos presentan un diámetro > 5mm que fueron arrancados y posteriormente fueron arrastrados por el flujo volcánico de tal forma que estos clastos quedan atrapados en una masa lávica.

Figura 32: Afloramiento de brecha andesítica



4.6.1.2 FORMACIÓN ARCURQUINA: Dominado por calizas de color gris claro y textura de grano muy fino con venillas > a 0.5 mm rellenas de calcita.

- **Caliza**

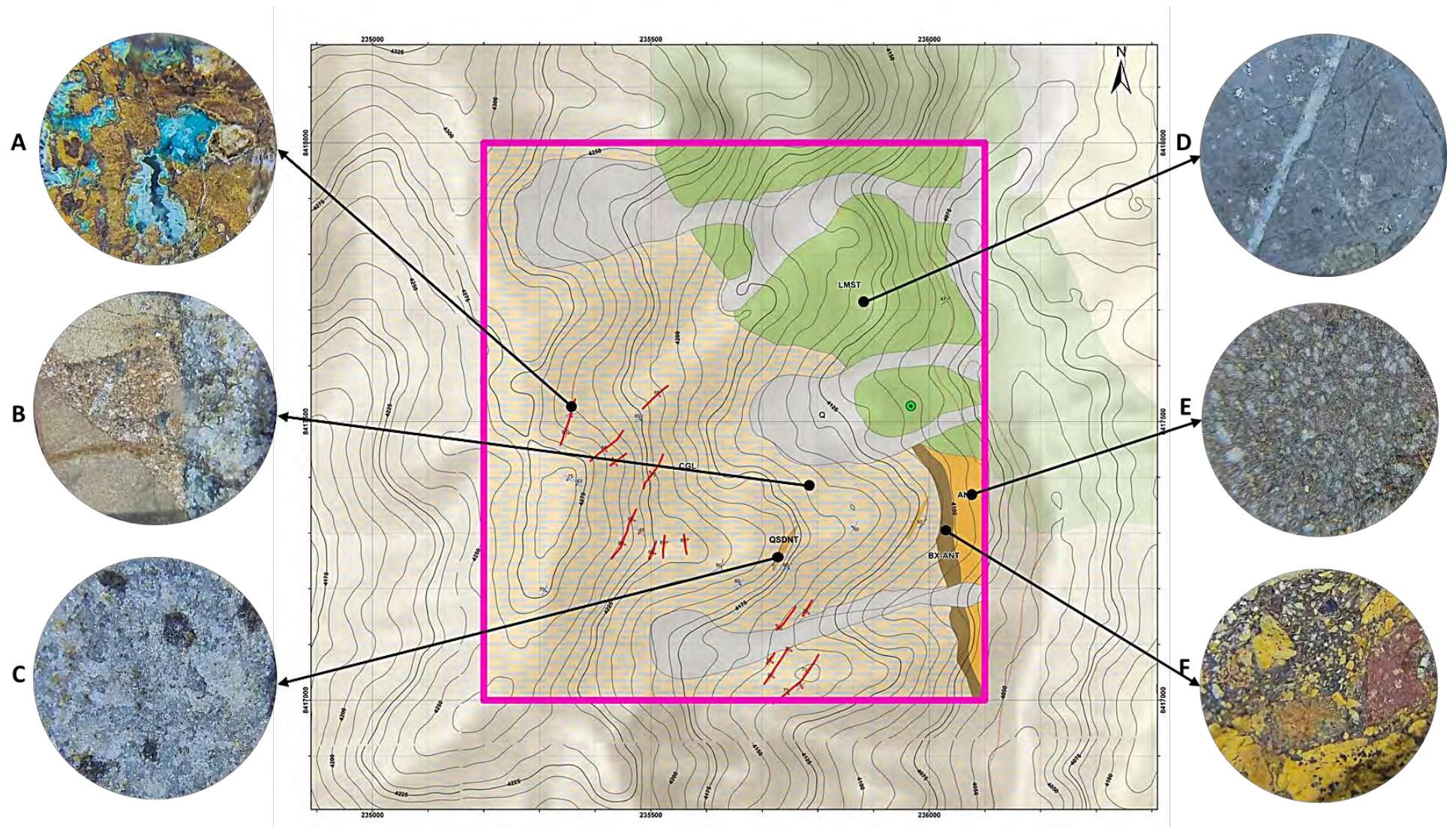
Conformada por paquetes sedimentarios calcáreos, dominadas por calizas de color gris claro con textura de grano muy fino. De acuerdo a la clasificación de Duham (1962) la roca es Wackstone (constituida por peloides, bioclastos y en menor proporción oolitos), inmersos en un agregado masivo criptocristalino de micrito. Asimismo, presenta venillas de calcita y en algunos casos FeOx como relleno en las fracturas.

Figura 33: Afloramiento de rocas calizas



En resumen, el área de estudio está dominado por 5 litologías que afloran en toda el área, las rocas conglomerádicas (B), areniscas cuarzosas (C), brecha andesítica (F), andesita (E) de la Formación Anta y calizas (D) de la Formación Arcurquina. Siendo las rocas conglomerádicas las más favorables donde se precipita el mineral de Cu en óxidos a lo largo de un set de estructuras mineralizados por Cu en óxidos con dirección NE-SW (A).

Figura 34: Unidades litológicas del sector Minas Punku.

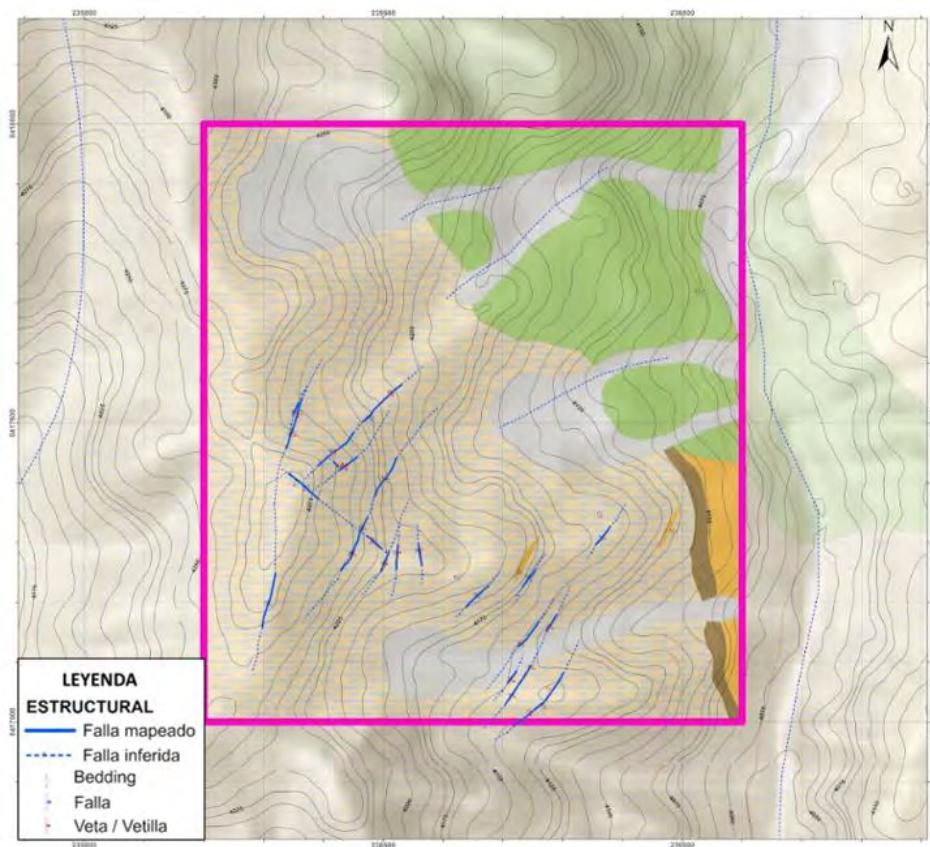


4.6.1 Geología Estructural Local

En el presente estudio se identificó dos sistemas de fallas, la principal normal dextral con dirección NE - SW debidas a la tectónica compresiva del Eoceno superior-Oligoceno inferior (Carlotto, 2006), produciendo zonas de aperturas que posteriormente fueron rellenadas por fluidos hidrotermales donde se precipitó el cobre (Cu) acompañados de otros elementos como el Pb y Zn.

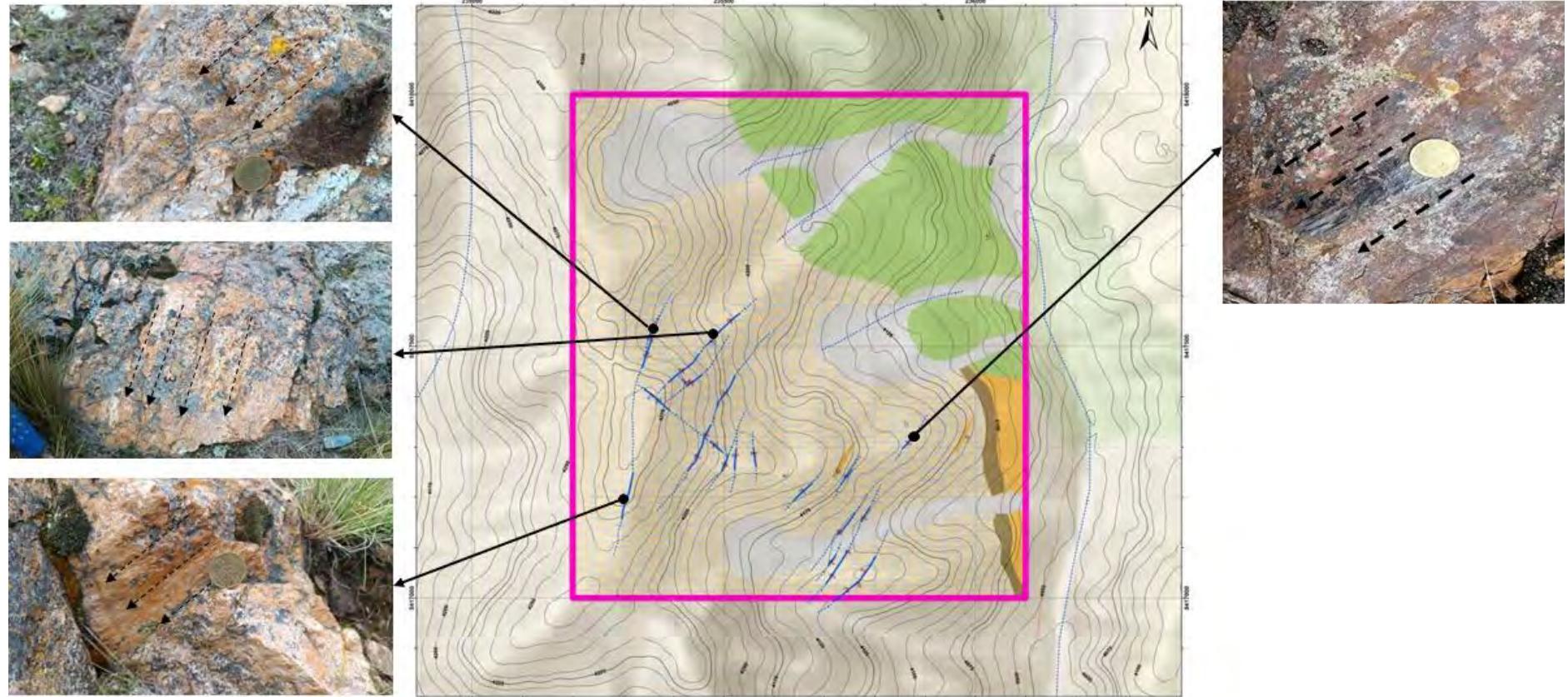
Las fallas secundarias son perpendiculares a las principales con dirección NW - SE, producidas por los esfuerzos tensionales a la principal.

Figura 35: Mapa estructural local.



En general las fallas están llenadas por GOUGE, material molido de la roca caja con la presencia de especularita en los espejos de falla.

Figura 36: Espejos de falla



CAPÍTULO V: GEOLOGÍA ECONÓMICA

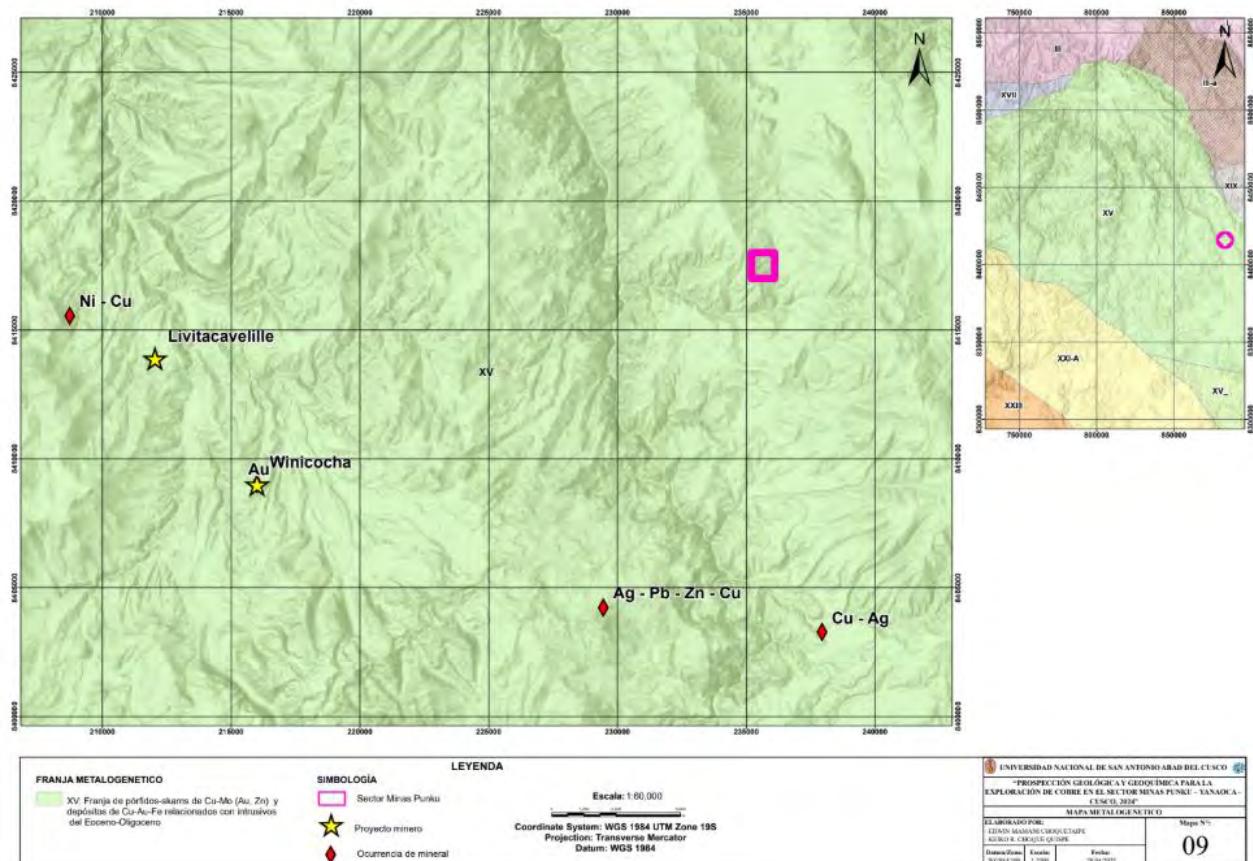
5.1 Metalogenia

Nuestra zona de investigación geográficamente está dentro de la franja metalogenética XV, caracterizada por la presencia de pórfidos-skarns de Cu-Mo, con contenidos menores de Au y Zn, así como por depósitos de Cu-Au-Fe asociados a intrusiones ígneas del Eoceno al Oligoceno. Esta franja se localiza entre la Cordillera Occidental y el Altiplano, que abarca 3949.2 km del área, correspondiente al 5.4% del área continental. En este dominio destacan importantes minas y proyectos como Tintaya, Kananga, Las Bambas, Cotabambas, Morosayhuas, Antapacay, Haquira, Los Chancas, Antillas, Trapiche, entre otros. Las edades de mineralización reportadas en esta región oscilan entre los 42 y 30 millones de años. Es importante mencionar que en el dominio del sistema de fallas Urcos-Sicuani-Ayaviri, se tienen cuencas continentales sin-orogénicas (Carlotto et al., 2005) con mineralización de Cu tipo “Red Bed” alojada en capas rojas del Eoceno-Oligoceno del Grupo San Jerónimo y relacionada con el Batolito Andahuaylas-Yauri (Loza, 2004).

La mineralización tipo Cu-Mo (con presencia de Au) está asociada a intrusivos de composición intermedia a félsica. En los contactos de estas intrusiones con secuencias carbonatadas de la formación geológica Arcurquina, se desarrollan cuerpos de skarn con mineralización de Cu-Zn. Por otro lado, intrusivos de naturaleza más básica están vinculados a depósitos de Fe-Cu-Au, además de vetas auríferas y cupríferas asociadas a los intrusivos.

En el sector Minas Punku presenta una mineralización polimetálica (Cu-Zn-Pb-Fe) asociado a vetas con alteración argílica dominado por minerales de alteración de óxidos de hierro (caolinita, illita, hematita, especlarita, goethita, jarosita) emplazados en los conglomerados de la formación Anta (Eoceno-Oligoceno).

Figura 37: Mapa metalogenético del Sector Minas Punku.



5.2 Alteración y mineralización

5.2.1 Alteración

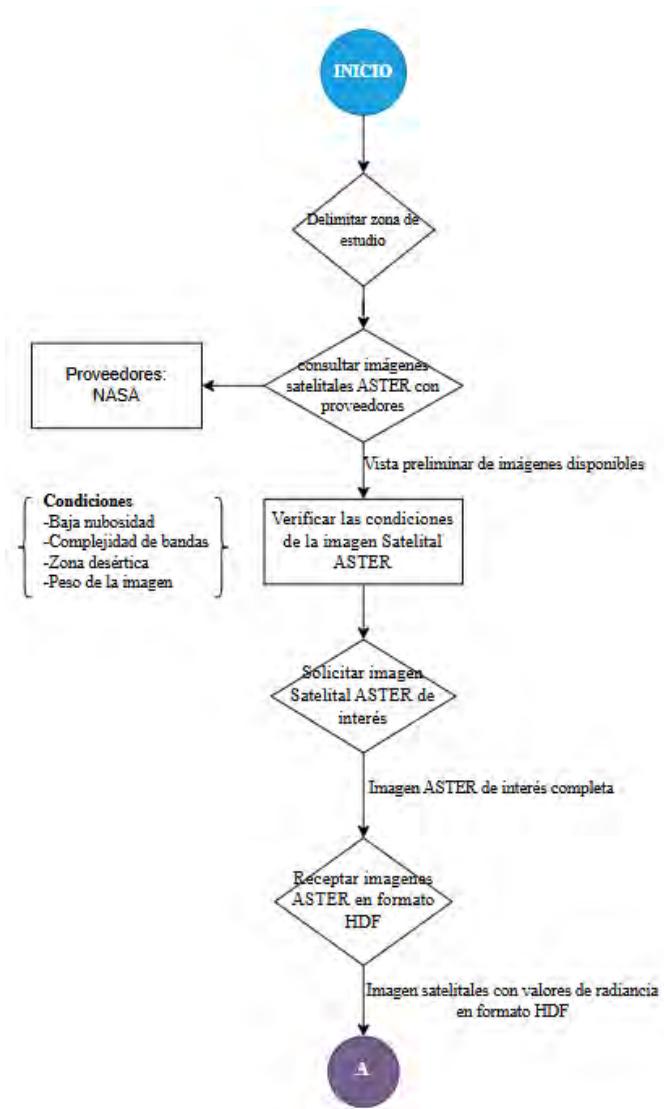
5.2.1.1 Tipo de mineral – Áster

Procesamiento de Imágenes ASTER

- a) **Obtención de imagen ASTER:** Este proceso se realiza mediante el diagrama de procesos de la figura 38 con la ubicación de las coordenadas del área de estudio, la imagen se obtiene de diferentes páginas web, una de las más confiables es el

sitio oficial de la NASA (National Aeronautics and Space Administration), ya obtenida la imagen es descarga en formato HDF

Figura 38: Diagrama de proceso de adquisición de Imagen Satelital ASTER



Nota: (ej. Adaptado de Gerson, 2024).

b) Técnicas utilizadas para la imagen Satelital ASTER:

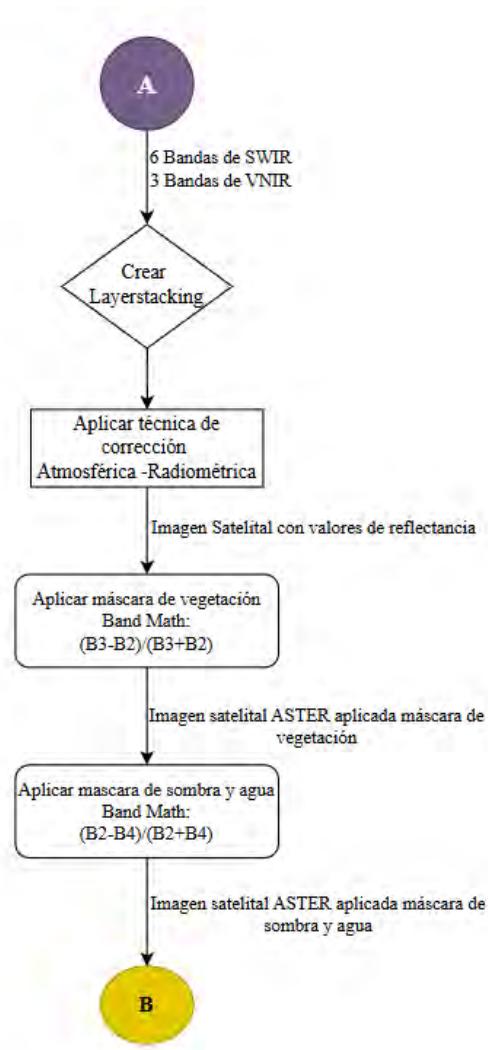
Este proceso se realiza mediante el diagrama de proceso de la figura 39. Este procedimiento incluyó el uso de tres técnicas principales, orientadas a optimizar la

imagen para una interpretación más precisa a través de combinaciones espetrales (bandas)

Las técnicas utilizadas fueron:

- Crear layerstacking
- Corrección Atmosférica – Radiométrica
- Aplicación de mascaras

Figura 39: Diagrama de procesos de las técnicas para preparar la imagen satelital para la combinación de bandas

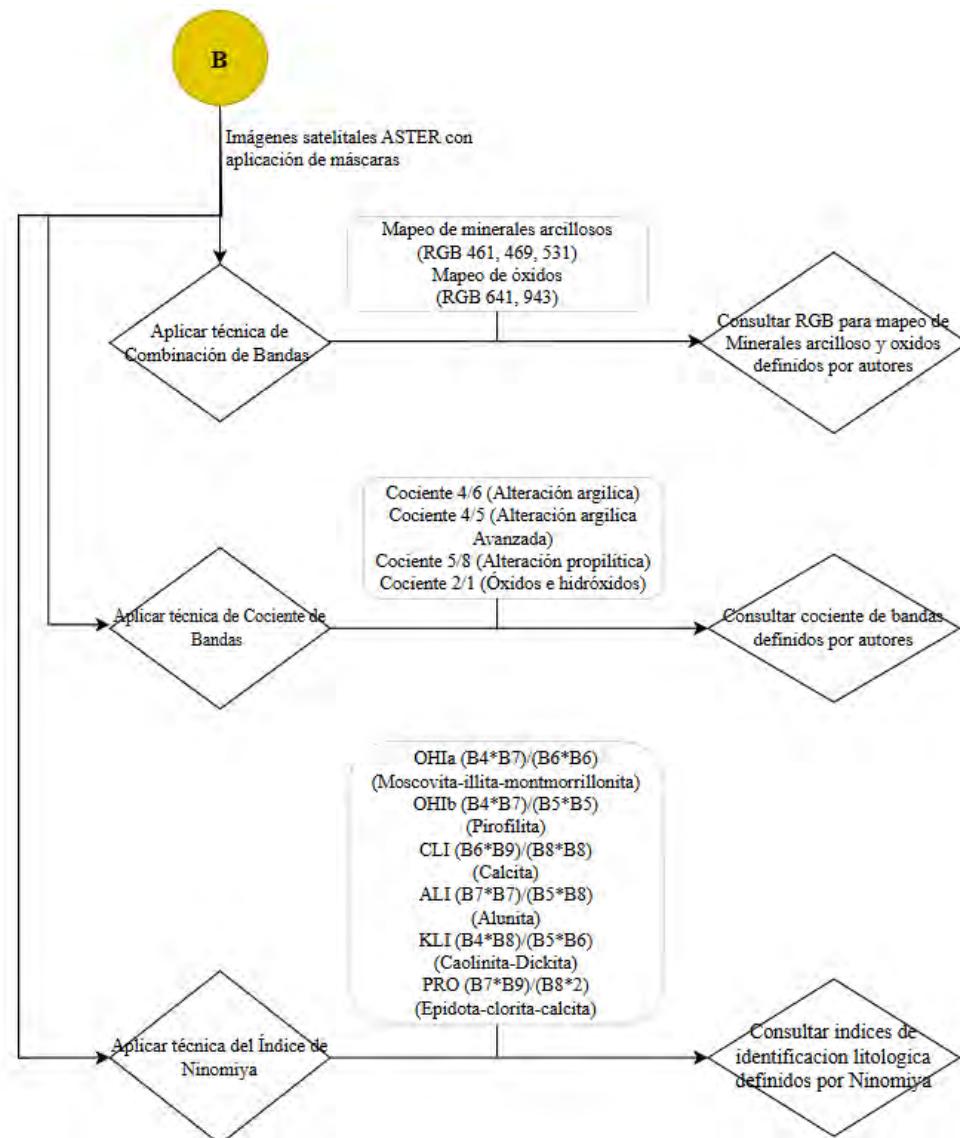


Nota: (ej. Adaptado de Gerson, 2024).

c) **Aplicación de técnicas espectrales:** Este proceso se realiza mediante el flujo gráfico de la figura 40, en el cual se aplica 3 técnicas espectrales

- Combinación de bandas
- Coeficiente de Bandas
- Índice de Ninomiya

Figura 40: Diagrama de proceso de técnicas espectrales



Nota: (ej. Adaptado de Gerson, 2024).

Se usaron las imágenes satelitales para poder identificar los principales minerales de alteración que existen en el área de estudio.

Se identificó 5 ensambles mineralógicos de alteración:

Ensamble 1: Alunita

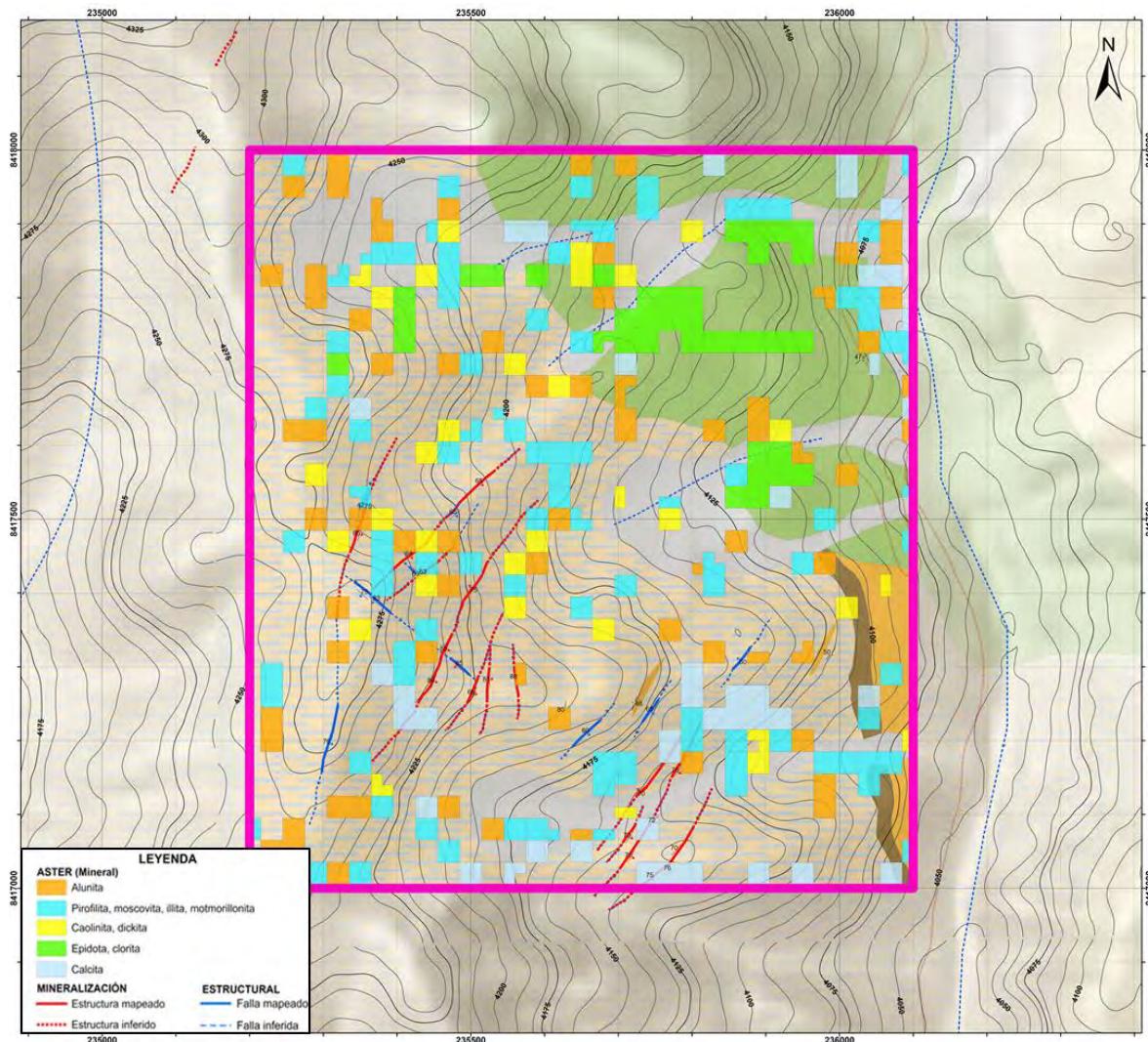
Ensamble 2: Pirofilita + moscovita + illita + motmorillonita

Ensamble 3: Caolinita + dickita

Ensamble 4: Epidota + clorita

Ensamble 5: Calcita

Figura 41: Mapa con resultados ASTER del Sector Minas Punku.



En base a los resultados del ASTER, los minerales de alteración que presenta son de alta temperatura y de origen hidrotermal en donde se pudo verificar en campo la presencia de minerales de caolinita, illita, jarosita, hematita, goethita; característicos de una alteración argílica.

Las estructuras mineralizadas presentan un halo de alteración argílica dominado por arcillas de FeOx y en la parte distal presenta una alteración de clorita y calcita (baja temperatura).

5.2.1.2 Tipo de mineral – Terraspec

De acuerdo al mapeo y muestreo geológico se seleccionó 4 muestras (2 muestras de estructuras mineralizadas y 2 muestras de la roca caja) como se observa en la **Figura 42**.

1. T_003 y T_004: corresponden a los puntos de las estructuras 4 y 1 en donde predomina la nacrita con una intensidad fuerte y caolinita con una intensidad moderado, acompañado de goethita y hematita.
2. T_001: Corresponden a una muestra de andesita (Punto 5) en donde predomina la epidota con una intensidad fuerte y nontrita con una intensidad moderado.
3. T_002: Corresponden a una muestra de conglomerado (punto 16) en donde predomina la caolinita con una intensidad muy fuerte y muscovita débil, acompañado de goethita.

Figura 42: Mapa de muestreo para análisis de TERRASPEC del Sector Minas Punku.

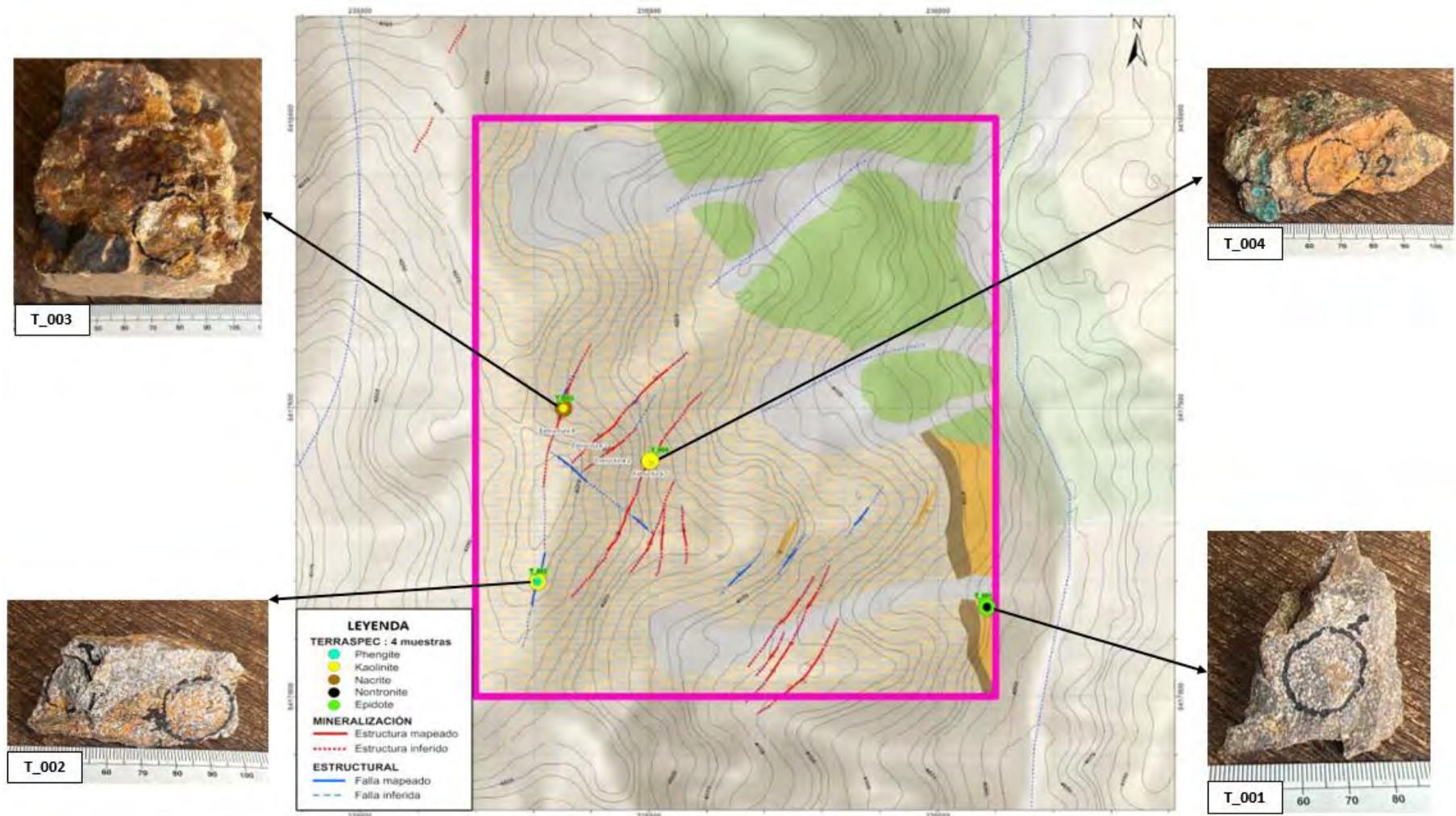
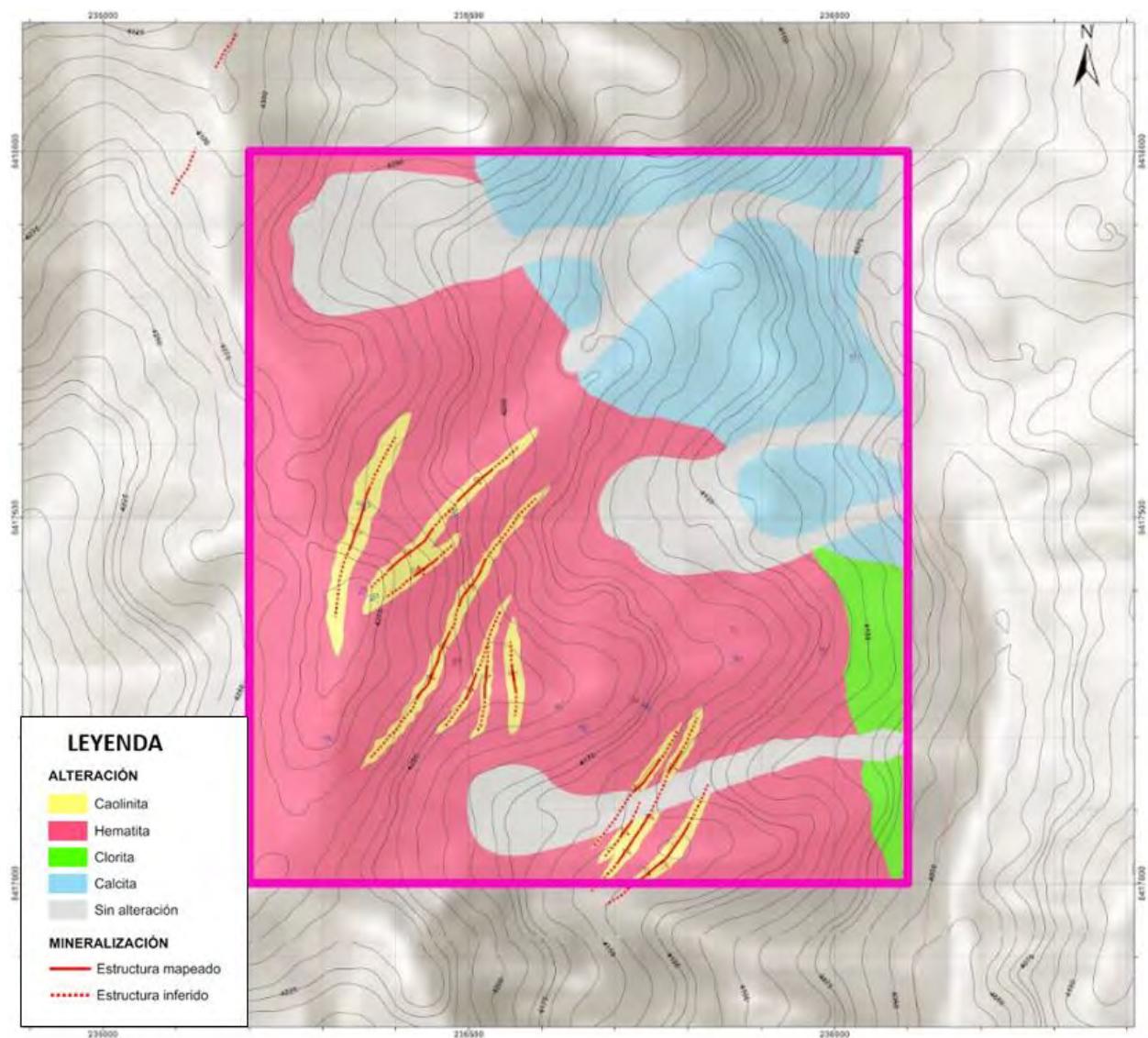


Figura 43: Mapa de alteración del Sector Minas Punku.



De acuerdo a los resultados del Aster, Terraspec y el mapeo geológico se puede definir 3 alteraciones hidrotermales en rocas de la formación Anta: la primera se presenta en las estructuras mineralizadas dominadas por minerales de caolinita, nacrita - cuarzo débil acompañados de hematita y goetita, la segunda alteración se presenta en las rocas conglomerádicas dominado minerales de hematita y goetita, la tercera alteración se presenta en las andesitas dominado por minerales de epidota y clorita y la última alteración en las rocas calizas de la Formación Arcurquina está dominada por venillas calcita y FeOx en fracturas.

5.2.2 Mineralización:

Presenta minerales de óxidos de Cu como crisocola, azurita, malaquita en fracturas y venillas a lo largo de las principales estructuras de mineralización con dirección NE – SW con potencias variables entre 0.3m – 2.00m, asimismo se identificó la presencia puntual de venillas de galena (Estructura 4).

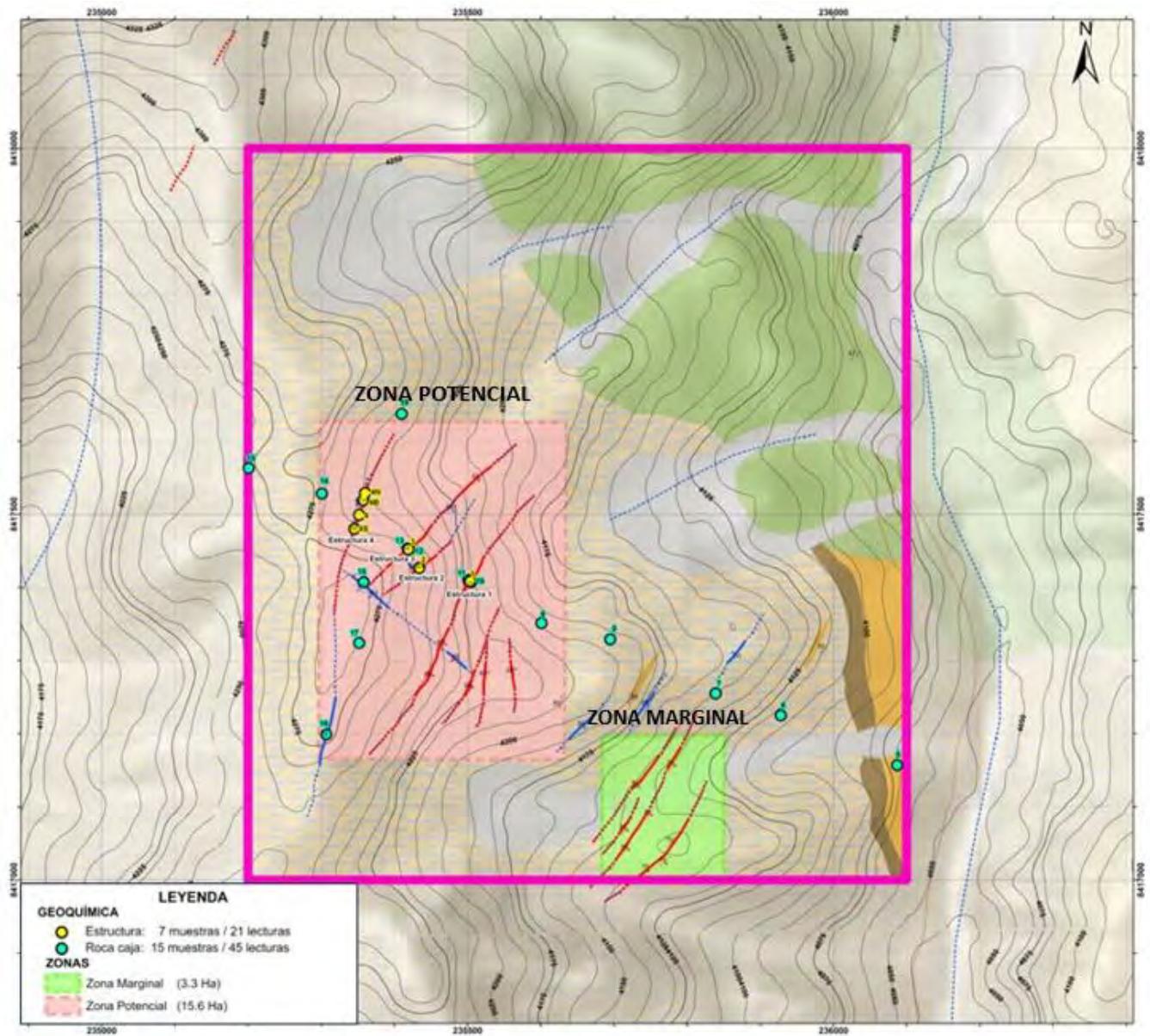
5.2.2.1 Zonas de Cobre (Cu)

Según el mapeo geológico se pudo identificar dos zonas de interés con un posible potencial de Cu en Óxidos:

Zona potencial: Está constituido por un set de estructuras con dirección NE - SW con potencias variables entre 0.5m – 2.00m aproximadamente con mineralización de Cu en óxidos, reflejados en Crisocola, malaquita, azurita con una intensidad de **moderado a fuerte** en fracturas y venillas.

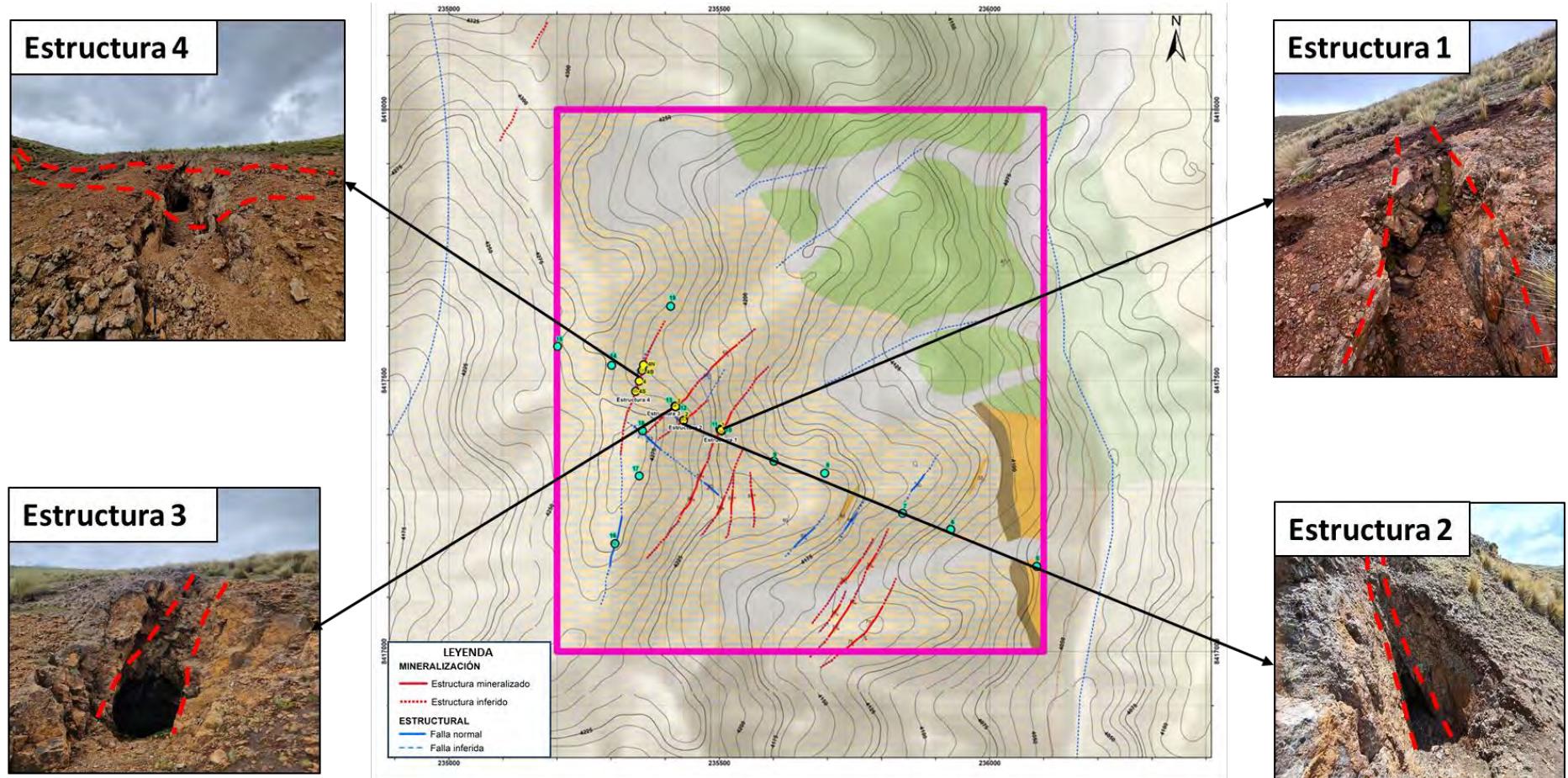
Zona marginal: Está constituido por un set de estructuras con dirección NE-SW con potencias menores a 0.30m aproximadamente con mineralización de Cu en óxidos, reflejados en Crisocola y malaquita principalmente, con una intensidad de **trazas** a débil en fracturas y venillas.

Figura 44: Mapa de zonas de Cu (Zona potencial, Zona marginal).



La zona potencial está constituida por las estructuras 1,2,3 y 4 (ver figura 44), siendo el corredor más importante de toda el área de estudio.

Figura 45: Mapa de mineralización del sector Minas Punku (Zona potencial).



En resumen, la zona potencial vendría a ser de primera prioridad que la zona marginal para el análisis geoquímico por:

- La intensidad Cu en óxidos es de moderado a fuerte en fracturas y venillas.
- Potencias considerables mayor a 0.5m.
- La extensión o longitud de las estructuras son mayores.
- Intensidad de alteración de moderado a fuerte.

La zona marginal vendría ser de segunda prioridad por:

- La intensidad Cu en óxidos es de trazas a débil en fracturas y venillas.
- Potencias menores a 0.5m.
- La extensión o longitud de las estructuras son menores.
- Intensidad de alteración débil.

CAPITULO VI: GEOQUIMICA Y ANALISIS GEOQUÍMICO

6.1 Geoquímica De Rocas

6.1.1 Muestreo Geoquímico

En el presente estudio se realizó un muestreo de estructuras mineralizadas de la Zona potencial (primera prioridad), así como también un muestreo sistemático longitudinal y transversal, representados de la siguiente manera de acuerdo a los estudios de XRF.

Figura 46: Mapa de Muestreo geoquímico del Sector Minas Punku

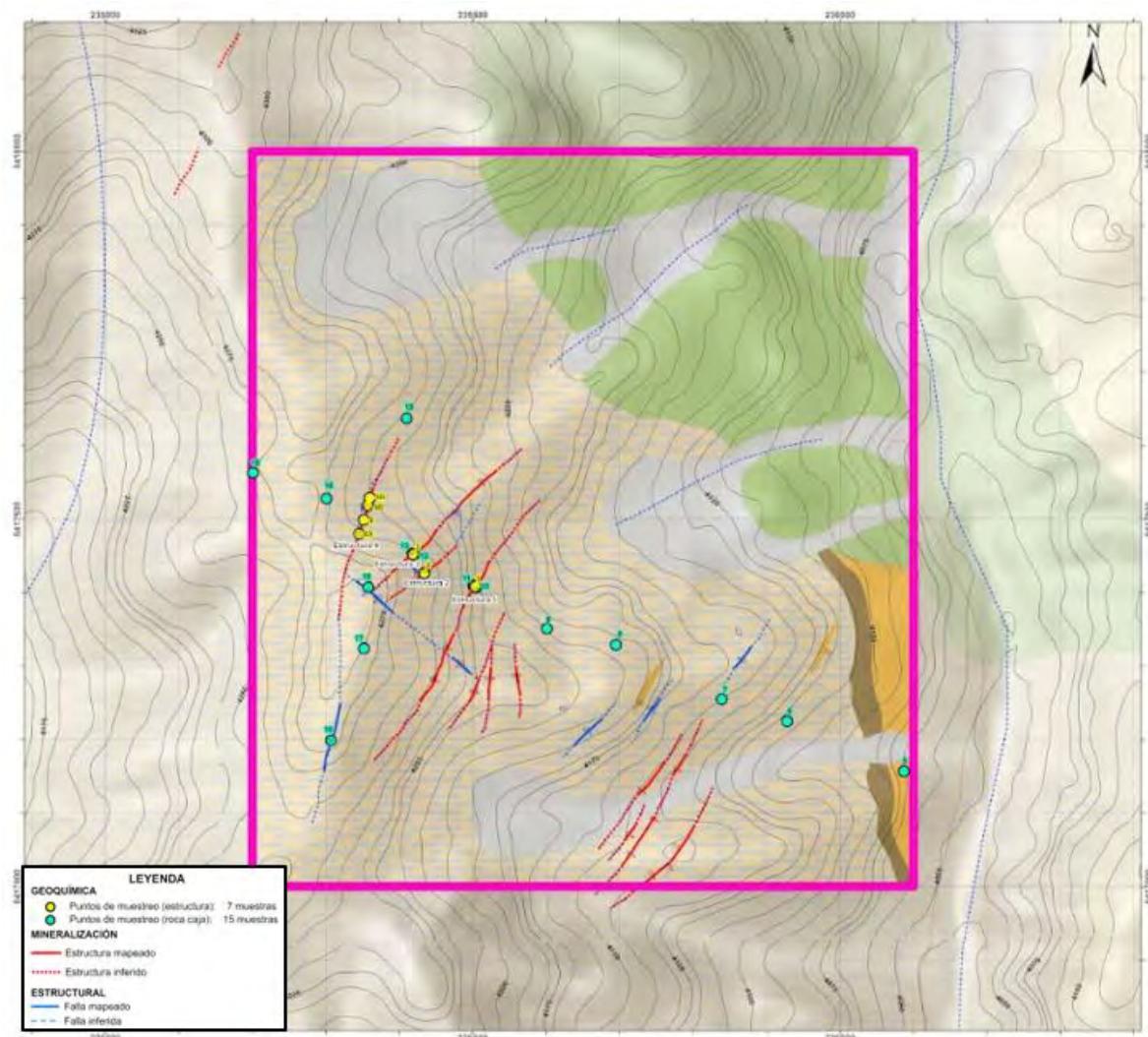


Tabla 4: Muestreo Geoquímico de Estructuras Mineralizadas

CODIGO	TIPO
E1	Estructura 1
E2	Estructura 2
E3	Estructura 3
E4	Estructura 4B
E5	Estructura 4N
E6	Estructura 4
E7	Estructura 4S

Figura 47: Muestreo de estructuras por elementos

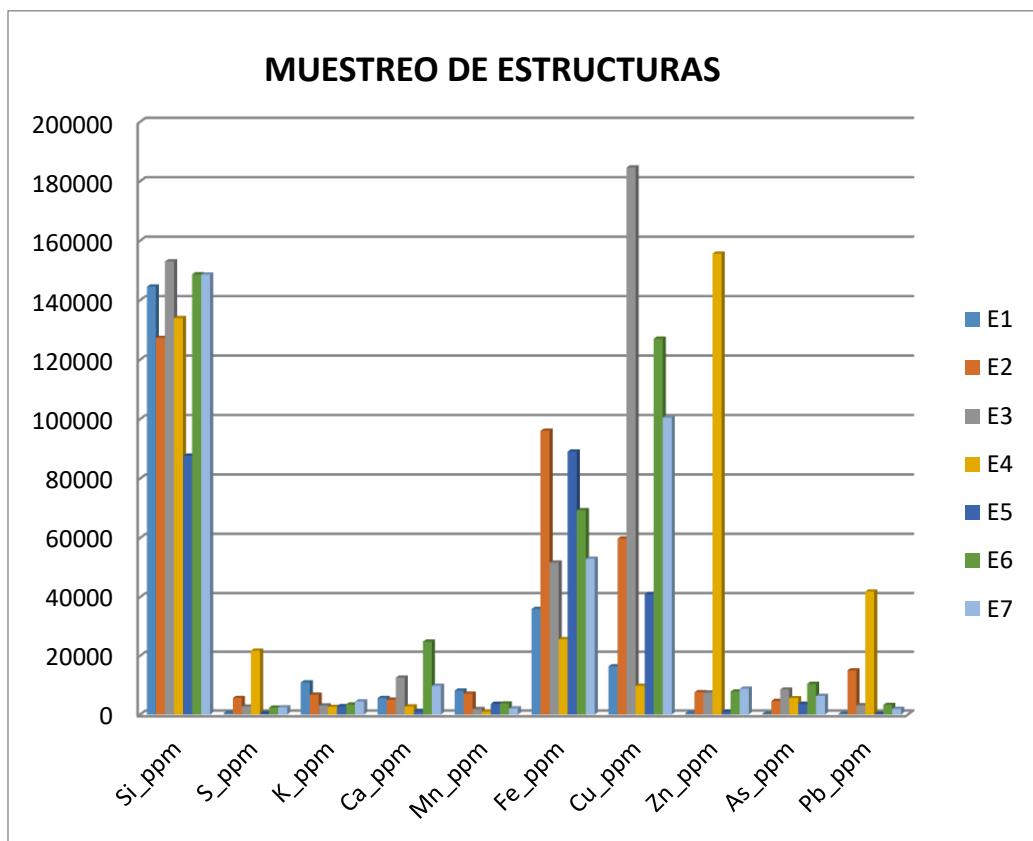
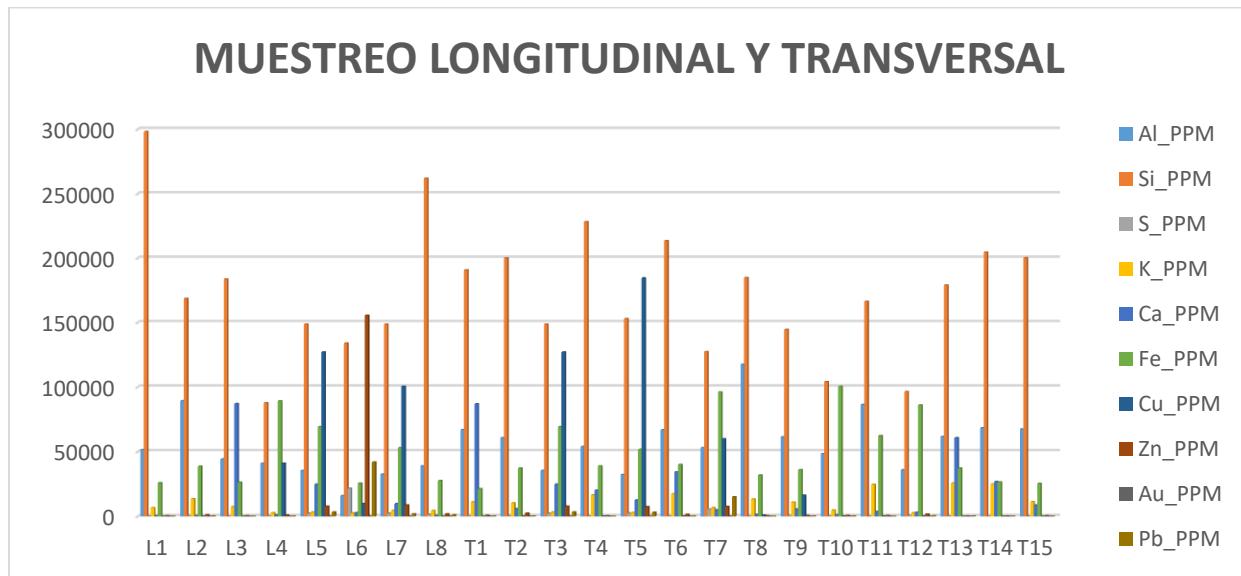


Tabla 5: Muestreo Longitudinal y transversal a las estructuras.

Código de Muestreo	Código Mapa	Tipo
L1	16	Longitudinal 1
L2	17	Longitudinal 2
L3	18	Longitudinal 3
L4	4S	Longitudinal 4
L5	4	Longitudinal 5
L6	4B	Longitudinal 6
L7	4N	Longitudinal 7
L8	19	Longitudinal 8
T1	15	Transversal 1
T2	14	Transversal 2
T3	4	Transversal 3
T4	13	Transversal 4
T5	3	Transversal 5
T6	12	Transversal 6
T7	2	Transversal 7
T8	11	Transversal 8
T9	1	Transversal 9
T10	10	Transversal 10
T11	9	Transversal 11
T12	8	Transversal 12
T13	7	Transversal 13
T14	6	Transversal 14
T15	5	Transversal 15

Figura 48: Muestreo Longitudinal y Transversal por elementos a las estructuras.



6.2 Análisis Geoquímico

El análisis geoquímico por XRF, muestra la cuantificación de elementos considerados relevantes (ppm) sobre muestras de roca. Las mediciones se efectuaron con un intervalo de 20 segundos por disparo, en total 3 disparos por muestra y los datos correspondientes a los elementos más representativos de las muestras de roca se presentan en forma de tablas y gráficos.

6.2.1 Geoquímica De Estructuras No Mineralizadas (Roca caja):

Presenta 45 resultados de muestras de roca caja con los siguientes resultados:

Tabla 6: Resultado del Análisis Químico Elemental por Litología

PORCENTAJE DE CONCENTRACION DE LA ANDESITA			MUESTRA
ELEMENTO	SIMBOLO	PPM	
Cobre	Cu	26.33	
Zinc	Zn	344.67	
Plomo	Pb	31.67	
Oro	Au	1.33	
Molibdeno	Mo	2.33	
Azufre	S	0.00	
Potasio	K	11,245.33	
Hierro	Fe	25,385.33	
Silicio	Si	200,206.67	
Aluminio	Al	67,379.33	
Manganoso	Mn	751.00	
Arsénico	As	9.33	
Calcio	Ca	8,680.67	

Figura 49: Promedio de elementos Químicos de la Andesita

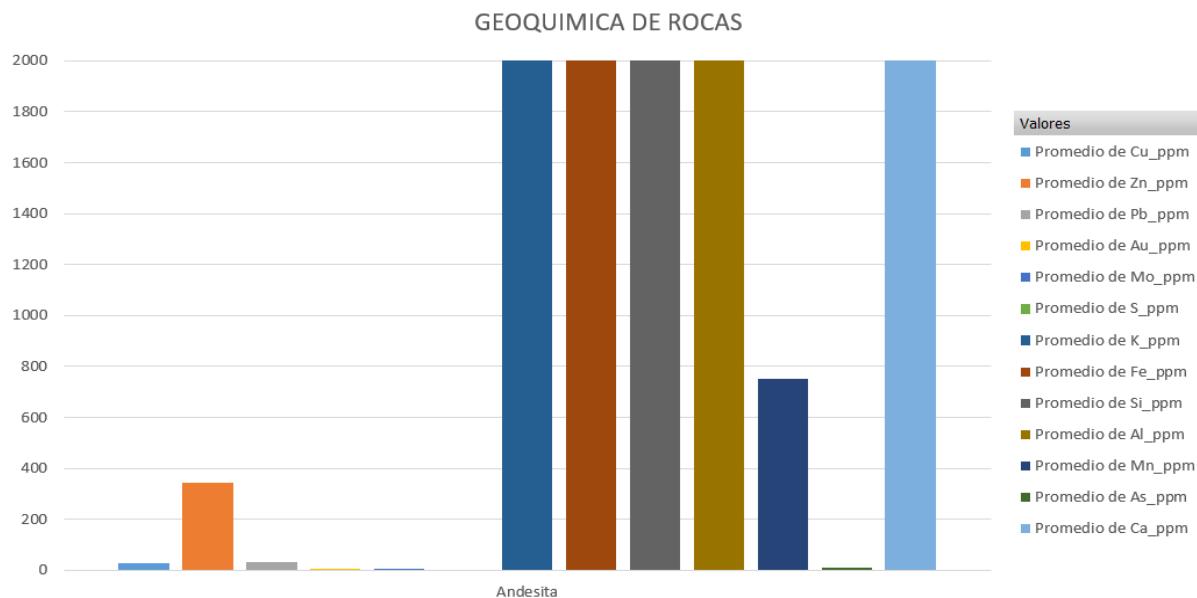
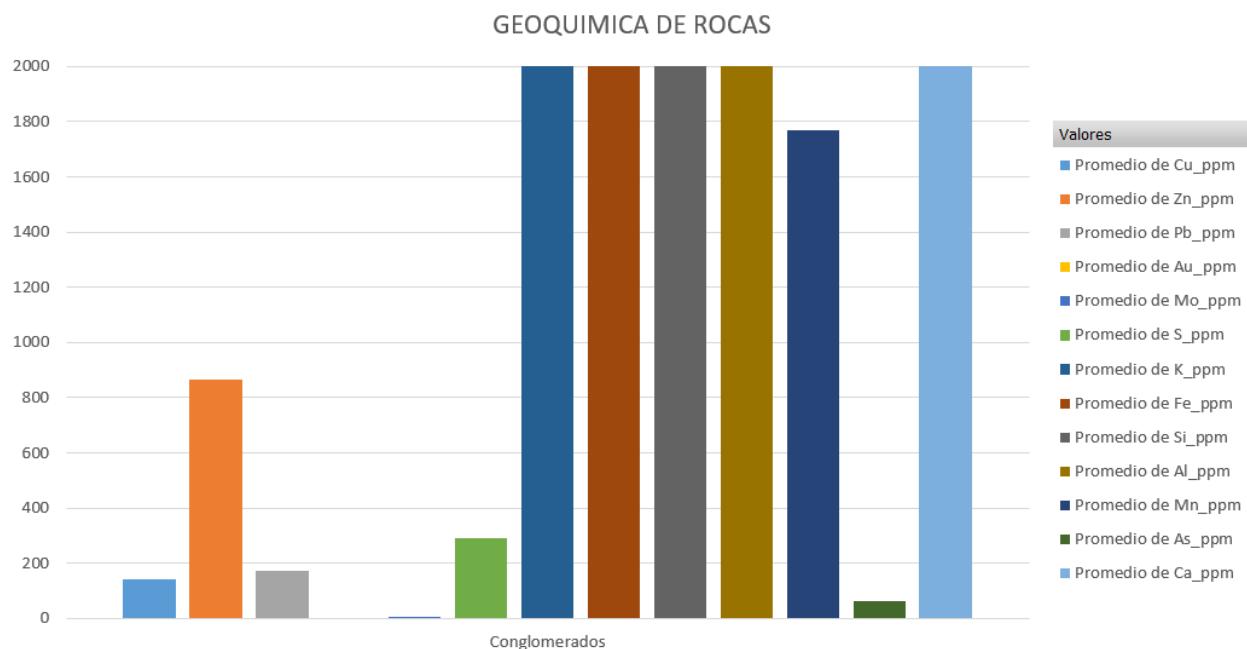


Tabla 7: Resultado del Análisis Químico Elemental por Litología

PORCENTAJE DE CONCENTRACION DEL CONGLOMERADO		
ELEMENTO	SIMBOLO	PPM
Cobre	Cu	139.93
Zinc	Zn	864.29
Plomo	Pb	172.74
Oro	Au	0.00
Molibdeno	Mo	2.17
Azufre	S	289.63
Potasio	K	13,015.00
Hierro	Fe	42,867.48
Silicio	Si	190,564.61
Aluminio	Al	63,860.00
Manganoso	Mn	1,767.71
Arsénico	As	63.81
Calcio	Ca	23,874.49

Figura 50: Promedio de elementos Químicos del conglomerado



6.2.1 Geoquímica de Estructuras Mineralizadas

En esta sección transversal se realizó el muestreo geoquímico de 4 estructuras mineralizadas (1,2,3 y 4), con un total de 21 resultados para el análisis geoquímico.

En el mapeo geológico de identificó 4 estructuras principales con mineralización de Cobre (Cu), ubicándose la boca mina en la estructura 4 con una potencia entre 1.5m-2m en afloramiento, asimismo se identificaron las estructuras 1,2 y 3 al SE de la estructura 4 con las mismas características geológicas, con potencias de 0.5m-1.5m.

SECCION TRANSVERSAL A-A'

ESTRUCTURA 1:

Presenta altos contenidos de Cu (1.64%) en promedio, esto se reflejan minerales de crisocola y azurita principalmente; acompañado de Zn (461.67ppm), Pb (248ppm), Mo (4.67ppm), S (498.33ppm), As (260.33ppm), asimismo presenta altos contenidos de Fe (3.59%), Al (6.14%), K (1.09%), Mn (0.81%), Si (14.45%), Ca (0.56%) que reflejan la concentración de minerales de alteración (arcillas) y calcita.

Figura 51: Mapa de Secciones ($A - A'$) y secciones ($B - B'$)

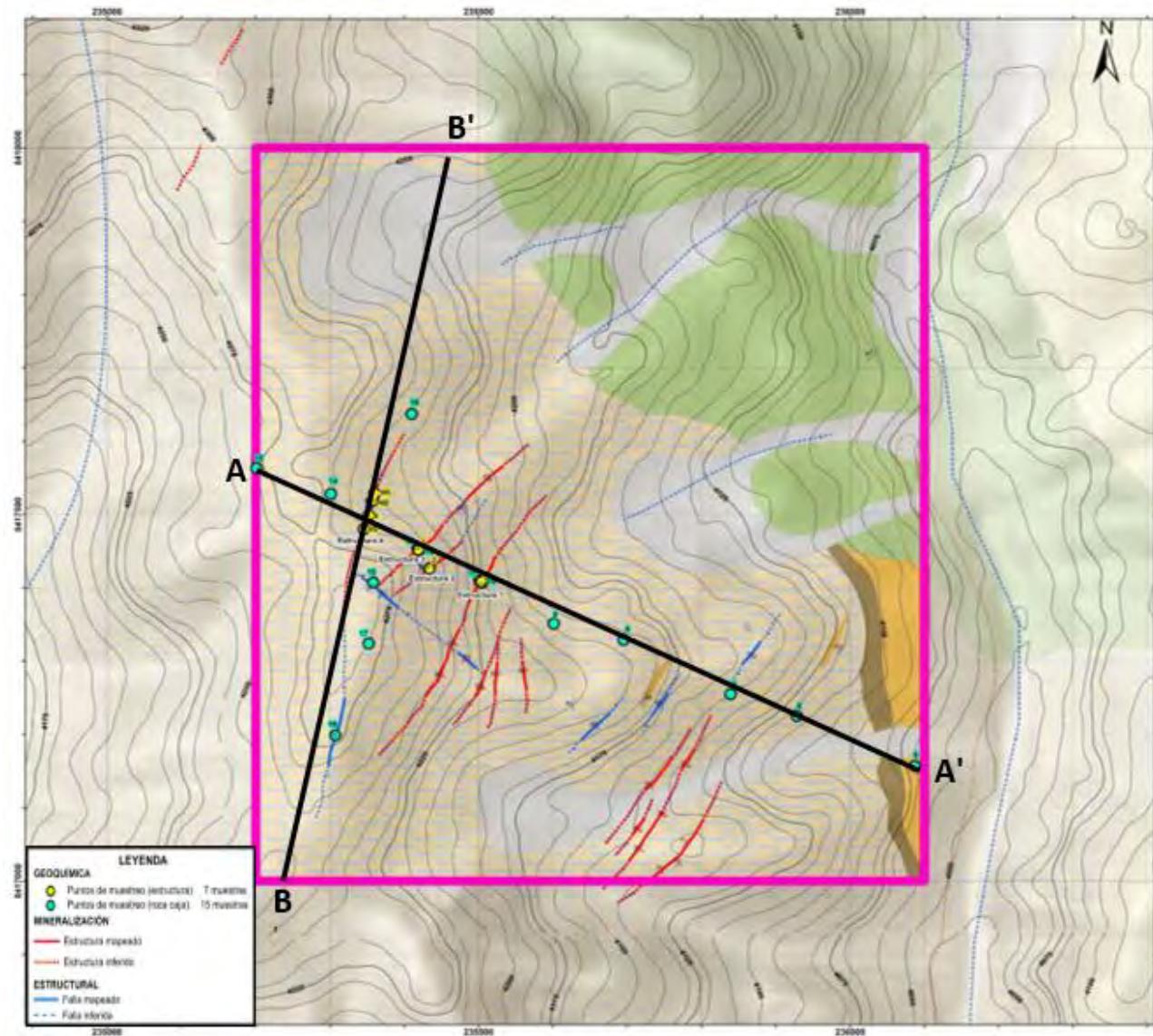


Figura 52: Sección transversal de la Estructura 1

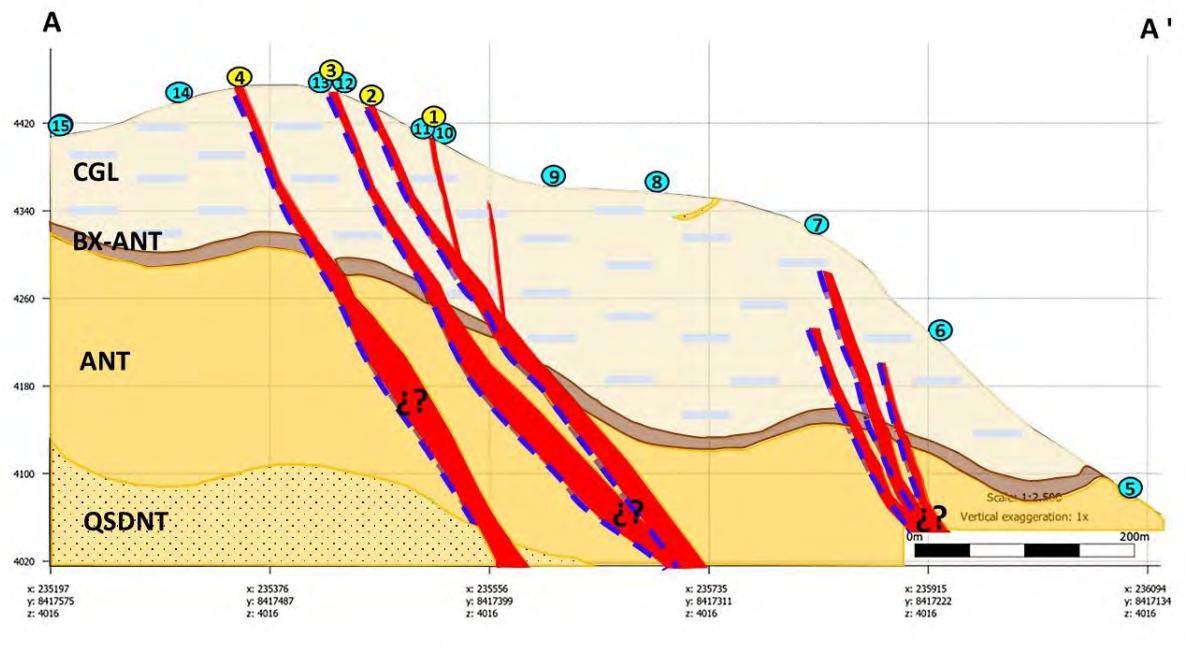


Figura 53: La estructura 1 tiene dirección antiandina NE-SW con azimut N20 y Dip 75°-85° con una potencia variable entre 0.5m-1m (fotografía con vista al Sur).

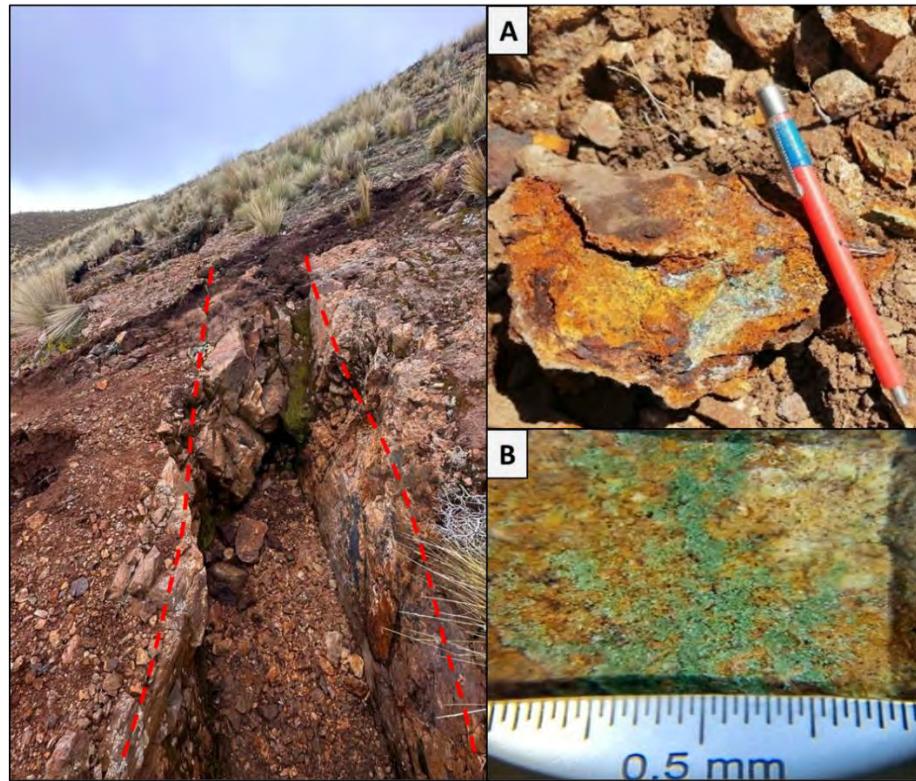
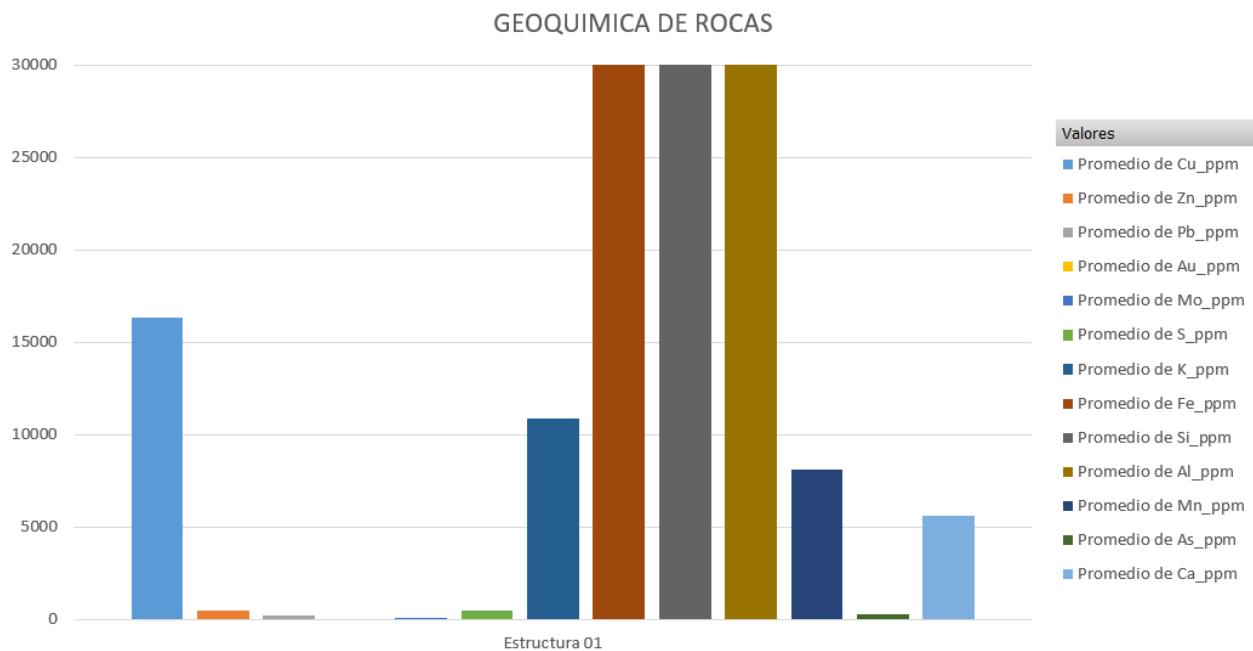


Tabla 8: Promedio de resultado del Análisis Químico de la Estructura 1

ESTRUCTURA 01				
ELEMENTO	SIMBOLO	PPM	(%)	MUESTRA
Cobre	Cu	16,366.00	1.64	
Zinc	Zn	464.67	0.05	
Plomo	Pb	248.00	0.02	
Oro	Au	0.00	0.00	
Molibdeno	Mo	4.67	0.00	
Azufre	S	498.33	0.05	
Potasio	K	10,879.67	1.09	
Hierro	Fe	35,915.00	3.59	
Silicio	Si	144,511.67	14.45	
Aluminio	Al	61,356.33	6.14	
Manganese	Mn	8,115.67	0.81	
Arsénico	As	260.33	0.03	
Calcio	Ca	5,593.67	0.56	

Figura 54: Promedio de resultados de los análisis químicos de la Estructura 1



ESTRUCTURA 2:

Presenta altos contenidos de Cu (5.98%) en promedio, esto se reflejan minerales de crisocolla y azurita principalmente; acompañado de Zn (0.76%), Pb (1.50%), Mo (19ppm), S (0.56%), As (0.45%), asimismo presenta altos contenidos de Fe (9.60%), Al (5.29%), K (0.67%), Mn (0.70%), Si (12.73%), Ca (0.50%) que reflejan la concentración de minerales de alteración (arcillas) y calcita.

Figura 55: Sección transversal de la Estructura 2

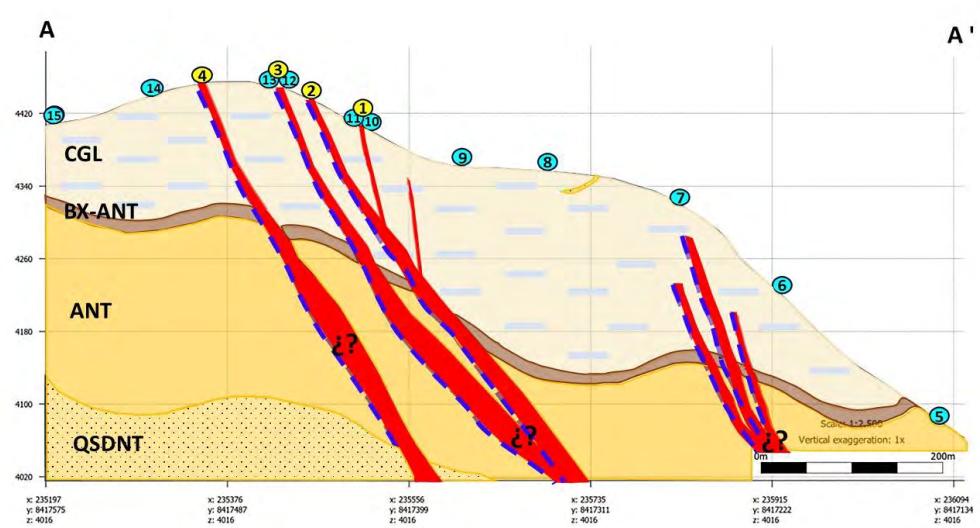


Figura 56: La estructura 2 tiene dirección antiandina NE-SW con azimut N60 y Dip 63°-75° con una potencia variable entre 0.3m-0.5m (fotografía con vista al norte).

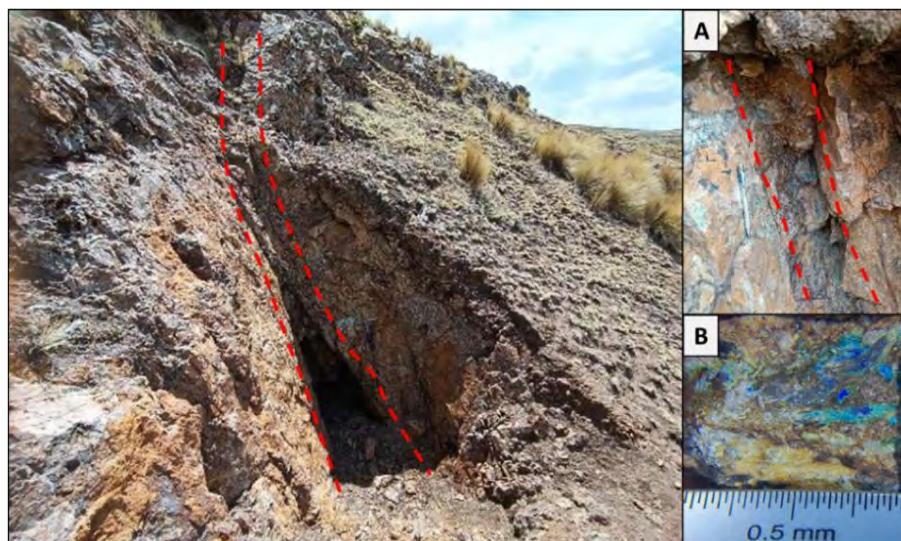


Tabla 9: Promedio de resultado del Análisis Químico de la Estructura 2

ESTRUCTURA 02			
ELEMENTO	SIMBOLO	PPM	(%)
Cobre	Cu	59,773.00	5.98
Zinc	Zn	7,583.00	0.76
Plomo	Pb	14,992.67	1.50
Oro	Au	51.00	0.01
Molibdeno	Mo	19.00	0.00
Azufre	S	5,622.00	0.56
Potasio	K	6,714.33	0.67
Hierro	Fe	96,021.67	9.60
Silicio	Si	127,293.33	12.73
Aluminio	Al	52,946.00	5.29
Manganese	Mn	7,085.33	0.71
Arsenico	As	4,559.67	0.46
Calcio	Ca	4,989.67	0.50

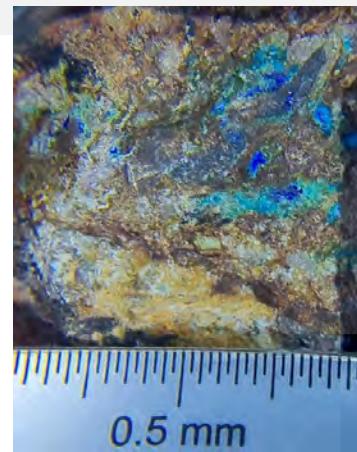
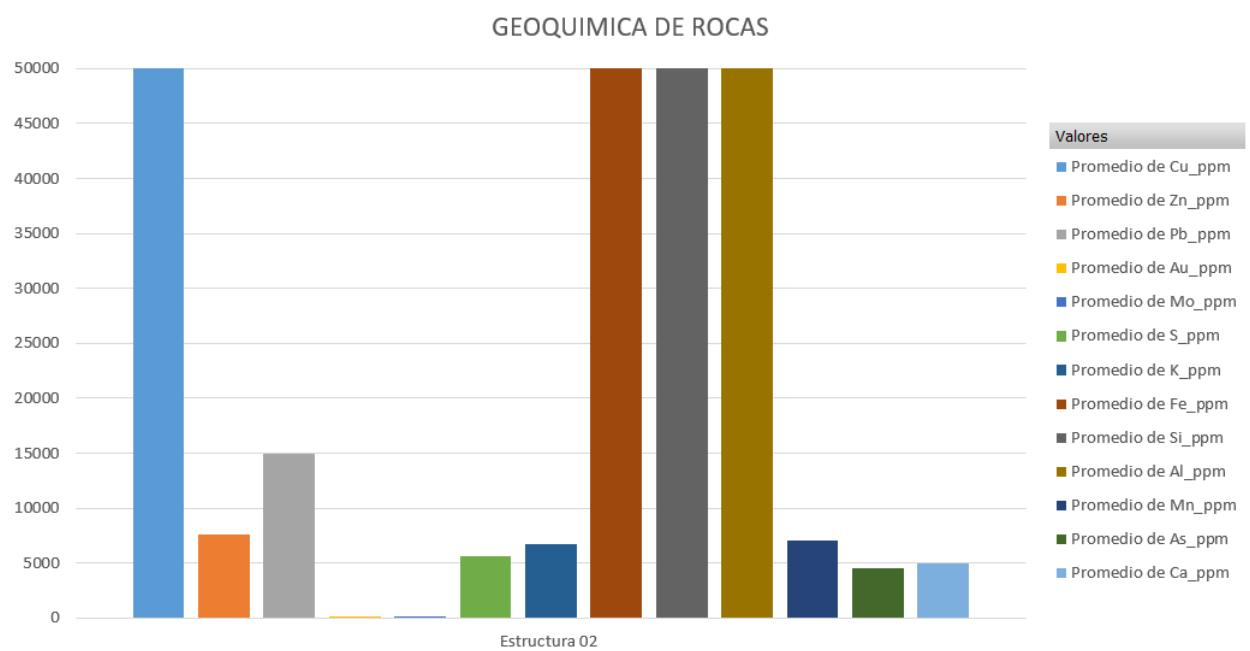


Figura 57: Promedio de resultados de análisis químicos de la Estructura 2



ESTRUCTURA 3:

Presenta altos contenidos de Cu (18.46%) en promedio, esto se reflejan minerales de crisocola y azurita principalmente; acompañado de Zn (0.75%), Pb (0.31%), Mo (49.67ppm), S (0.26%), As (0.85%), asimismo presenta altos contenidos de Fe (5.17%), Al (3.23%), K (0.30%), Mn (0.18%), Si (15.30%), Ca (1.25%) que reflejan la concentración de minerales de alteración (arcillas) y calcita.

Figura 58: Sección transversal de la Estructura 3

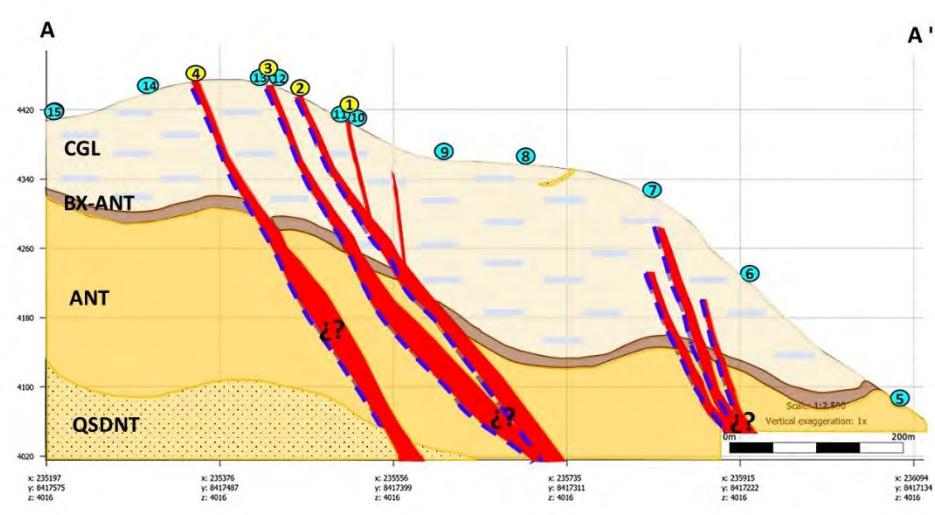


Figura 59: La estructura 3 con dirección antiandina NE-SW con azimut N56 y Dip 64°-65° con una potencia 1m-1.5m (fotografía con vista al sur).

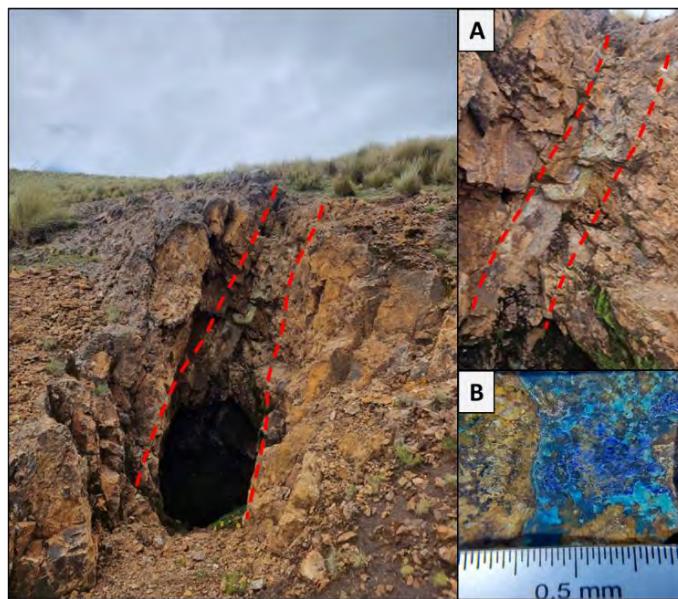
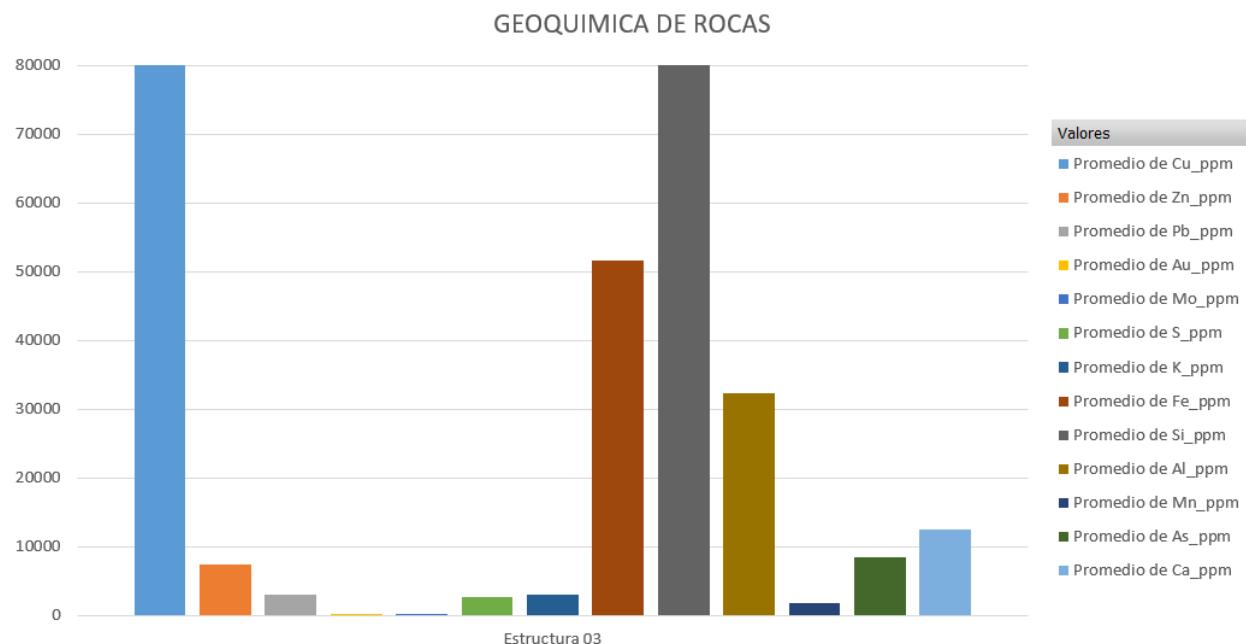


Tabla 10: Promedio de resultado del Análisis Químico de la estructura 3

ESTRUCTURA 03				
ELEMENTO	SIMBOLO	PPM	(%)	MUESTRA
Cobre	Cu	184,622.00	18.46	
Zinc	Zn	7,457.67	0.75	
Plomo	Pb	3,126.67	0.31	
Oro	Au	27.00	0.00	
Molibdeno	Mo	49.67	0.00	
Azufre	S	2,647.67	0.26	
Potasio	K	3,006.67	0.30	
Hierro	Fe	51,662.00	5.17	
Silicio	Si	153,031.33	15.30	
Aluminio	Al	32,299.33	3.23	
Manganese	Mn	1,803.67	0.18	
Arsenico	As	8,470.33	0.85	
Calcio	Ca	12,529.33	1.25	

Figura 60: Promedio de resultados de análisis químicos de la Estructura 3



ESTRUCTURA 4:

Presenta altos contenidos de Cu (12.70%) en promedio, esto se reflejan minerales de crisocola y azurita principalmente; acompañado de Zn (0.78%), Pb (0.32%), Mo (29ppm), S (0.23%), As (1.03%), asimismo presenta altos contenidos de Fe (6.93%), Al (3.53%), K (0.33%), Mn (0.37%), Si (14.87%), Ca (2.48%) que reflejan la concentración de minerales de alteración (arcillas) y calcita.

Figura 61: Sección transversal de la Estructura 4

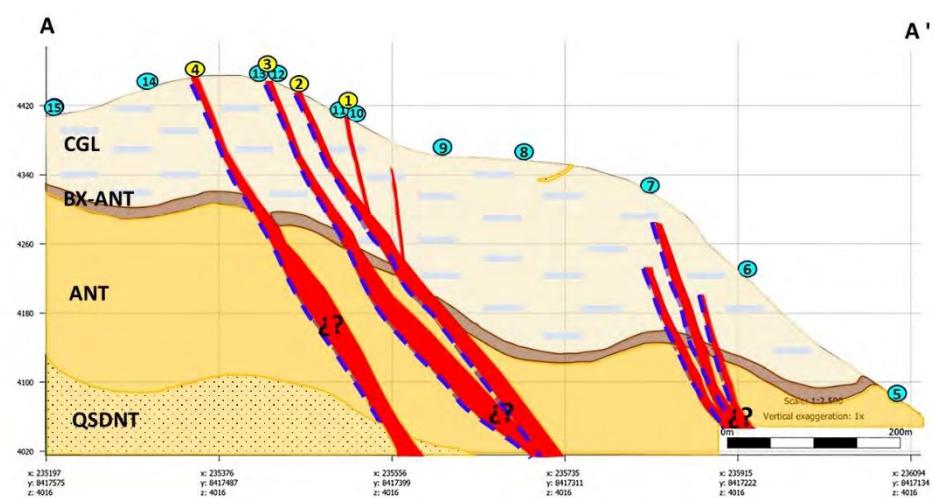


Figura 62: La estructura 4 con dirección antiandina NE-SW con azimuth N15-N20 y Dip 65°-80° con una potencia 1.5m-2.0m (fotografía panorámica con vista al oeste).

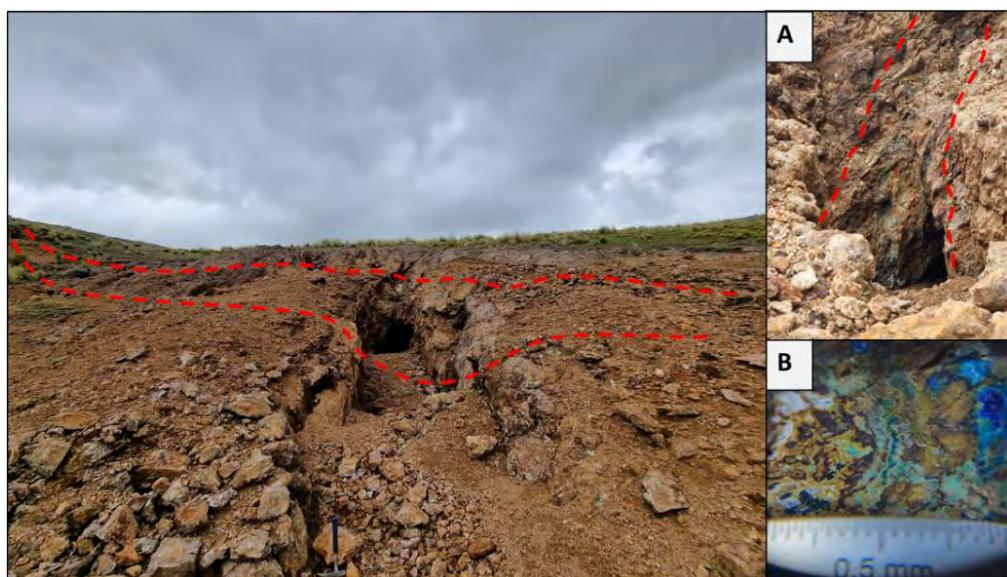


Tabla 11: Resultado del Análisis Químico Elemental de la Estructura 4

ESTRUCTURA 4			
ELEMENTO	SIMBOLO	PPM	(%)
Cobre	Cu	127,003.67	12.70
Zinc	Zn	7,832.33	0.78
Plomo	Pb	3,237.67	0.32
Oro	Au	10.67	0.00
Molibdeno	Mo	29.00	0.00
Azufre	S	2,333.67	0.23
Potasio	K	3,333.00	0.33
Hierro	Fe	69,274.00	6.93
Silicio	Si	148,688.33	14.87
Aluminio	Al	35,310.00	3.53
Manganese	Mn	3,722.33	0.37
Arsenico	As	10,390.00	1.04
Calcio	Ca	24,805.00	2.48

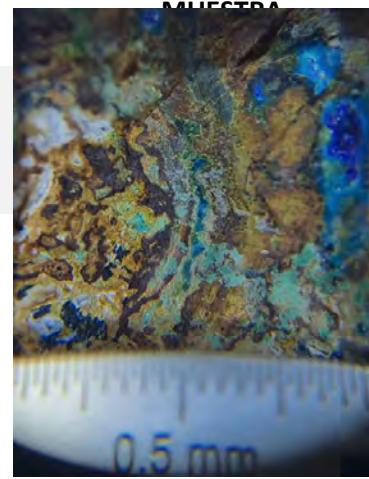
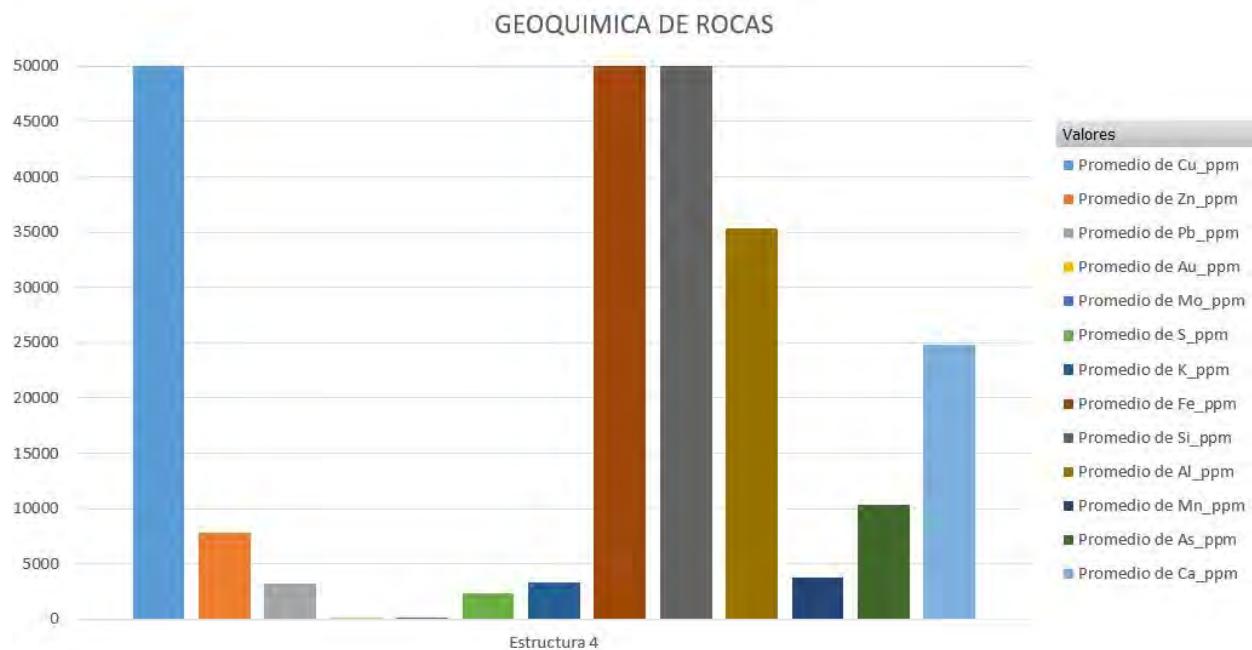


Figura 63: Promedio de resultados de análisis químicos de la Estructura 4



SECCION LONGITUDINAL B-B '

SECCION LONGITUDINAL A LA ESTRUCTURA 4

En esta sección longitudinal se puede observar el comportamiento de la concentración del Cu a lo largo de la estructura 4. En el punto 4S (Boca mina sur) presenta contenido de Cu con 4.10% con valores bajos en Zn 899pmm (0.09%), Pb 200ppm (0.02%), Mo 8.33ppm, en el punto 4 presenta contenido de Cu con 12.70% con valores de Zn 7832.33ppm (0.78%), Pb 3237.67ppm (0.32%), Mo 29ppm, en el punto 4B presenta contenido de Cu con 0.98% con valores de Zn 155607pmm (15.56%), Pb 41872.67ppm (4.19%), Mo 161.33ppm, en el punto 4N presenta contenido de Cu con 10.05% con valores de Zn 8759ppm (0.88%), Pb 1905ppm (0.19%), Mo 22ppm. Se puede interpretar que la variación del contenido metálico aumenta de sur a norte en contenido de Cu acompañados de Zn, Pb y Mo, considerando que la estructura principal de mayor potencia es en el 4B.

Figura 64: Corte de sección $B - B'$

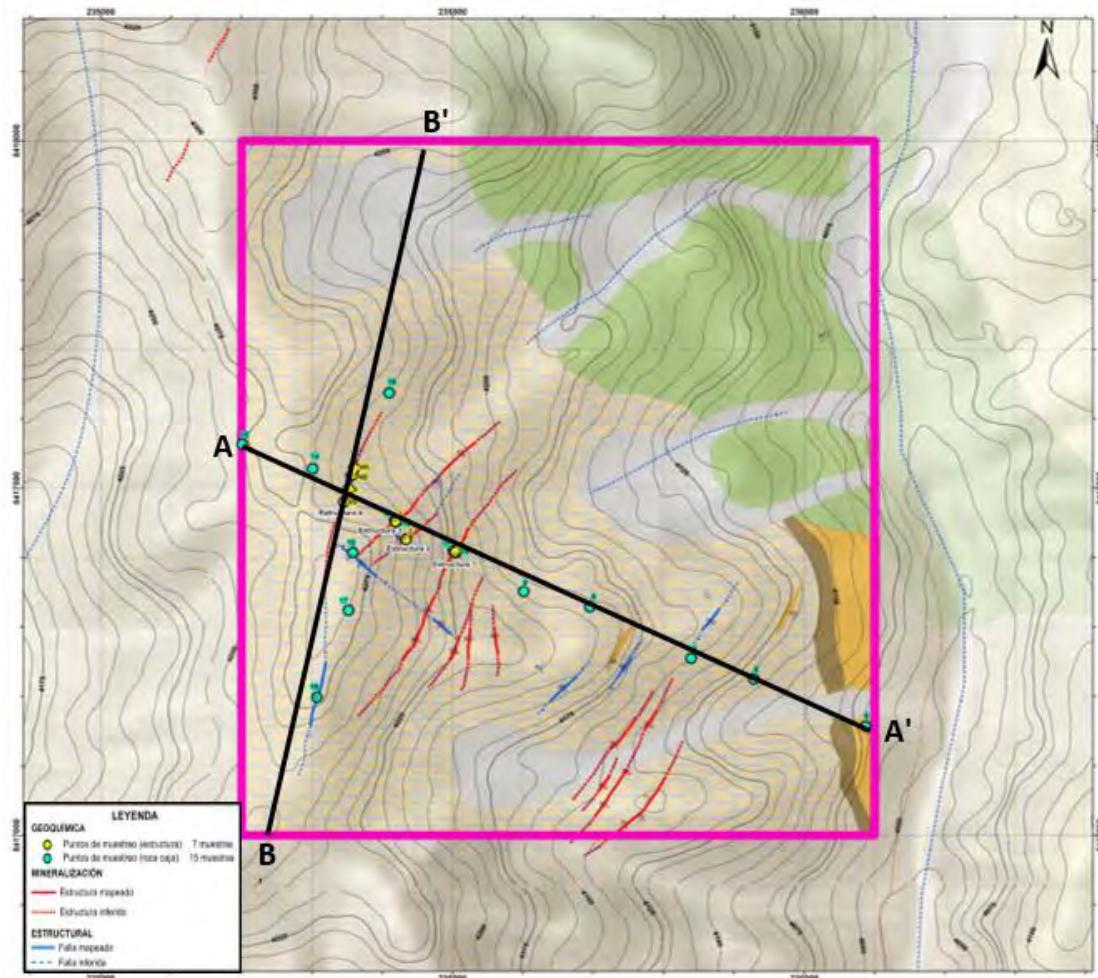


Figura 65: Perfil Longitudinal de la estructura 4

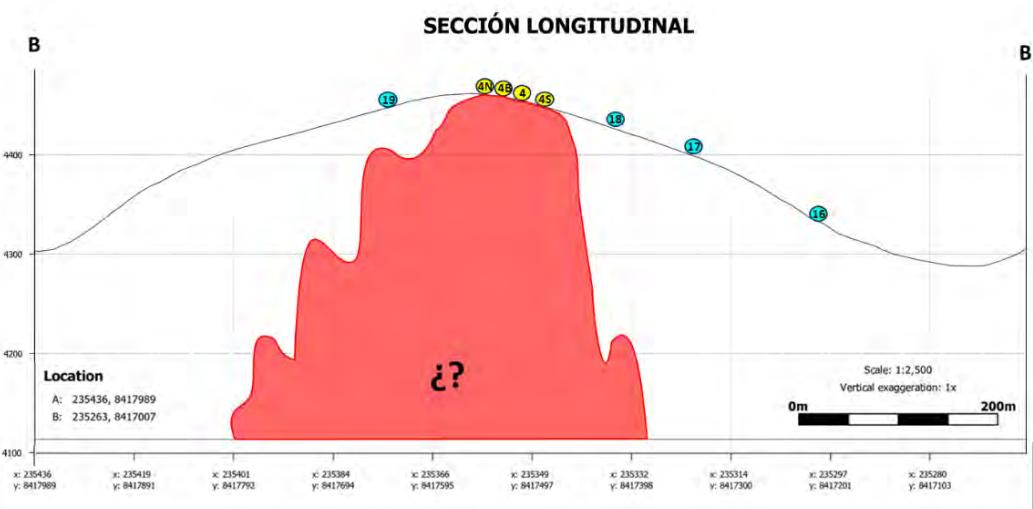


Tabla 12: Resultado del Análisis Químico Elemental de la Estructura 4S

ESTRUCTURA 4S				MUESTRA
ELEMENTO	SIMBOLO	PPM	(%)	
Cobre	Cu	41,017.33	4.10	
Zinc	Zn	899.00	0.09	
Plomo	Pb	200.00	0.02	
Oro	Au	0.00	0.00	
Molibdeno	Mo	8.33	0.00	
Azufre	S	397.00	0.04	
Potasio	K	2,779.33	0.28	
Hierro	Fe	89,060.00	8.91	
Silicio	Si	87,626.67	8.76	
Aluminio	Al	40,850.33	4.09	
Manganese	Mn	3,624.00	0.36	
Arsenico	As	3,616.67	0.36	
Calcio	Ca	1,167.67	0.12	

Figura 66: Promedio de resultados de análisis químicos de la Estructura 4S

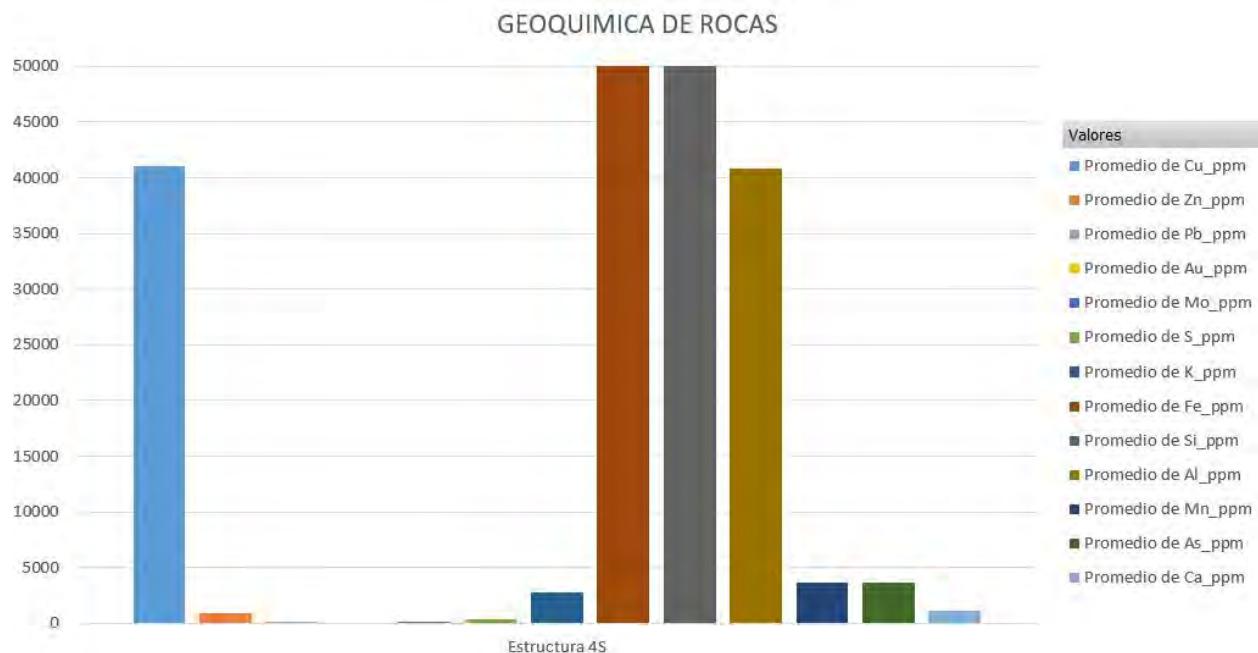


Tabla 13: Resultado del Análisis Químico Elemental de la estructura 4B

ESTRUCTURA 4B				
ELEMENTO	SIMBOLO	PPM	(%)	MUESTRA
Cobre	Cu	9,751.33	0.98	
Zinc	Zn	155,607.00	15.56	
Plomo	Pb	41,872.67	4.19	
Oro	Au	0.00	0.00	
Molibdeno	Mo	161.33	0.02	
Azufre	S	21,717.33	2.17	
Potasio	K	2,574.33	0.26	
Hierro	Fe	25,623.33	2.56	
Silicio	Si	133,932.00	13.39	
Aluminio	Al	15,860.33	1.59	
Manganoso	Mn	894.33	0.09	
Arsenico	As	5,539.33	0.55	
Calcio	Ca	2,678.67	0.27	

Figura 67: Promedio de resultados de análisis químicos de la Estructura 4B

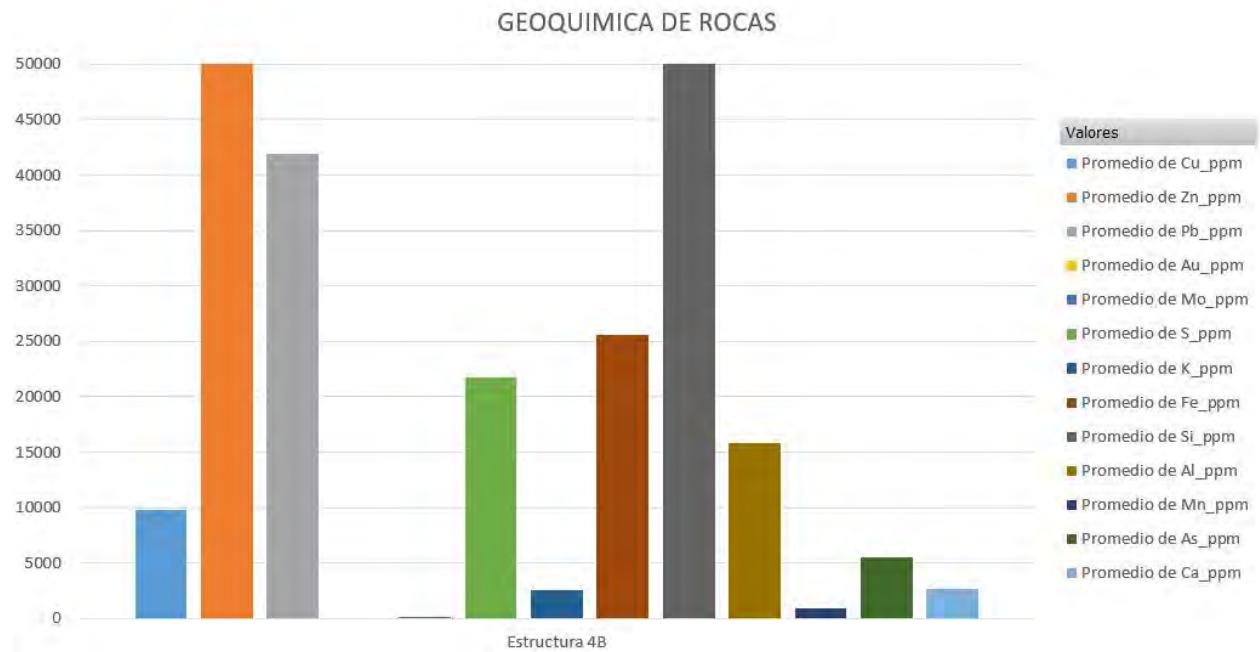


Tabla 14: Resultado del Análisis Químico Elemental de la estructura 4N

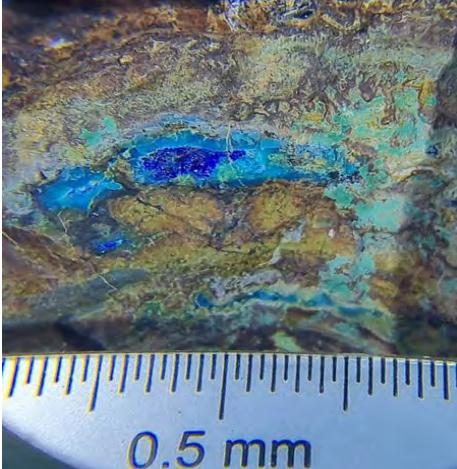
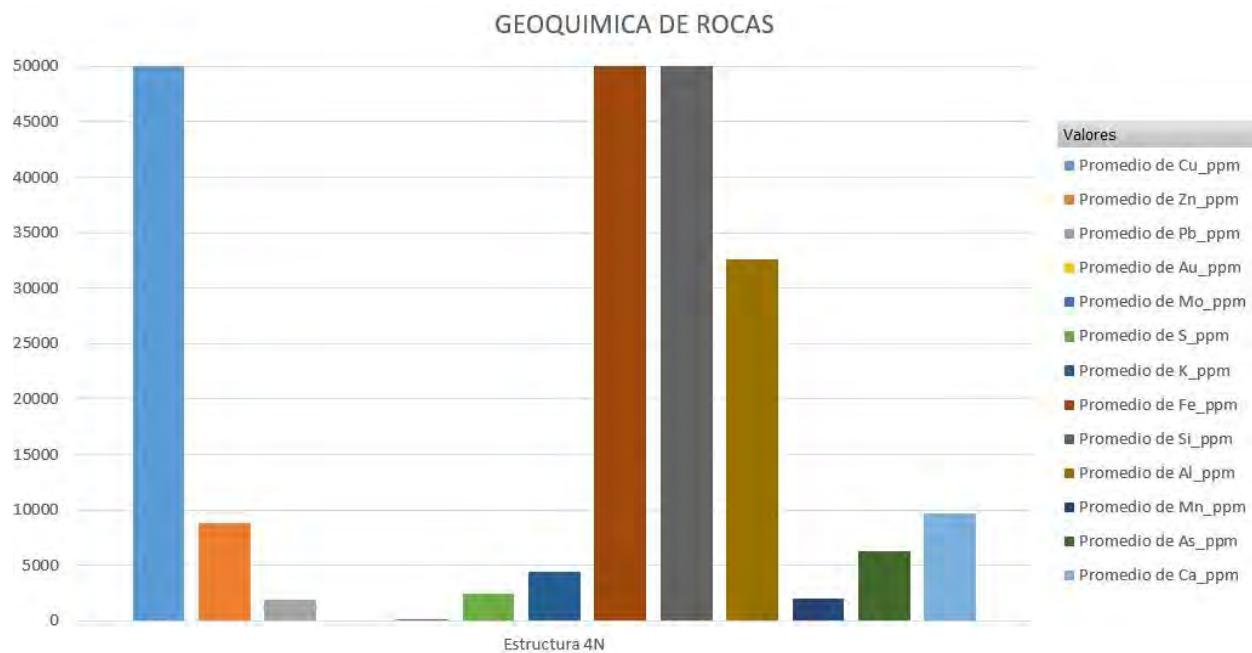
ESTRUCTURA 4N				MUESTRA
ELEMENTO	SIMBOLO	PPM	(%)	
Cobre	Cu	100,491.00	10.05	
Zinc	Zn	8,759.00	0.88	
Plomo	Pb	1,905.33	0.19	
Oro	Au	0.00	0.00	
Molibdeno	Mo	22.00	0.00	
Azufre	S	2,410.67	0.24	
Potasio	K	4,397.33	0.44	
Hierro	Fe	52,968.00	5.30	
Silicio	Si	148,596.00	14.86	
Aluminio	Al	32,589.00	3.26	
Manganoso	Mn	2,025.33	0.20	
Arsenico	As	6,296.67	0.63	
Calcio	Ca	9,727.00	0.97	

Figura 68: Promedio de resultados de análisis químicos de la Estructura 4N



6.3 Análisis Estadístico Geoquímico

En área de estudio se recolectó 66 resultados de muestras, con estos datos se efectuará un análisis estadístico de la información geoquímica disponible, aplicando procedimientos univariados, bivariados y multivariable. Este tipo de evaluación constituye una herramienta fundamental en la etapa exploratoria, ya que permite identificar zonas con anomalías que podrían estar asociadas a la presencia de un yacimiento mineral.

6.3.1 Estadística Univariados

6.3.1.1 Distribución de normalidad

Los resultados obtenidos de las muestras no presentan una distribución normal, Por tal motivo, se aplicará la transformación mediante logaritmo natural, con el fin de aproximar los datos a una distribución normal. De esta manera será posible realizar los análisis estadísticos univariados utilizando librerías de Python.

Cu: En la figura 69 se aprecia que los datos no siguen una distribución normal; posteriormente, al aplicar la transformación con logaritmo natural, como se muestra en la Figura 70, se obtiene una distribución ajustada, en la cual el estadístico Shapiro-Wilk (S.W.) presenta un valor de 0.911.

Figura 69: Distribución no Normalizada de Cu

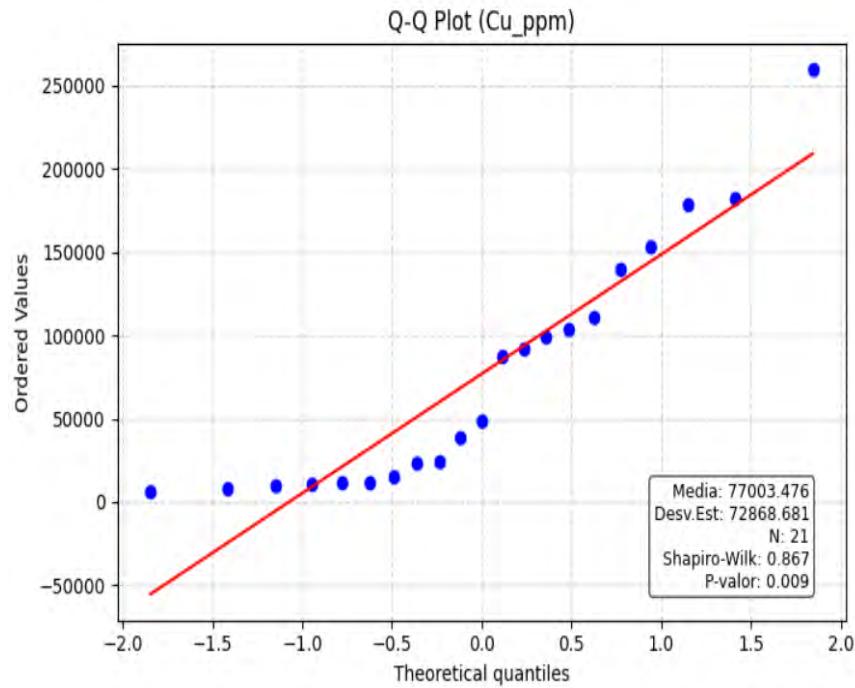
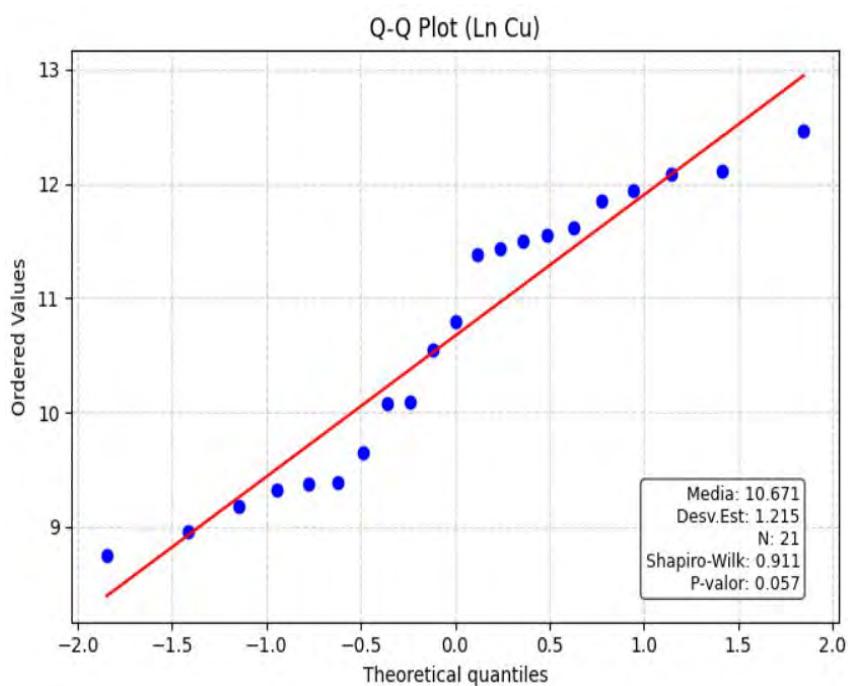


Figura 70: Distribución Normalizada de Cu



Zn: En la figura 71 se evidencia que los datos no presentan una distribución normal; sin embargo, tras aplicar la transformación logarítmica natural en la figura 71 se tiene una distribución donde que el S.W. (Shapiro Wilk) es 0.906.

Figura 71: Distribución no Normalizada de Zn

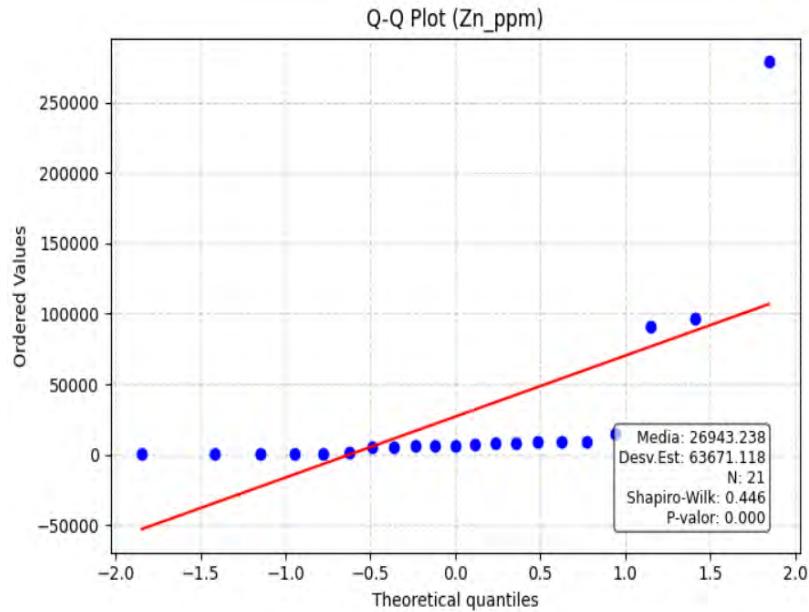
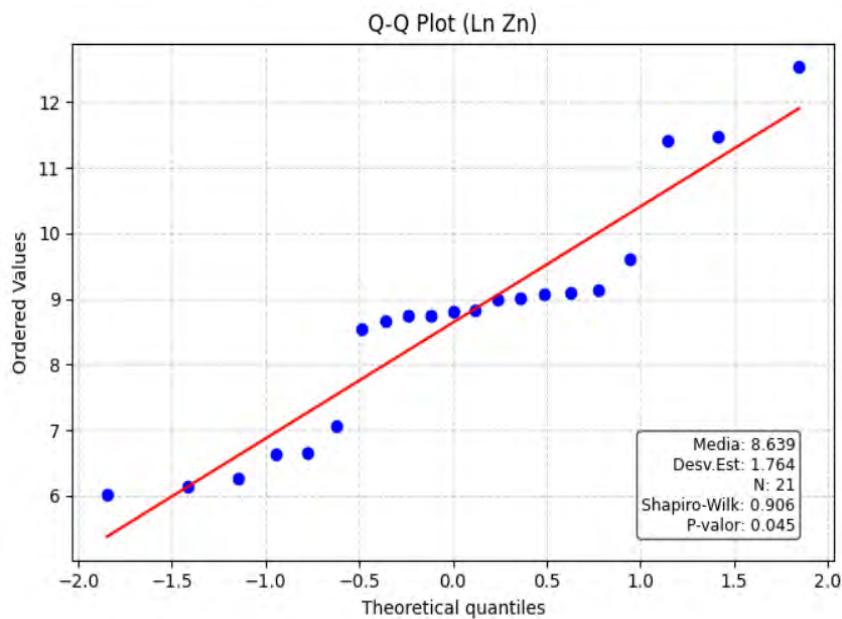


Figura 72: Distribución Normalizada de Zn



As: En la figura 73 se aprecia que los datos no siguen una distribución normal; no obstante, al aplicar la transformación logarítmica natural en la figura 74 se tiene una distribución donde que el S.W. (Shapiro Wilk) es 0.800.

Figura 73: Distribución no Normalizada de As

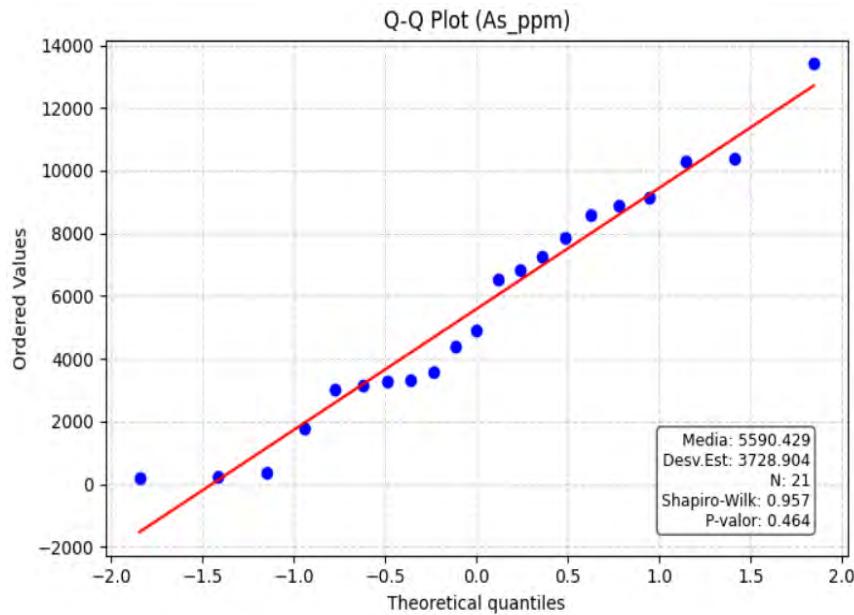
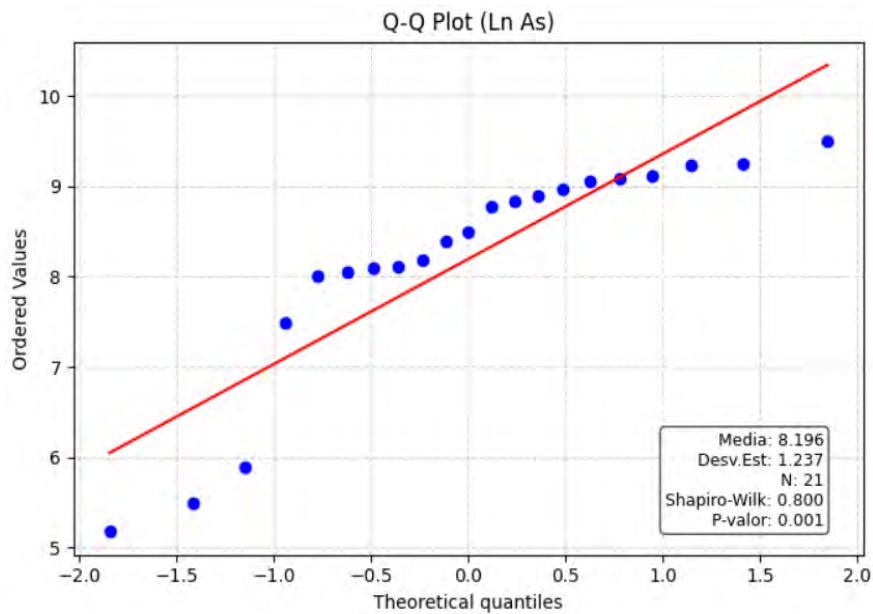


Figura 74: Distribución Normalizada de As



Mo: En la figura 75 indica ausencia de normalidad en los datos, tras la aplicación del logaritmo natural en la figura 76 se tiene una distribución donde que el S.W. (Shapiro Wilk) es 0.958.

Figura 75: Distribución no Normalizada de Mo

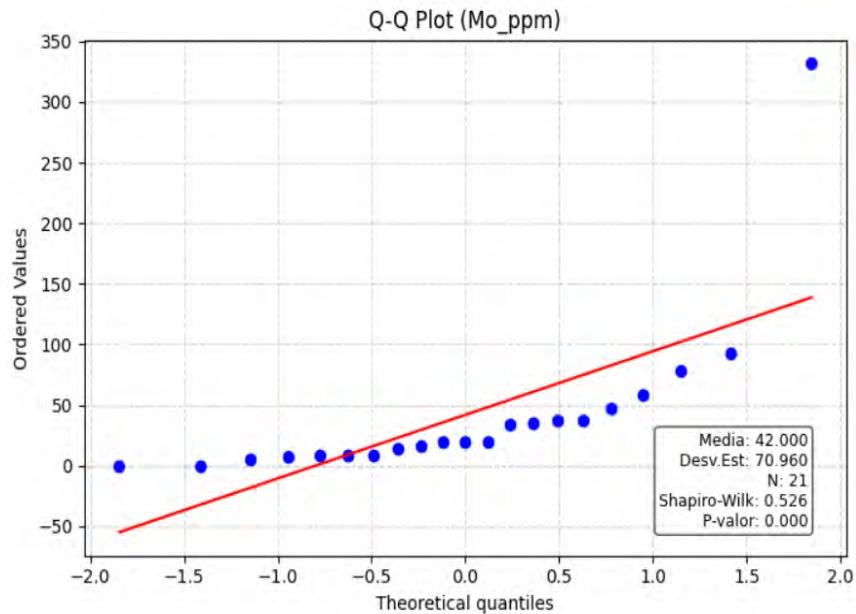
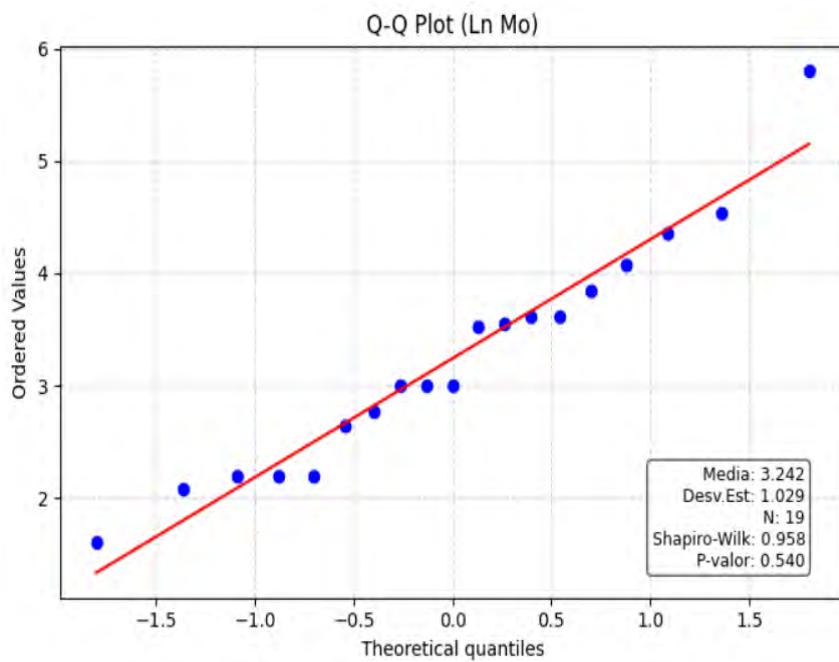


Figura 76: Distribución Normalizada de Mo



Ag: En la figura 77 se aprecia que los datos no siguen una distribución normal; no obstante, al aplicar la transformación logarítmica natural en la figura 78 se tiene una distribución donde que el S.W. (Shapiro Wilk) es 0.881.

Figura 77: Distribución no Normalizada de Ag

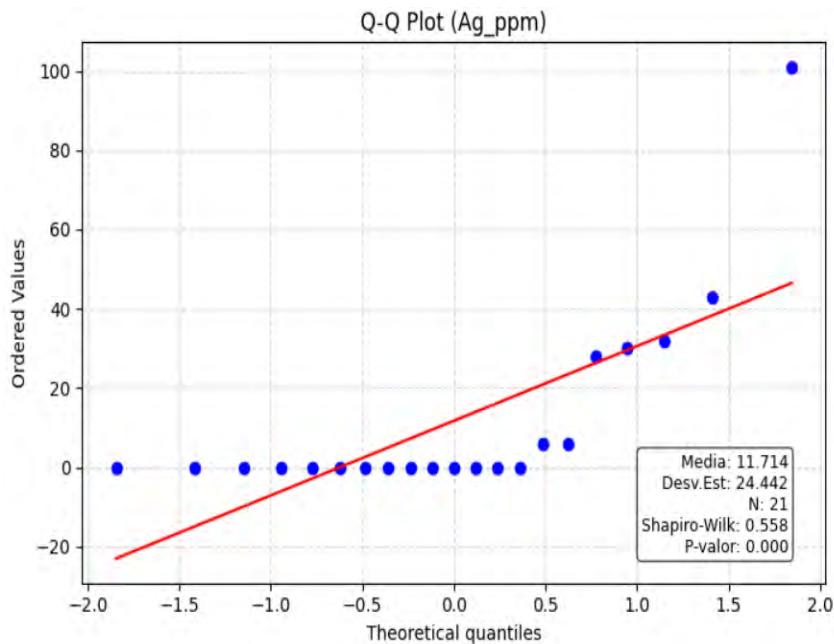
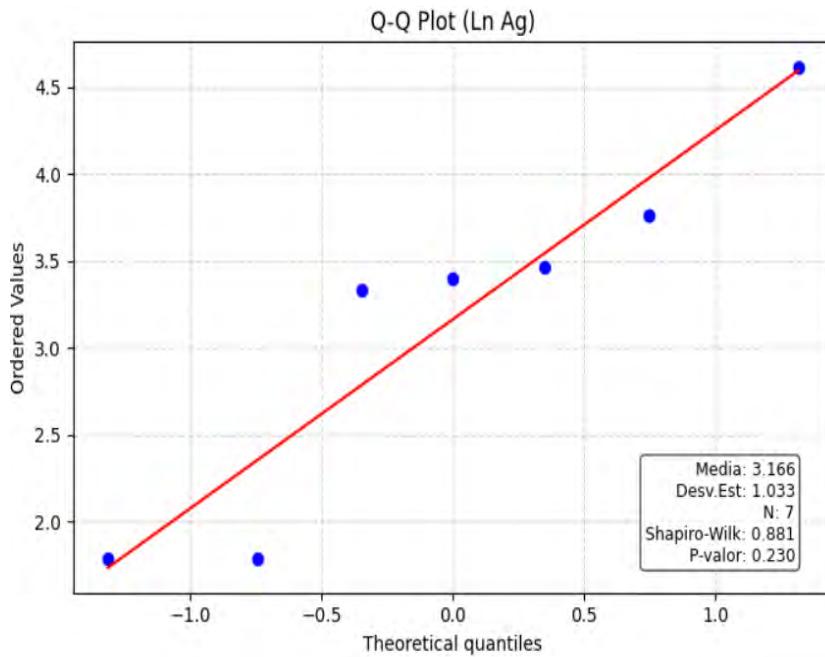


Figura 78: Distribución Normalizada de Ag



Au: En la figura 79 muestra ausencia de normalidad; no obstante, tras aplicar el logaritmo natural en la figura 80 se tiene una distribución donde que el S.W. (Shapiro Wilk) es 0.800.

Figura 79: Distribución no Normalizada de Au

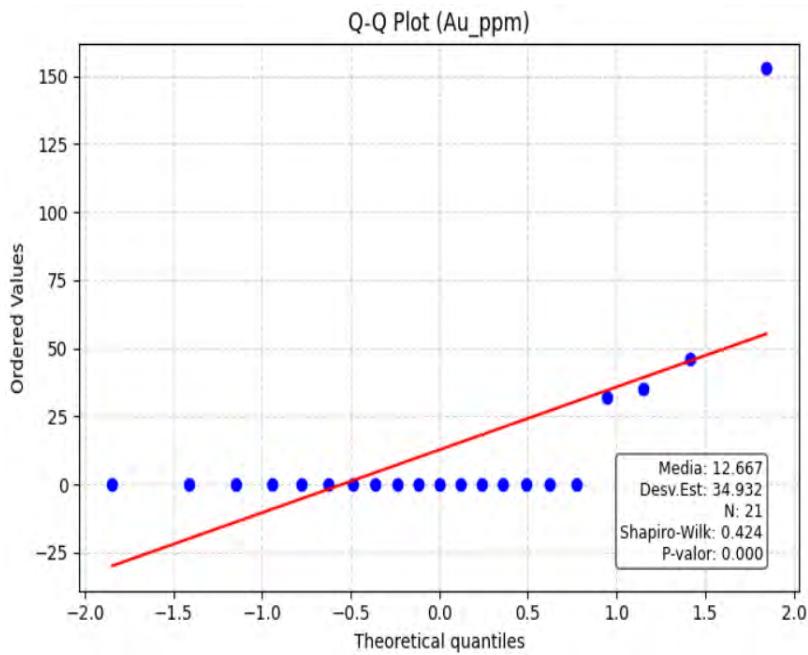
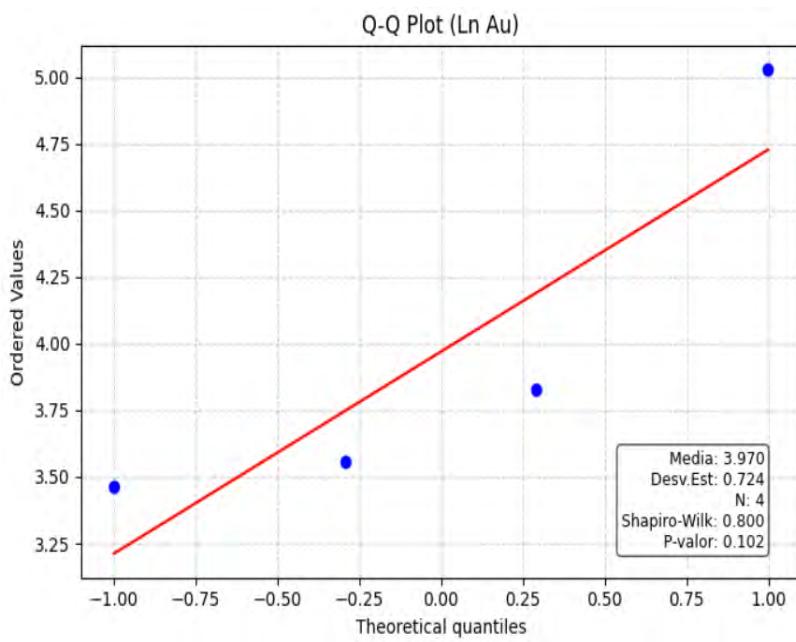


Figura 80: Distribución Normalizada de Au



Pb: En la figura 81 se aprecia que los datos no presentan un patrón de normalidad; sin embargo, al aplicar la transformación logarítmica natural en la figura 82 se tiene una distribución donde que el S.W. (Shapiro Wilk) es 0.947.

Figura 81: Distribución no Normalizada de Pb

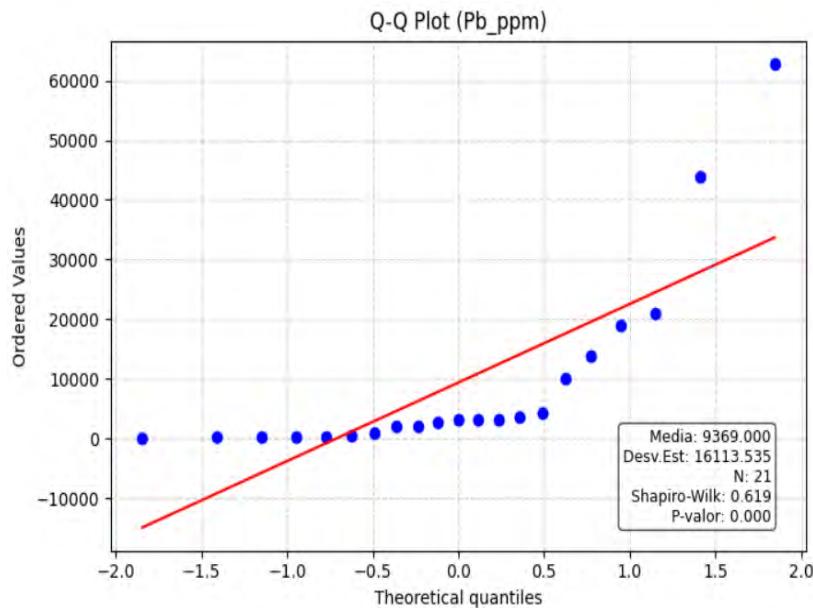
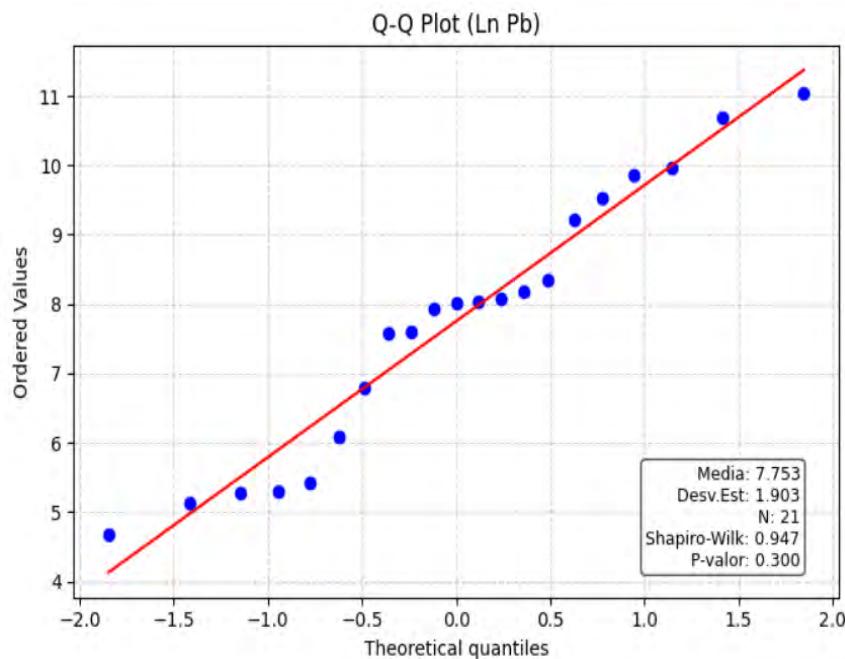


Figura 82: Distribución Normalizada de Pb



Fe: En la figura 83 evidencia ausencia de normalidad en los datos; tras la aplicación del logaritmo natural en la figura 84 se tiene una distribución donde que el S.W. (Shapiro Wilk) es 0.968.

Figura 83: Distribución no Normalizada de Fe

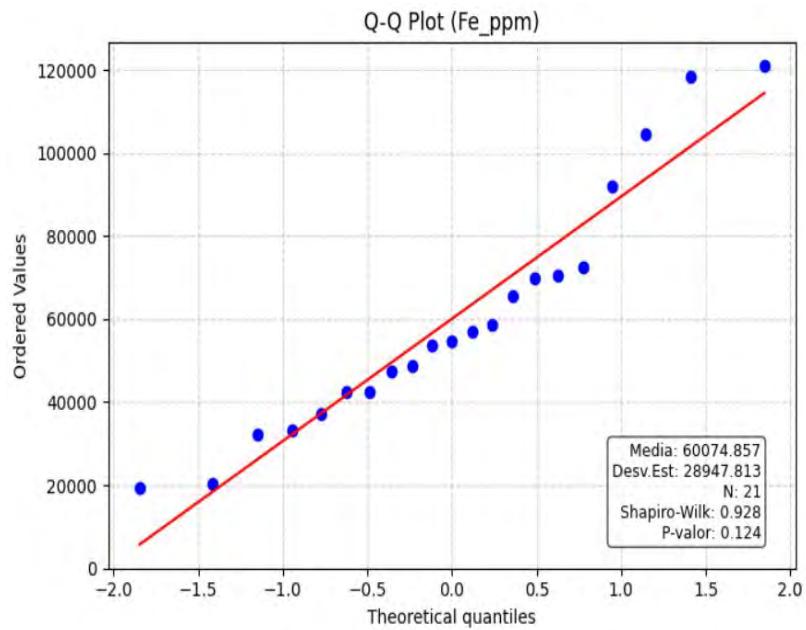
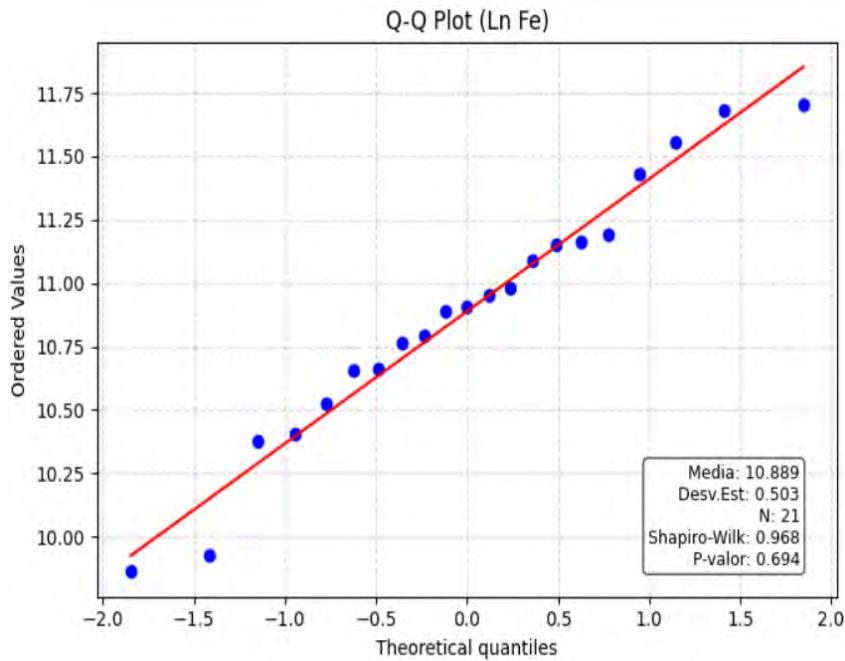


Figura 84: Distribución Normalizada de Fe



S: En la figura 85 se aprecia que los datos no siguen una distribución normal; no obstante, al aplicar la transformación logarítmica natural en la figura 86 se tiene una distribución donde que el S.W. (Shapiro Wilk) es 0.966.

Figura 85: Distribución no Normalizada de S

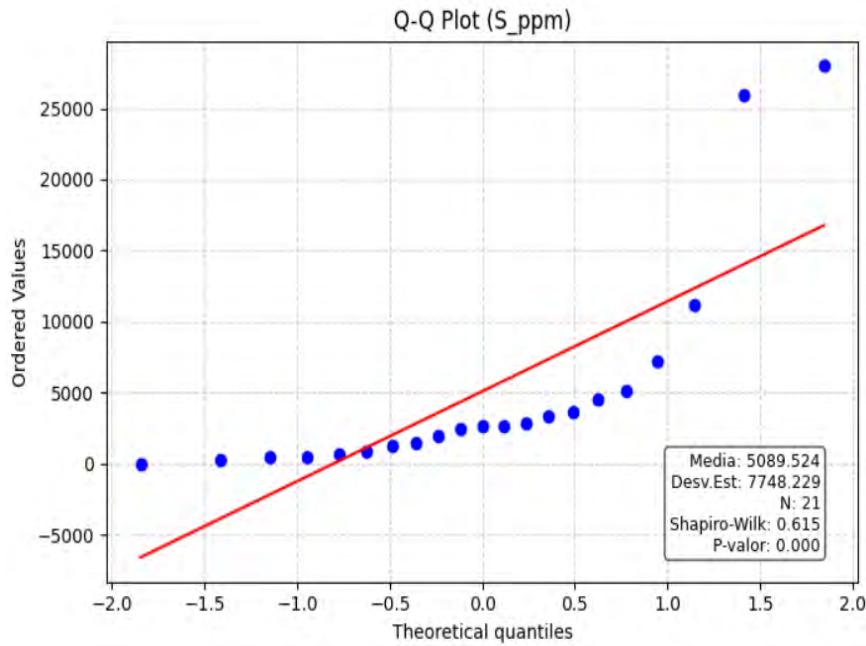
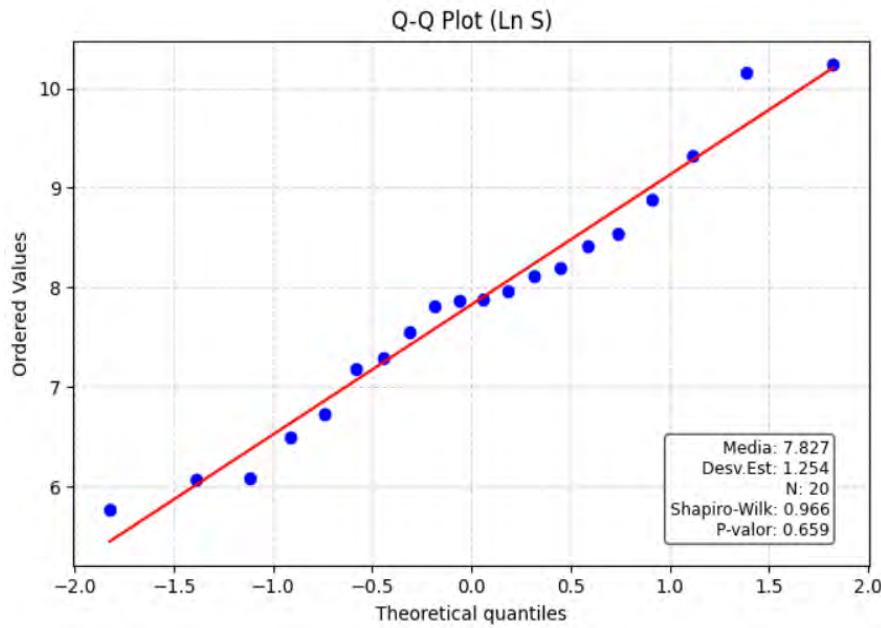


Figura 86: Distribución Normalizada de S



Si: En la figura 87 se confirma que la distribución de los datos no es normal; mediante la transformación logarítmica natural en la figura 88 se tiene una distribución donde que el S.W. (Shapiro Wilk) es 0.908.

Figura 87: Distribución no Normalizada de Si

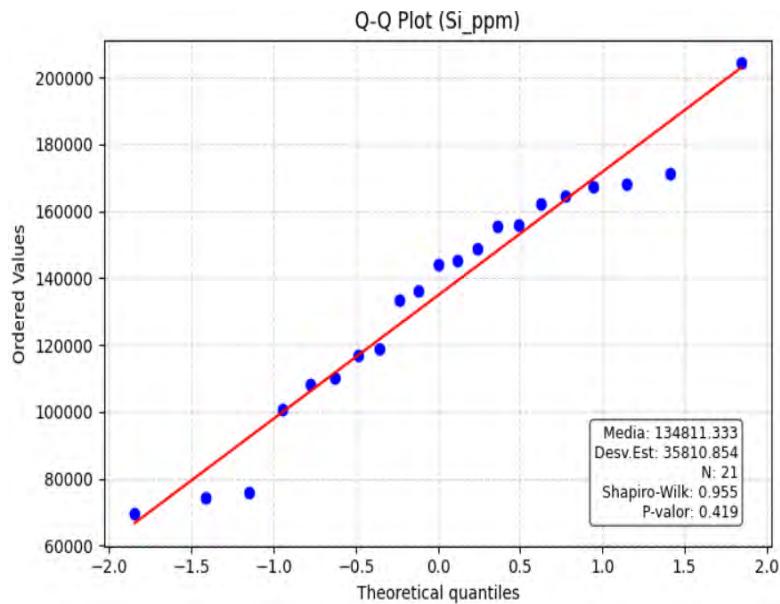
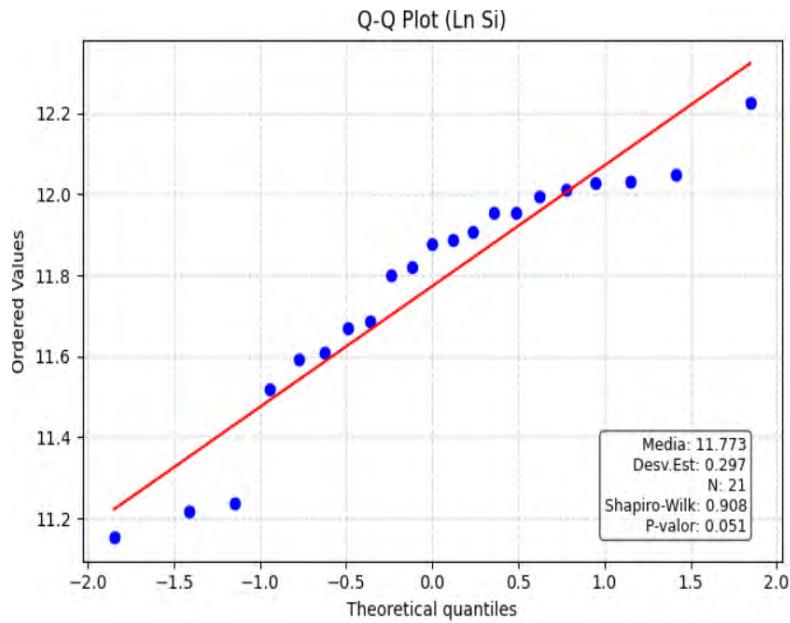


Figura 88: Distribución Normalizada de Si



K: En la figura 89 la información revela falta de normalidad en los datos; al utilizar logaritmo natural en la figura 90 se tiene una distribución donde que el S.W. (Shapiro Wilk) es 0.977.

Figura 89: Distribución no Normalizada de K

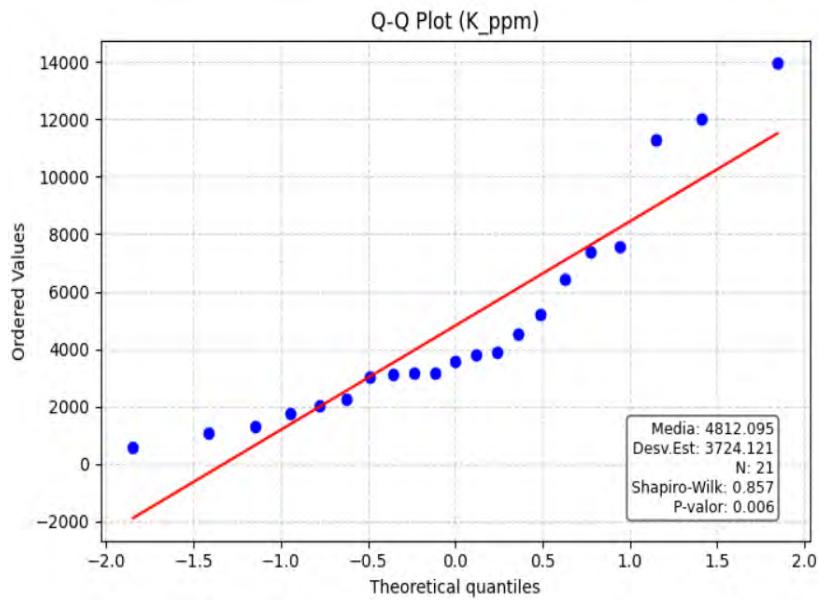
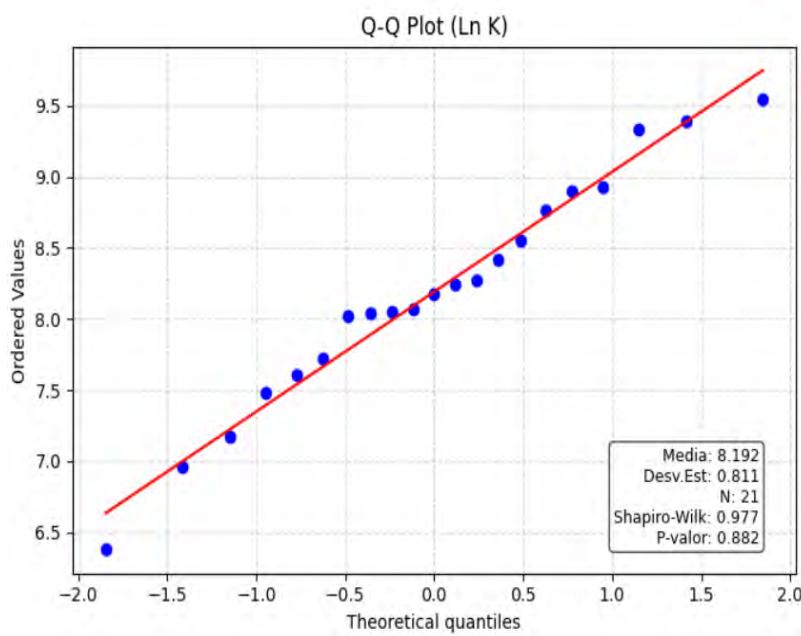


Figura 90: Distribución Normalizada de K



Ca: En la figura 91 los datos no siguen una distribución normal; tras efectuar la transformación logarítmica natural en la figura 92 se tiene una distribución donde que el S.W. (Shapiro Wilk) es 0.928.

Figura 91: Distribución no Normalizada de Ca

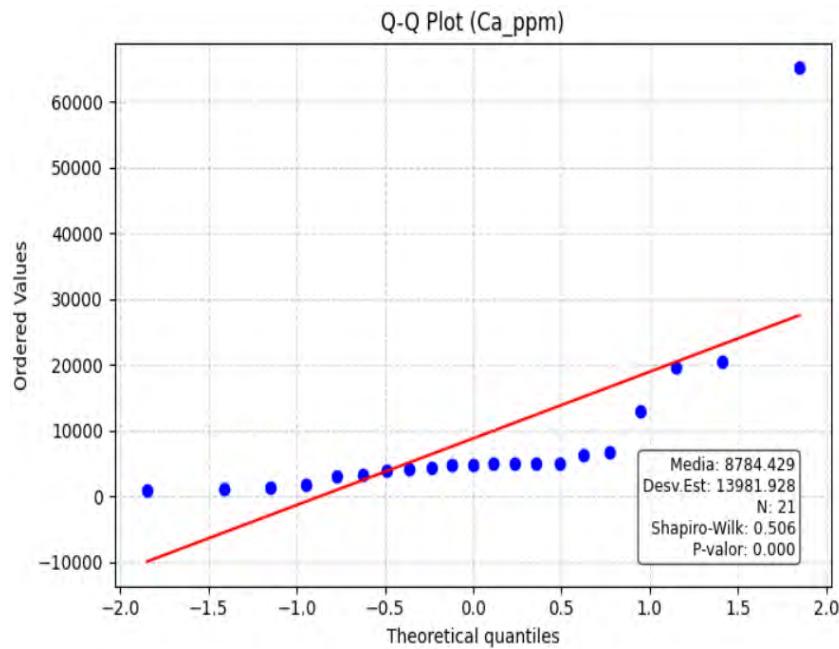
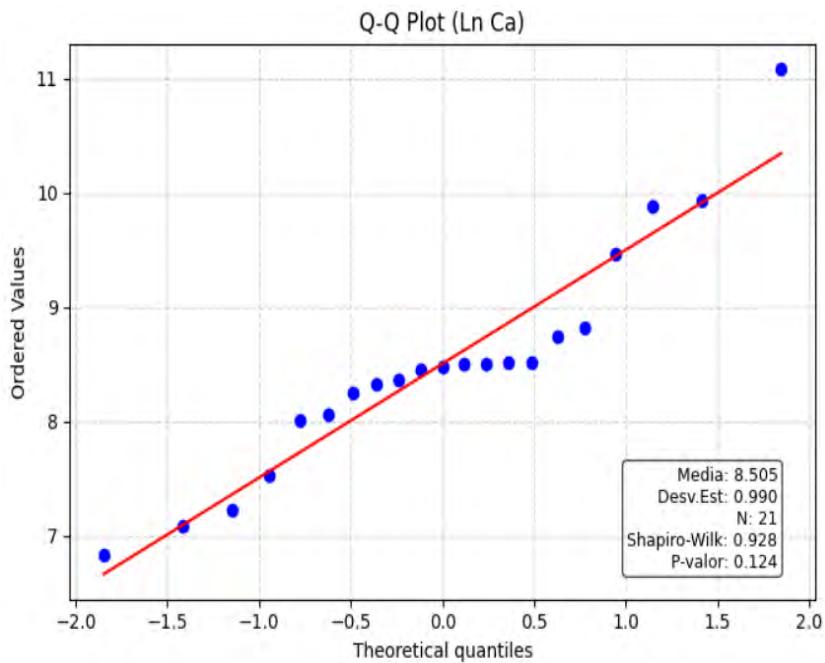


Figura 92: Distribución Normalizada de Ca



Al: En la figura 93 se detecta que los datos carecen de normalidad; aplicando una transformación logarítmica natural en la figura 94 se tiene una distribución donde que el S.W. (Shapiro Wilk) es 0.949.

Figura 93: Distribución no Normalizada de Al

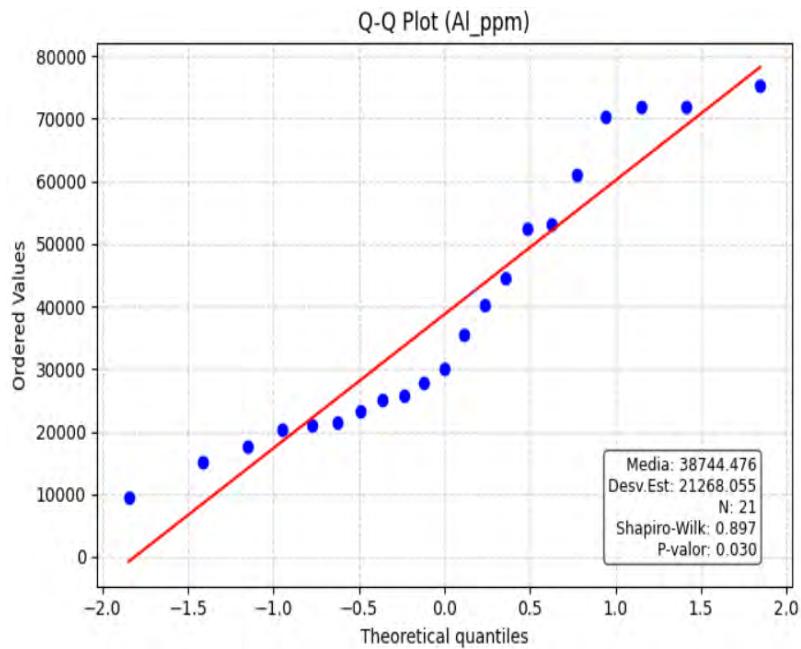
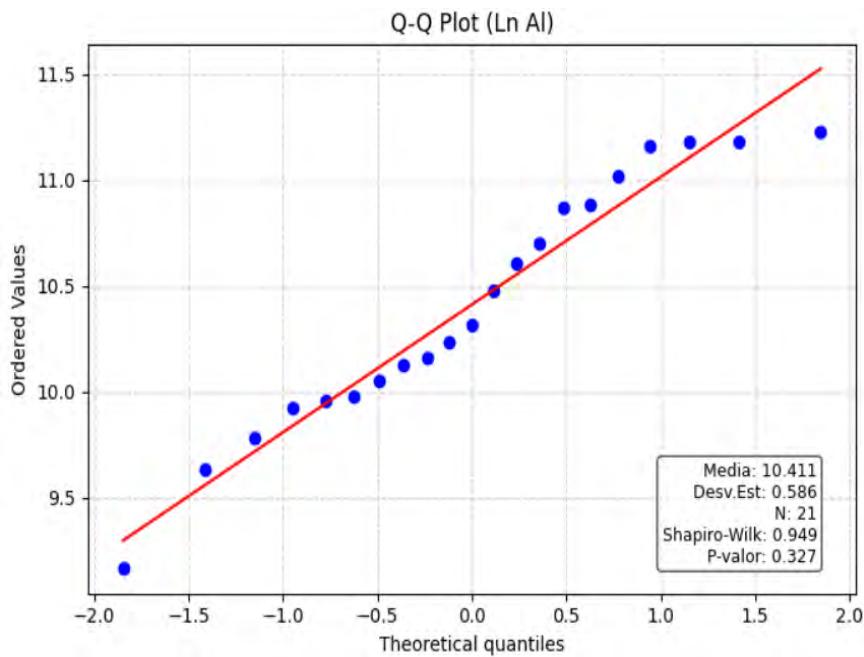


Figura 94: Distribución Normalizada de Al



6.3.1.2 Distribución de los elementos geoquímicos

Se determinará los resultados de los parámetros estadísticos de cada elemento, y se generarán los histogramas de frecuencia junto con los diagramas de caja (Box Plot), con librerías Python.

Distribución del Cobre (Cu).

En el histograma se observa una media de 10.67 y una desviación estándar de 1.21 en un total de 21 resultados, en el boxplot podemos ver que los valores indicando que el 50% central de las muestras se encuentra entre aproximadamente 9.4 y 11.6, con la mediana alrededor de 10.8.

Figura 95: Histograma (Cu)

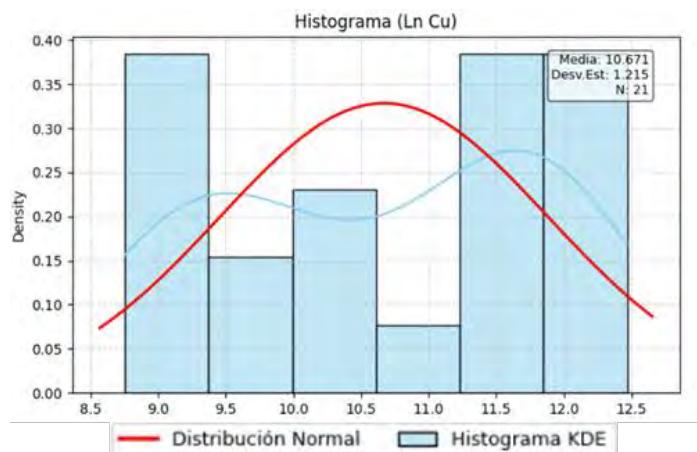
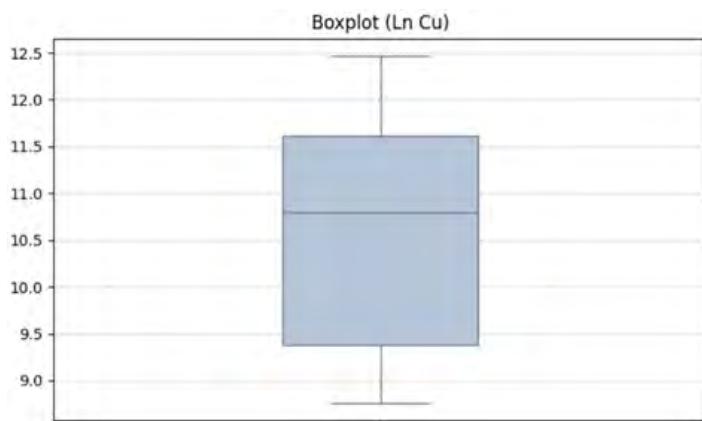


Figura 96: Box Plot (Cu)



Distribución del Zinc (Zn).

En el histograma se observa una media de 8.64 y una desviación estándar de 1.76 en un total de 21 resultados, en el boxplot indica que el 50% central de las muestras se encuentra entre aproximadamente 7.0 y 9.0, con la mediana alrededor de 8.8, con presencia de un valor atípico de 12.5.

Figura 97: Histograma (Zn)

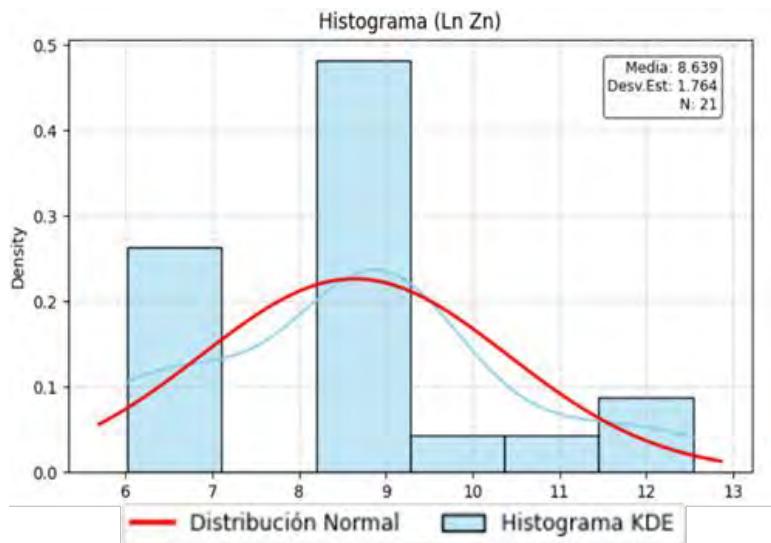
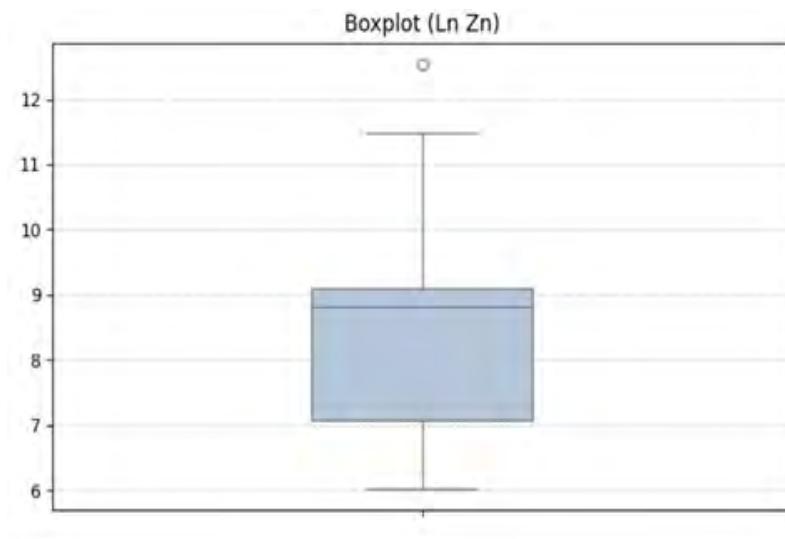


Figura 98: Box Plot (Zn)



Distribución del Arsénico (As).

En el histograma se observa una media de 8.19 y una desviación estándar de 1.24 en un total de 21 resultados, en el boxplot indica que el 50% central de las muestras se encuentra entre aproximadamente 8.0 y 9.0, con la mediana alrededor de 8.5, con presencia de valores atípicos en el rango de 5 a 6.

Figura 99: Histograma (As)

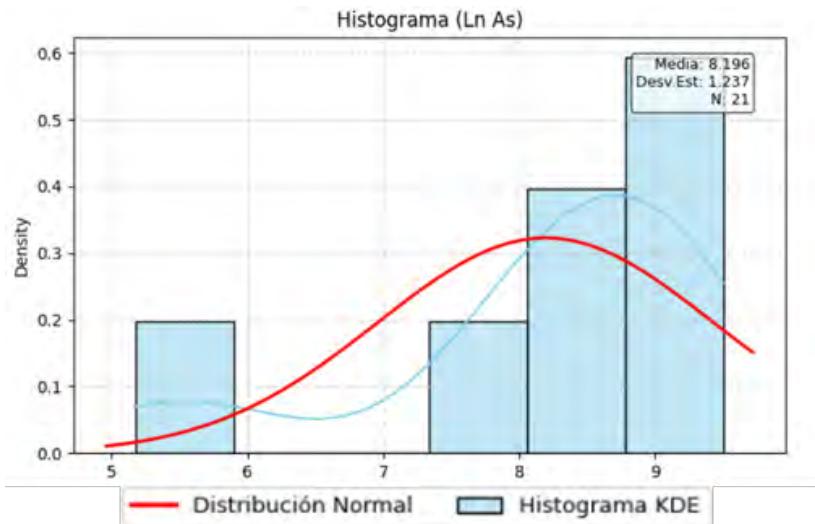
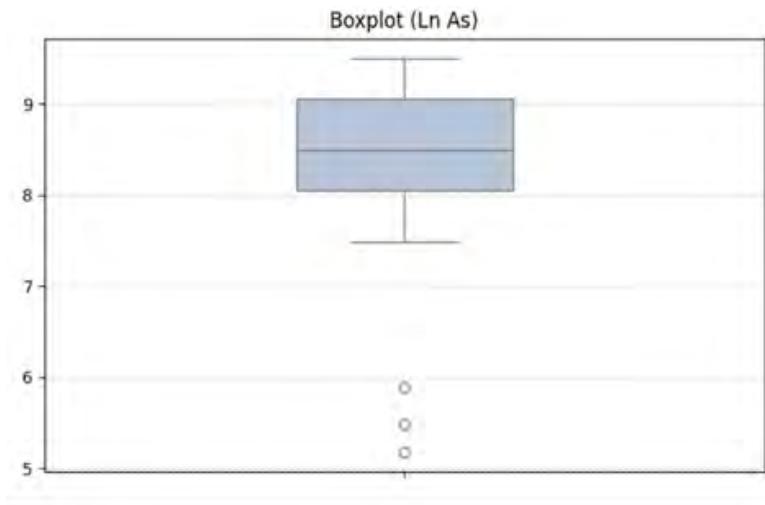


Figura 100: Box Plot (As)



Distribución del Molibdeno (Mo).

En el histograma se observa una media de 3.24 y una desviación estándar de 1.03 en un total de 21 resultados, en el boxplot indica que el 50% central de las muestras se encuentra entre aproximadamente 2.5 y 3.8, con la mediana alrededor de 3.0, con presencia de un valor atípico de 5.9.

Figura 101: Histograma (Mo)

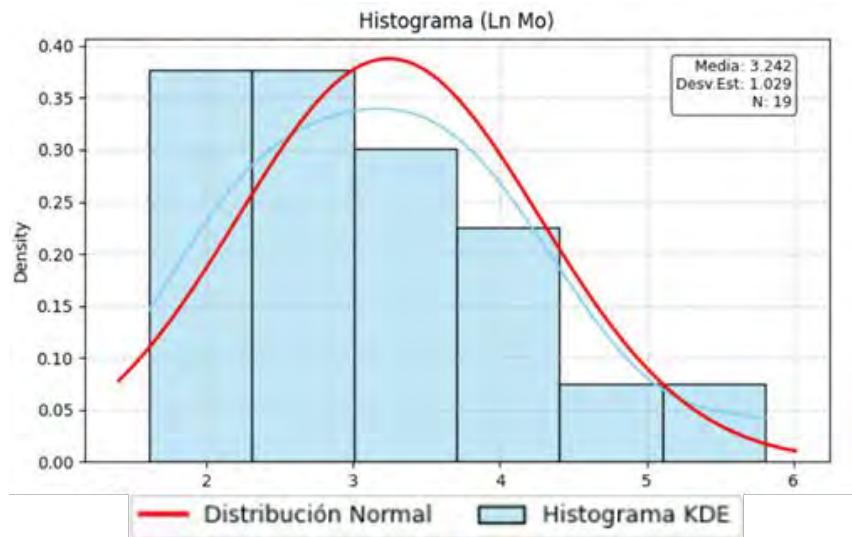
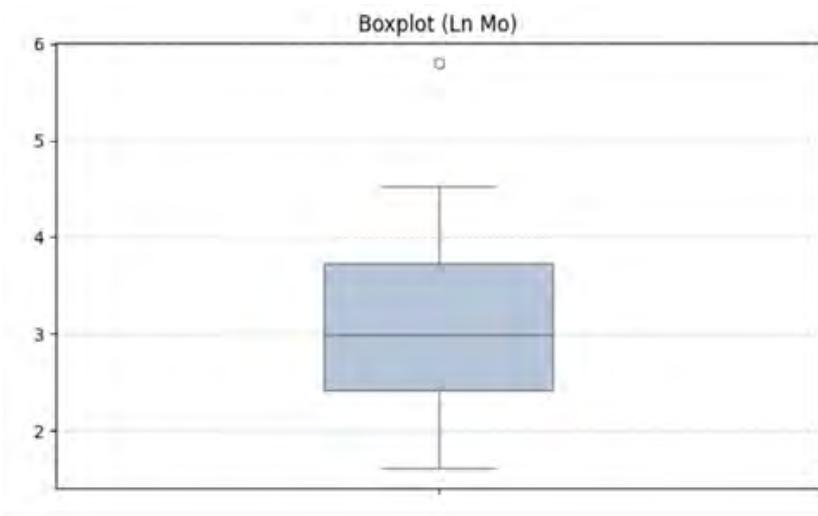


Figura 102: Box Plot (Mo)



Distribución de la Plata (Ag).

En el histograma se observa una media de 3.17 y una desviación estándar de 1.03 en un total de 21 resultados, en el boxplot podemos ver que los valores indicando que el 50% central de las muestras se encuentra entre aproximadamente 2.5 y 3.6, con la mediana alrededor de 3.4

Figura 103: Histograma (Ag)

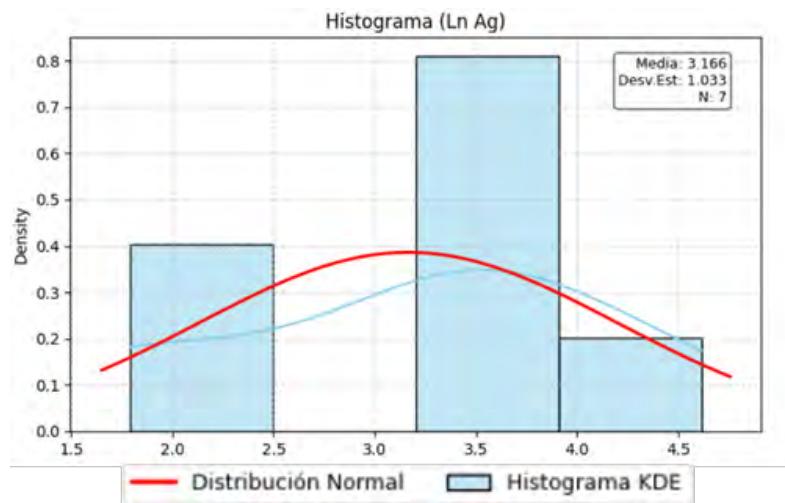
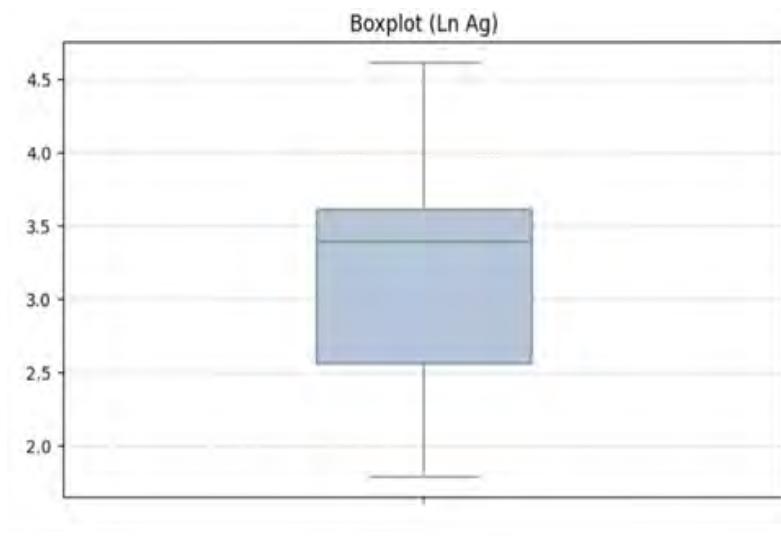


Figura 104: Box Plot (Ag)



Distribución del Oro (Au).

En el histograma se observa una media de 3.97 y una desviación estándar de 0.72 en un total de 21 resultados, en el boxplot indica que el 50% central de las muestras se encuentra entre aproximadamente 3.5 y 4.1, con la mediana alrededor de 3.7, con presencia de un valor atípico de 5.

Figura 105: Histograma (Au)

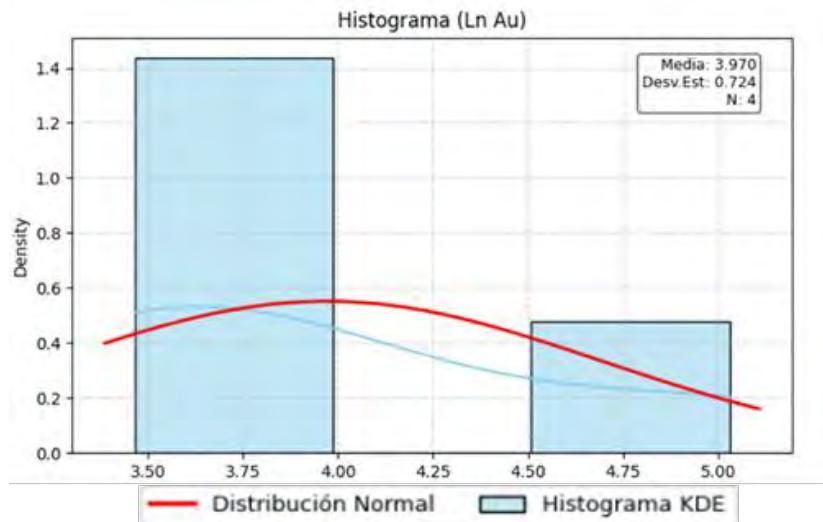
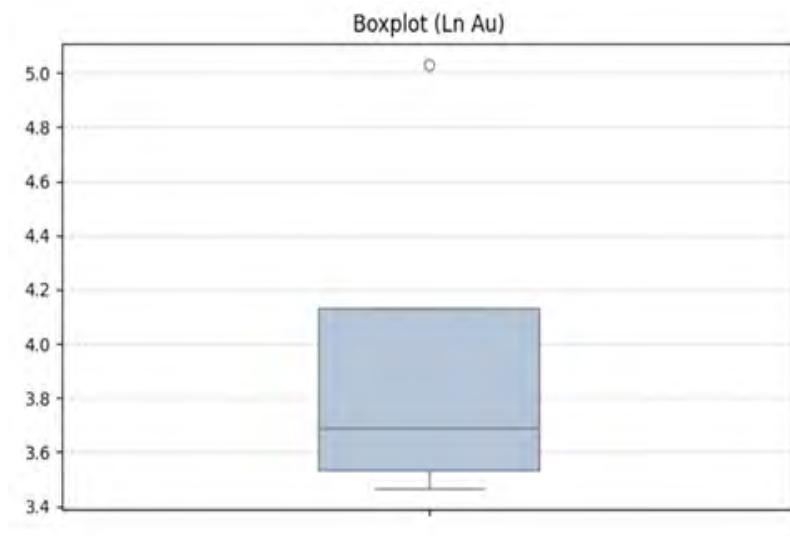


Figura 106: Box Plot (Au)



Distribución del Plomo (Pb).

En el histograma se observa una media de 7.75 y una desviación estándar de 1.90 en un total de 21 resultados, en el boxplot podemos ver que los valores indican que el 50% central de las muestras se encuentra entre aproximadamente 6.0 y 9.1 con la mediana alrededor de 8.0

Figura 107: Histograma (Pb)

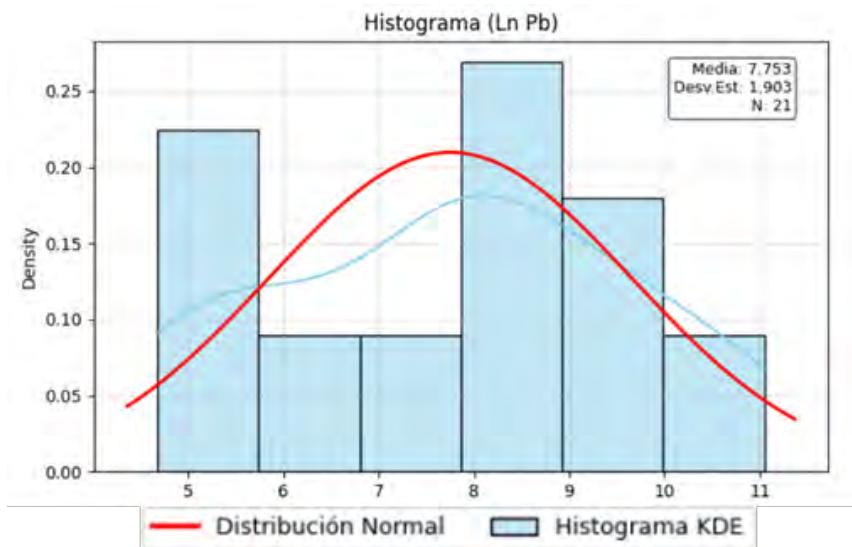
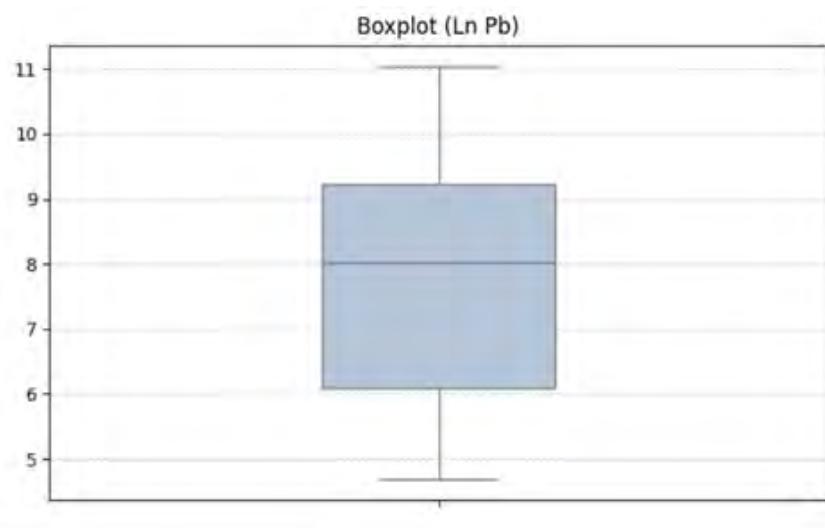


Figura 108: Box Plot (Pb)



Distribución del Hierro (Fe).

En el histograma se observa una media de 10.88 y una desviación estándar de 0.50 en un total de 21 resultados, en el boxplot indica que el 50% central de las muestras se encuentra entre aproximadamente 10.70 y 11.20, con la mediana alrededor de 10.90, con presencia de un valor atípico de 9.5.

Figura 109: Histograma (Fe)

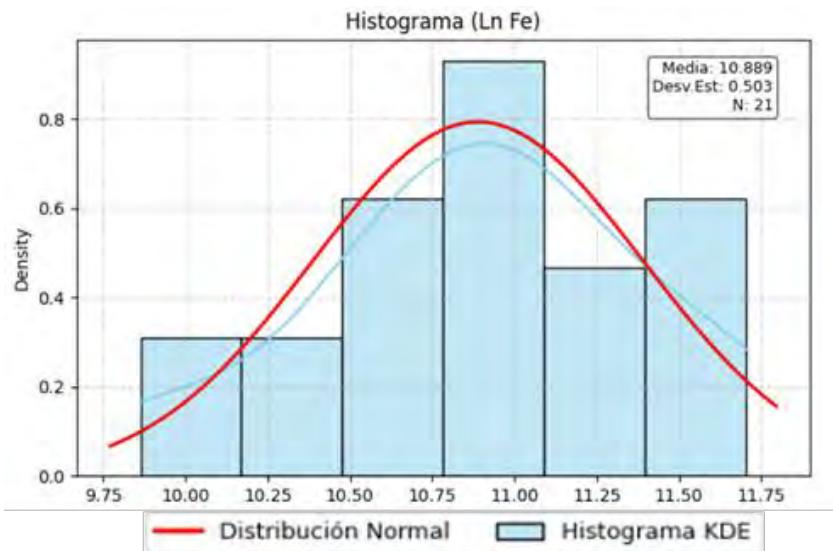
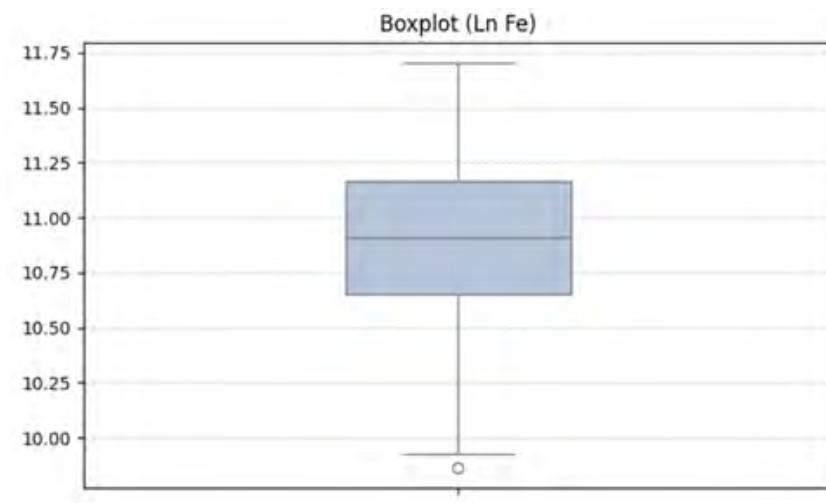


Figura 110: Box Plot (Fe)



Distribución del Azufre (S).

En el histograma se observa una media de 7.83 y una desviación estándar de 1.25 en un total de 21 resultados, en el boxplot podemos ver que los valores indican que el 50% central de las muestras se encuentra entre aproximadamente 7.0 y 8.5 con la mediana alrededor de 7.9

Figura 111: Histograma (S)

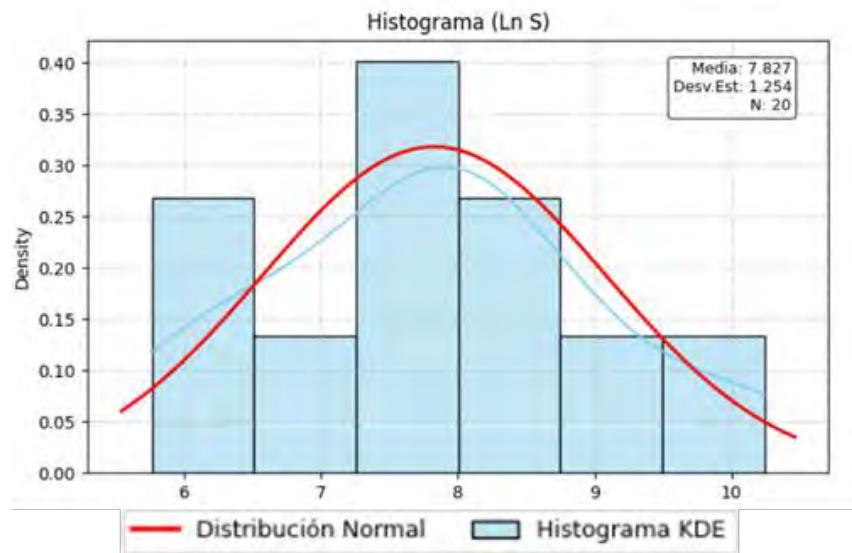
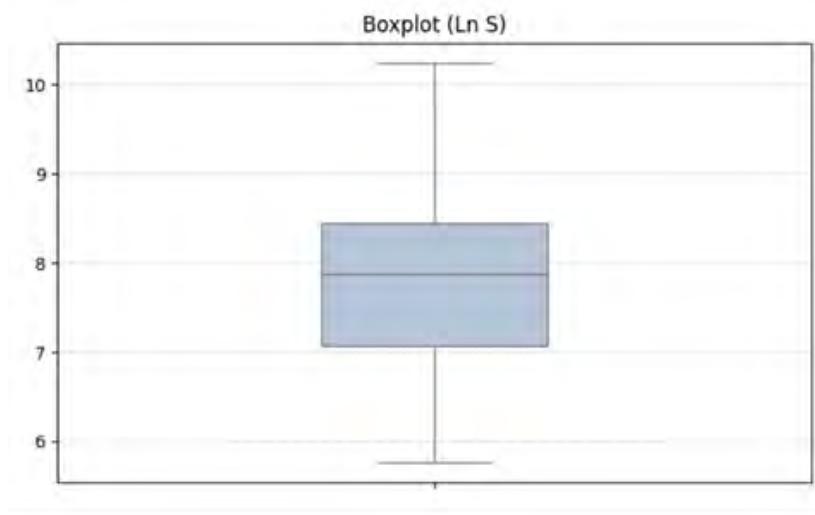


Figura 112: Box Plot (S)



Distribución del Silicio (Si).

En el histograma se observa una media de 11.77 y una desviación estándar de 0.29 en un total de 21 resultados, en el boxplot podemos ver que los valores indican que el 50% central de las muestras se encuentra entre aproximadamente 11.6 y 12.0 con la mediana alrededor de 11.9

Figura 113: Histograma (Si)

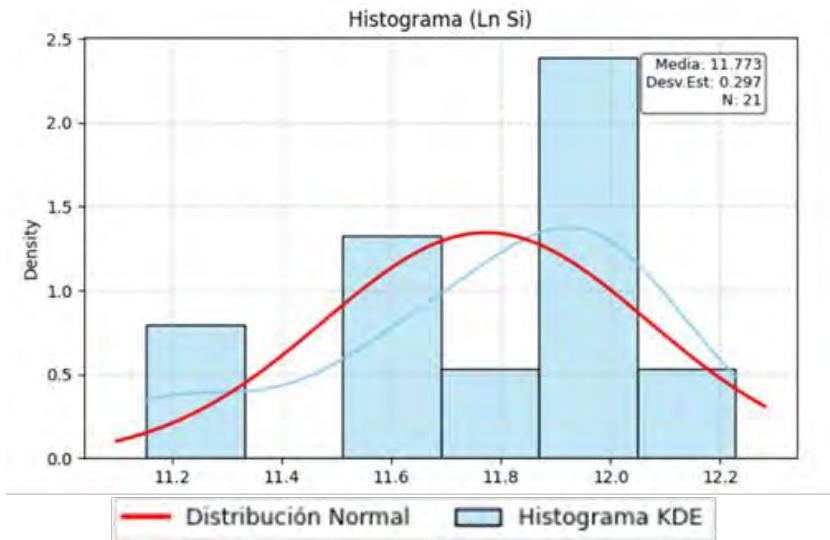
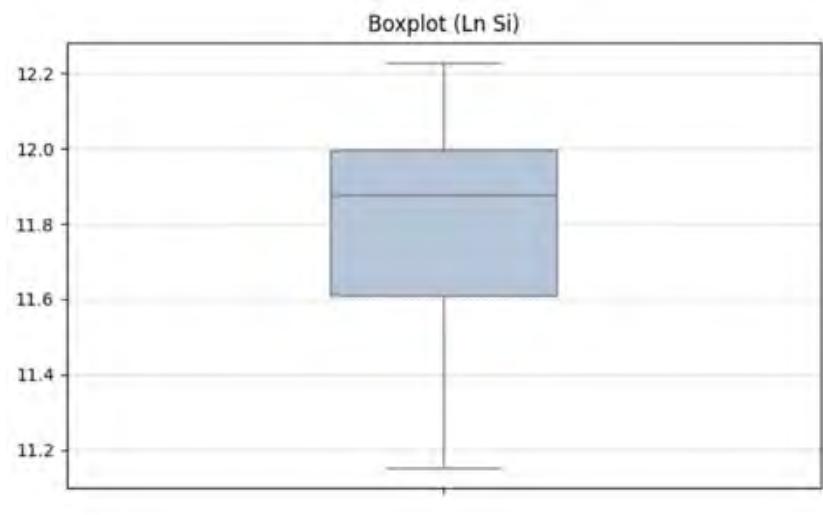


Figura 114: Box Plot (Si)



Distribución del Potasio (K).

En el histograma se observa una media de 8.19 y una desviación estándar de 0.81 en un total de 21 resultados, en el boxplot podemos ver que los valores indican que el 50% central de las muestras se encuentra entre aproximadamente 7.75 y 8.75 con la mediana alrededor de 8.25

Figura 115: Histograma (K)

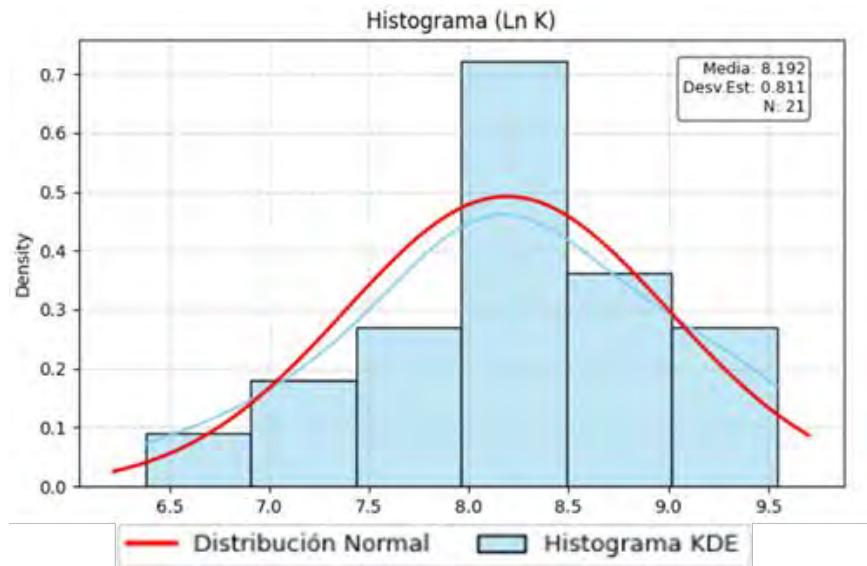
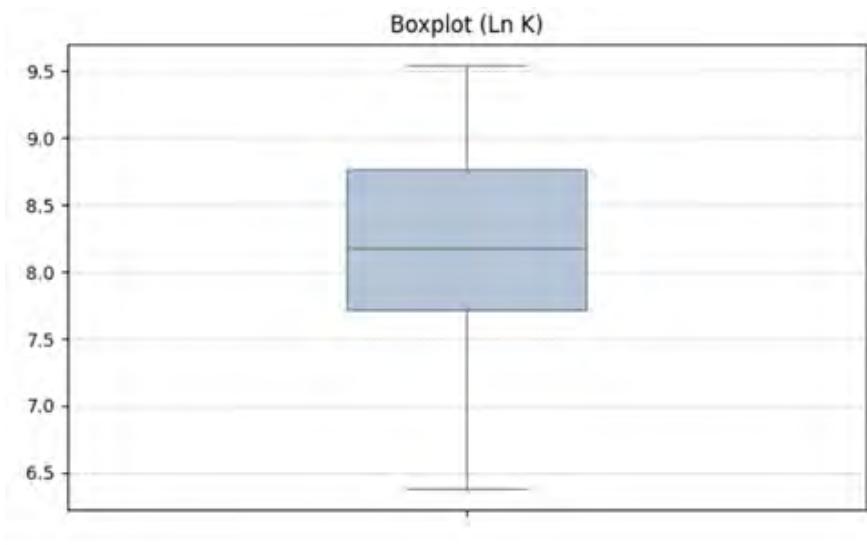


Figura 116: Box Plot (K)



Distribución del Calcio (Ca).

En el histograma se observa una media de 8.50 y una desviación estándar de 0.99 en un total de 21 resultados, en el boxplot indica que el 50% central de las muestras se encuentra entre aproximadamente 8.0 y 8.8, con la mediana alrededor de 8.5, con presencia de valores atípicos en la parte superior en rango de 9.9 a 11 y valores atípicos en la parte inferior de 6.9.

Figura 117: Histograma (Ca)

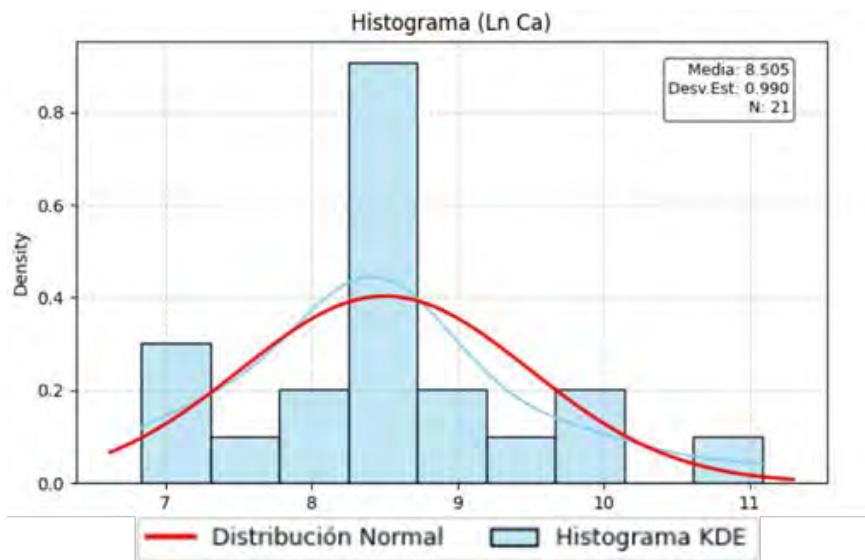
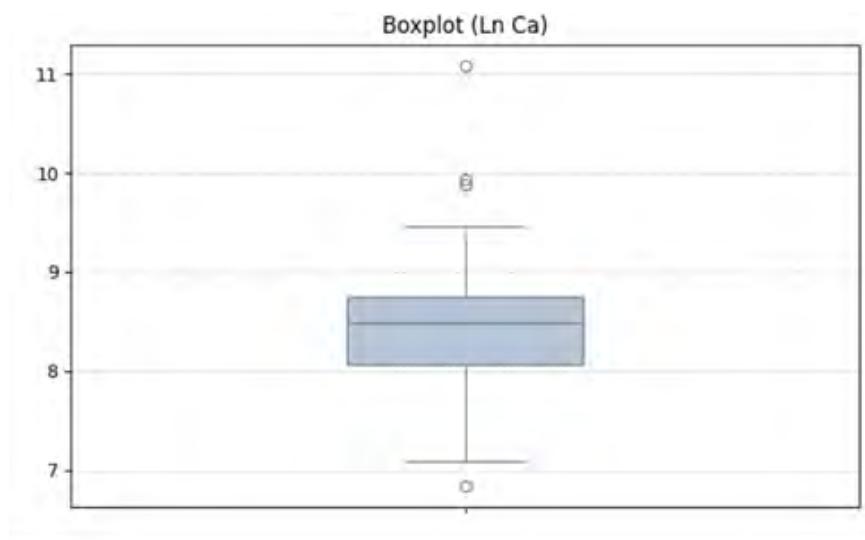


Figura 118: Box Plot (Ca)



Distribución del Aluminio (Al).

En el histograma se observa una media de 10.41 y una desviación estándar de 0.58 en un total de 21 resultados, en el boxplot podemos ver que los valores indican que el 50% central de las muestras se encuentra entre aproximadamente 10.0 y 10.9 con la mediana alrededor de 10.25

Figura 119: Histograma (Al)

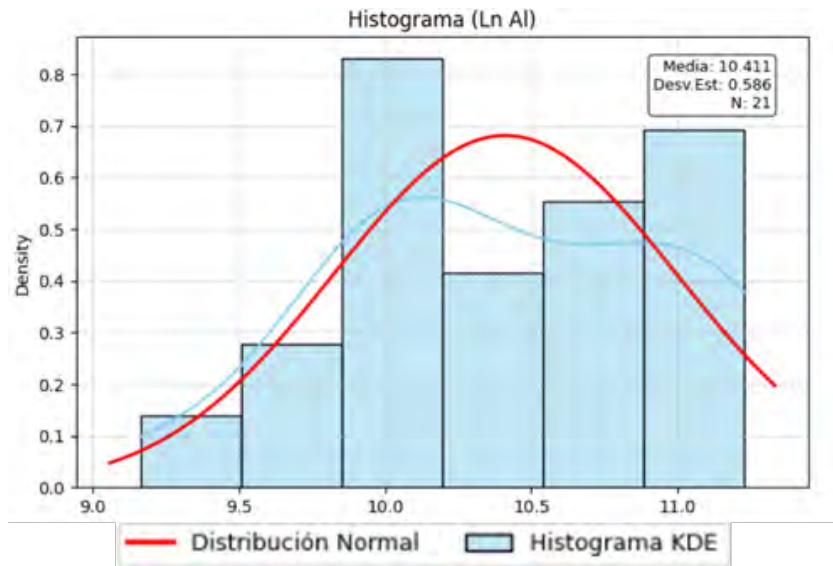
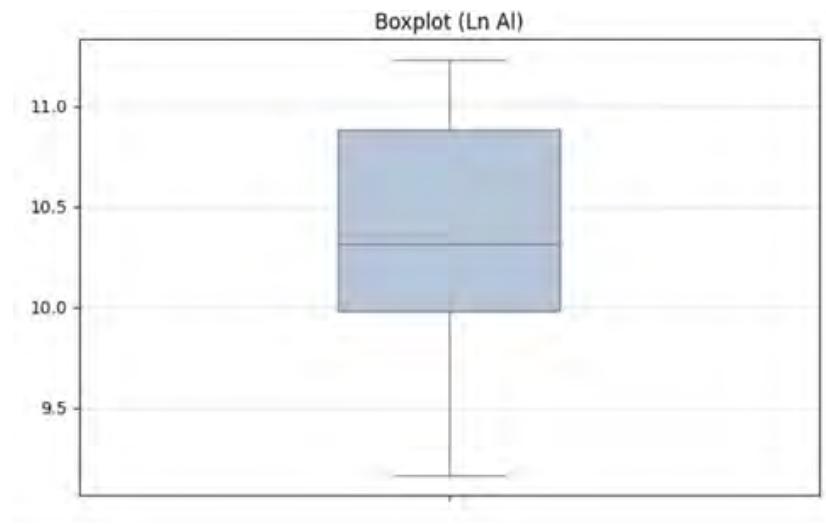


Figura 120: Box Plot (Al)



Distribución del Manganeso (Mn).

En el histograma se observa una media de 7.60 y una desviación estándar de 1.27 en un total de 21 resultados, en el boxplot indica que el 50% central de las muestras se encuentra entre aproximadamente 7.2 y 8.2, con la mediana alrededor de 7.6, con presencia de valores atípicos en la parte superior de 10.0 y valores atípicos en la parte inferior en un rango de 5 a 5.5

Figura 121: Histograma (Mn)

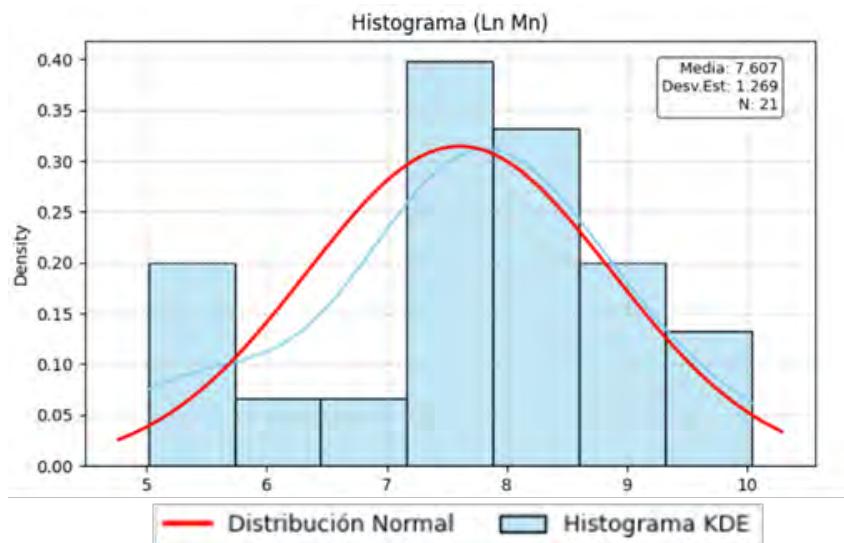
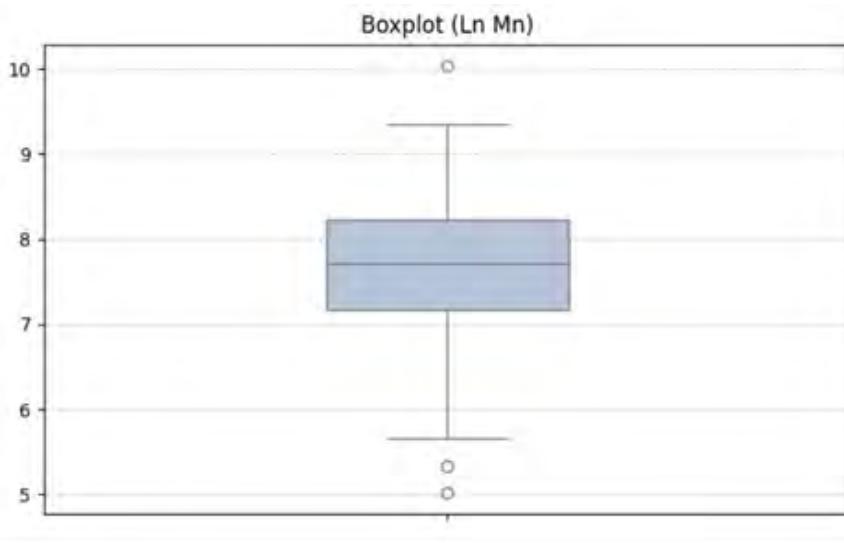


Figura 122: Box Plot (Mn)



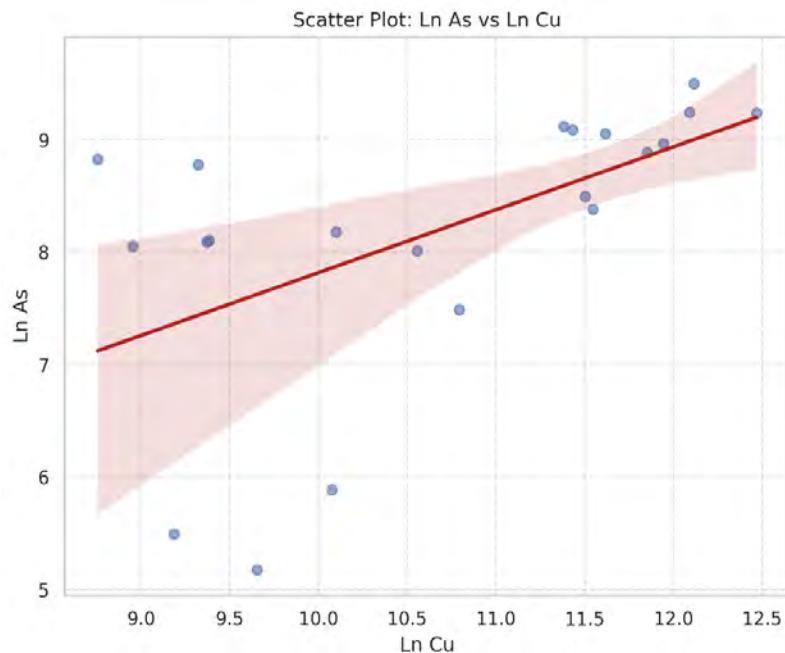
6.3.2 Estadística Bivariadas

Se aplicó un análisis bivariado mediante la elaboración de gráficas de dispersión entre pares de elementos, con el objetivo de evaluar si presentan una correlación directa, indirecta o mala correlación.

Cu respecto a As

El diagrama de dispersión de Cu y As evidencia una relación directa entre ambos elementos, con una fuerza fuerte a moderada.

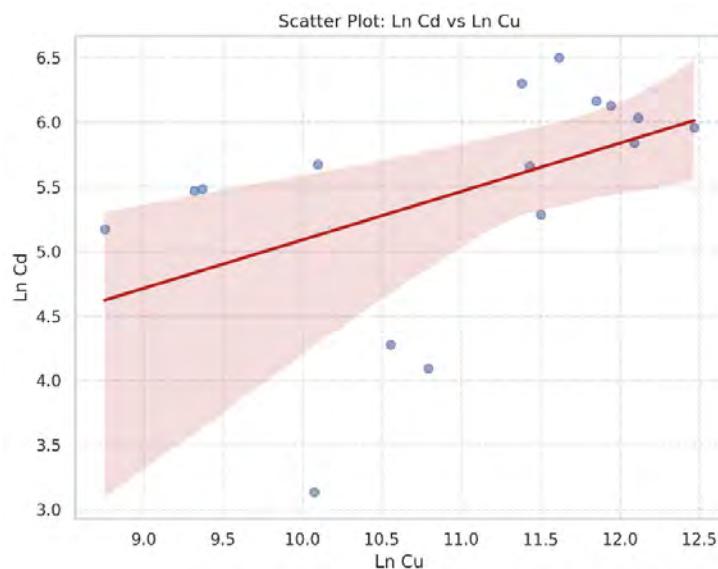
Figura 123: Grafica de dispersión entre As y Cu



Cu respecto a Cd

La representación gráfica de Cu frente a Cd indica que ambos presentan una correlación directa, con fuerza de moderada a fuerte.

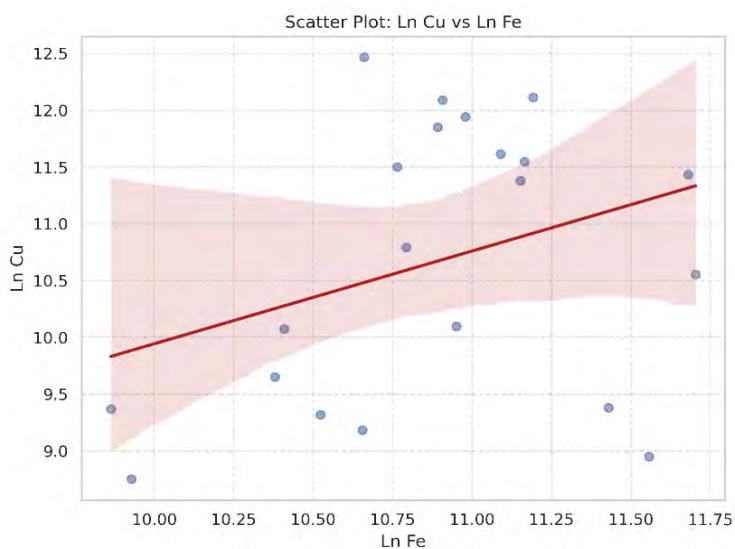
Figura 124: Grafica de dispersión entre Cu y Cd



Cu respecto a Fe

La comparación mediante gráfica de dispersión de Cu y Fe revela una interrelación positiva entre los elementos, con fuerza de moderada a débil.

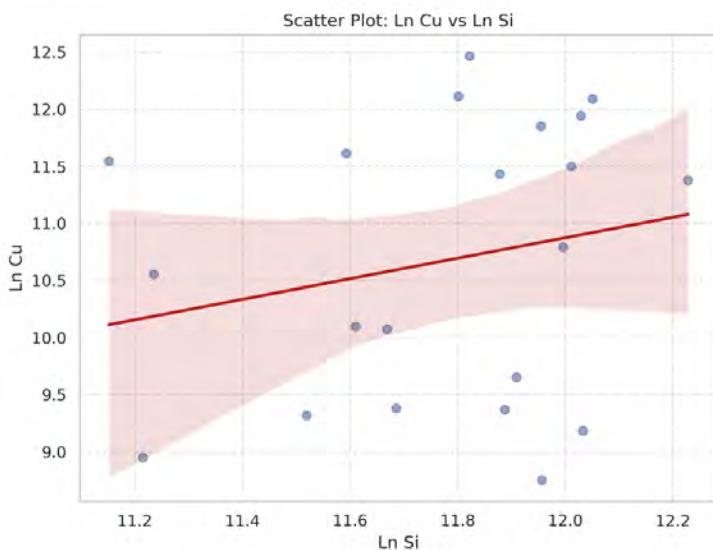
Figura 125: Grafica de dispersión entre Cu y Fe



Cu respecto a Si

El análisis gráfico de Cu y Si permite observar que ambos presentan una correlación indirecta positiva, con fuerza débil.

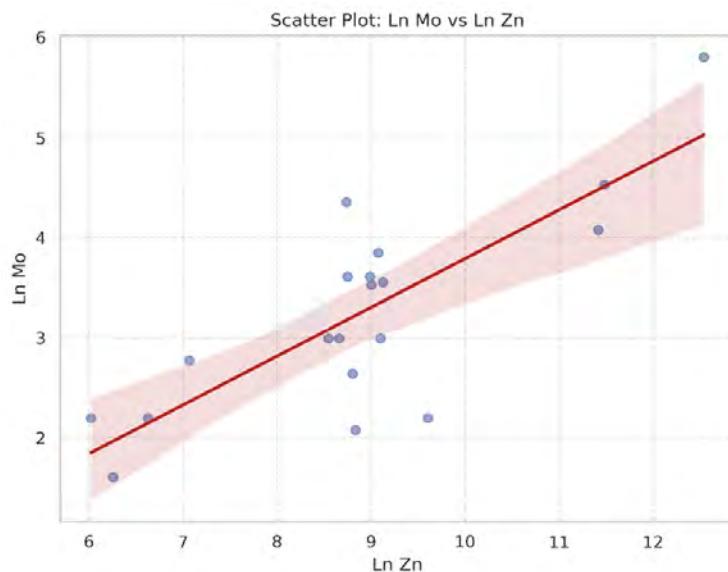
Figura 126: Grafica de dispersión entre Cu y Si



Zn respecto a Mo

La comparación mediante gráfica de dispersión de Zn y Mo revela una interrelación indirectamente positiva, con fuerza de moderada a fuerte.

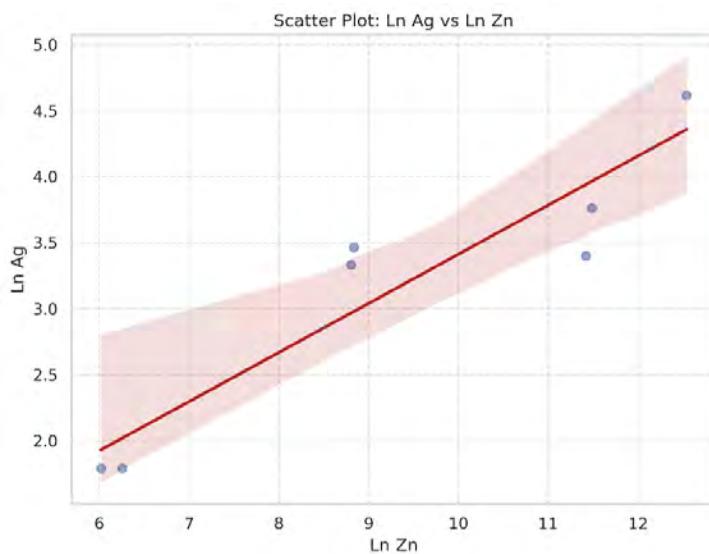
Figura 127: Grafica de dispersión entre Zn y Mo



Zn respecto a Ag

La gráfica de dispersión de Zn y Ag muestra que existe una correlación directa positiva entre ambos elementos, con fuerza fuerte.

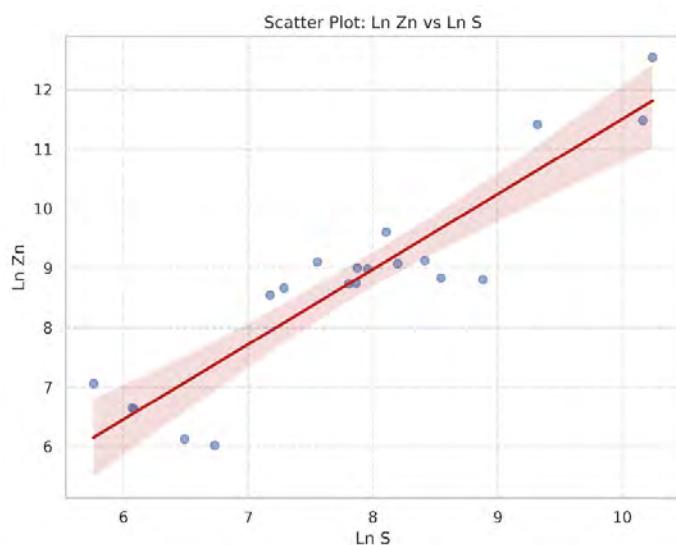
Figura 128: Grafica de dispersión entre Zn y Ag



Zn respecto a S

El análisis gráfico de Zn y S permite observar que ambos presentan una correlación directa positiva, con fuerza fuerte.

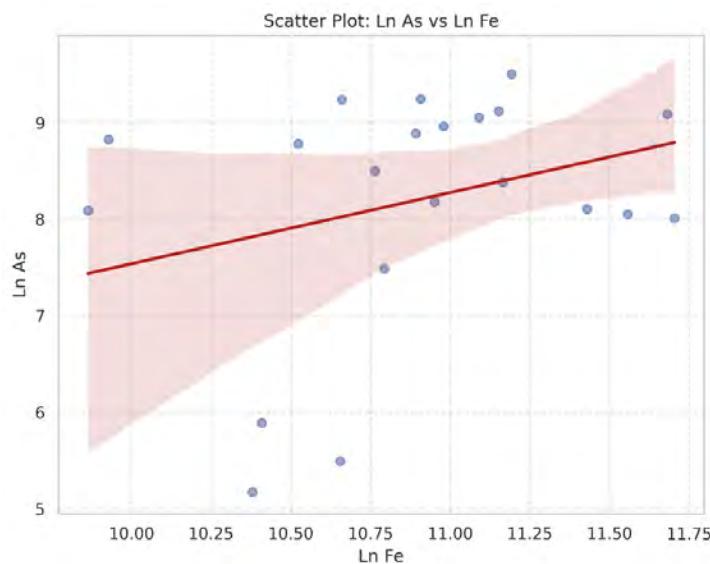
Figura 129: Grafica de dispersión entre Zn y S



Fe respecto a As

La representación gráfica de Fe frente a As indica la presencia de una correlación directa positiva, con fuerza débil.

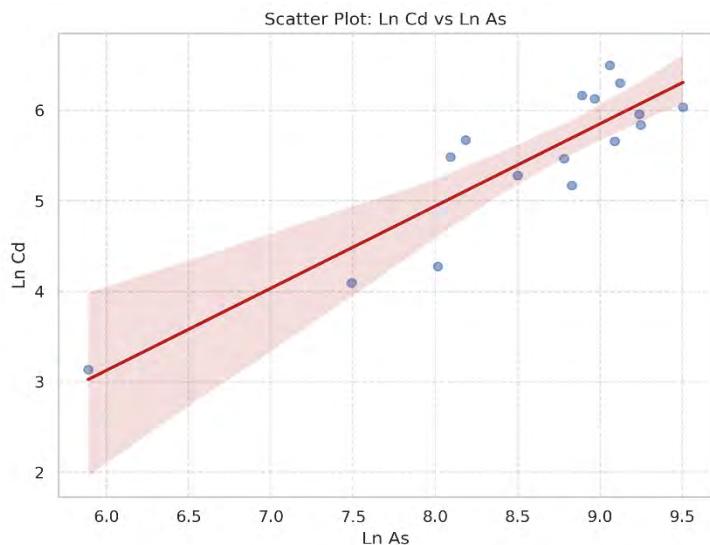
Figura 130: Grafica de dispersión entre Fe y As



Cd respecto a As

La comparación mediante gráfica de dispersión de Cd y As revela una interrelación directamente positiva entre los elementos, con fuerza fuerte.

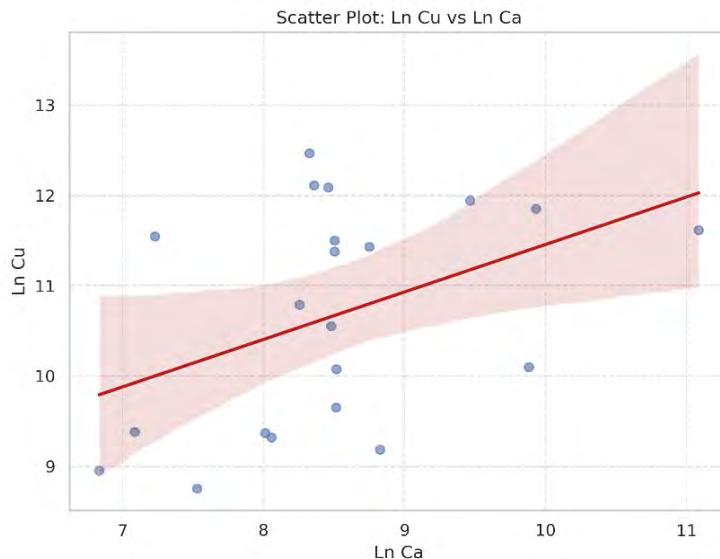
Figura 131: Grafica de dispersión entre Cd y As



Cu respecto a Ca

La representación gráfica de Cu frente a Ca indica la presencia de una correlación indirecta, con fuerza débil a moderada.

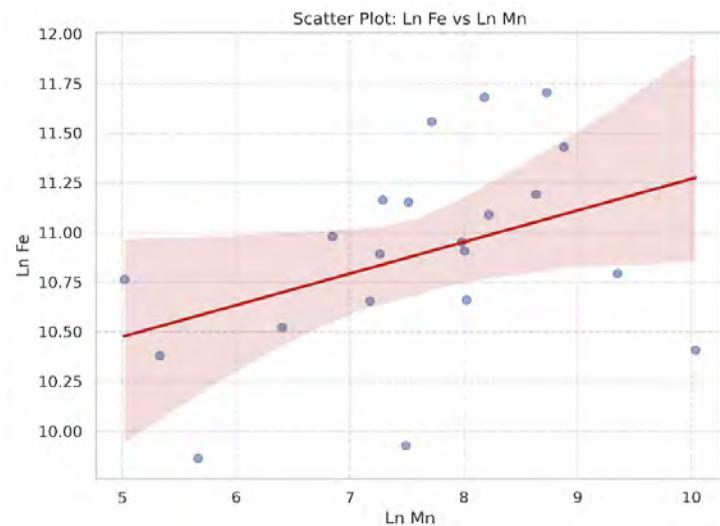
Figura 132: Grafica de dispersión entre Cu y Ca



Fe respecto a Mn

El análisis gráfico de Fe y Mn permite observar que los elementos presentan una correlación directa positiva, con fuerza moderada a débil.

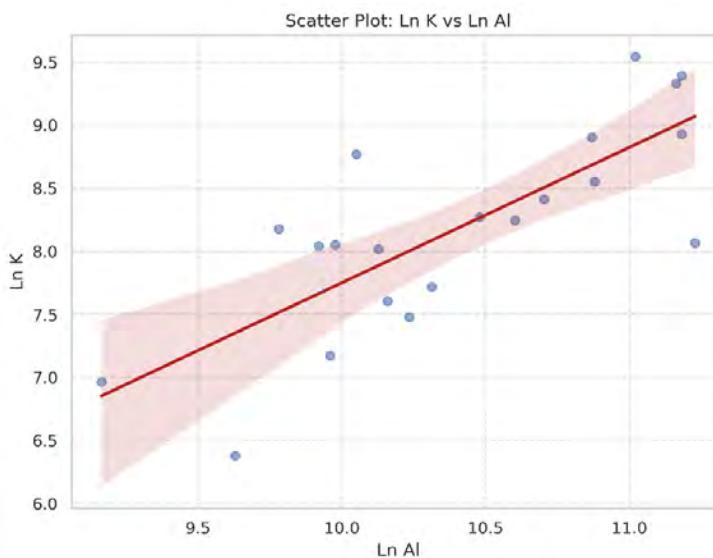
Figura 133: Grafica de dispersión entre Fe y Mn



K respecto a Al

El análisis gráfico de K y Al permite observar que los elementos presentan una correlación directa positiva, con fuerza fuerte.

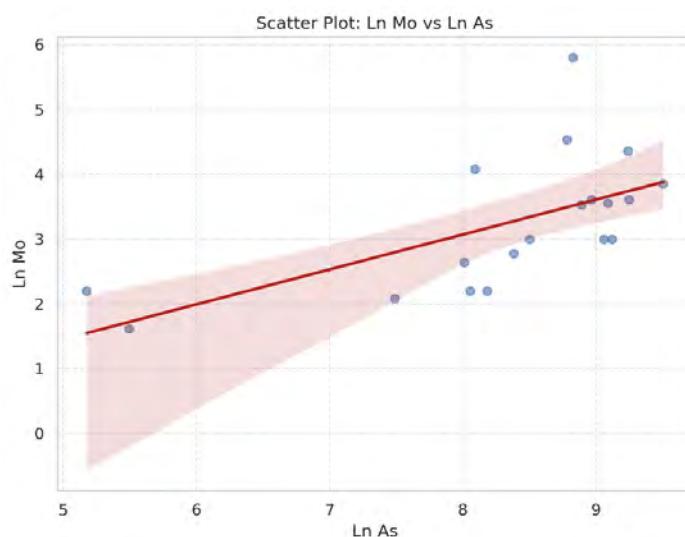
Figura 134: Grafica de dispersión entre K y Al



Mo respecto a As

La comparación mediante gráfica de dispersión de Mo y As revela una interrelación indirectamente positiva, con fuerza moderada a débil.

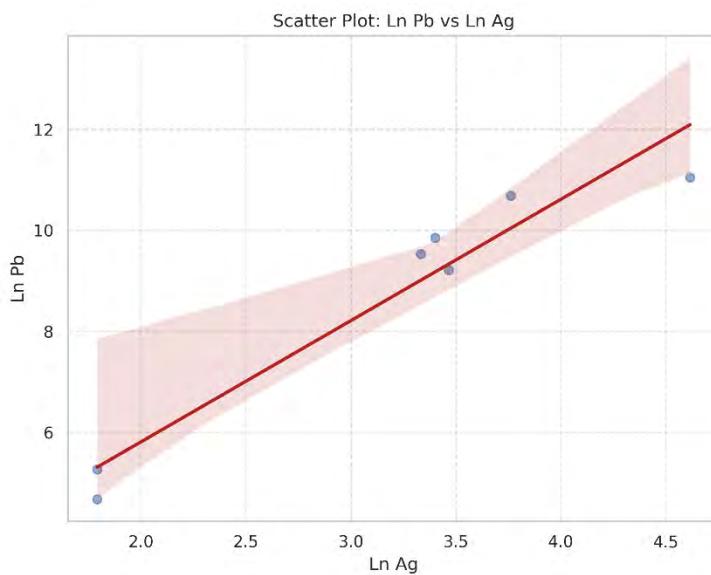
Figura 135: Grafica de dispersión entre Mo y As



Pb respecto a Ag

El análisis gráfico de Pb y Ag permite observar que los elementos presentan una correlación directa positiva, con fuerza muy fuerte.

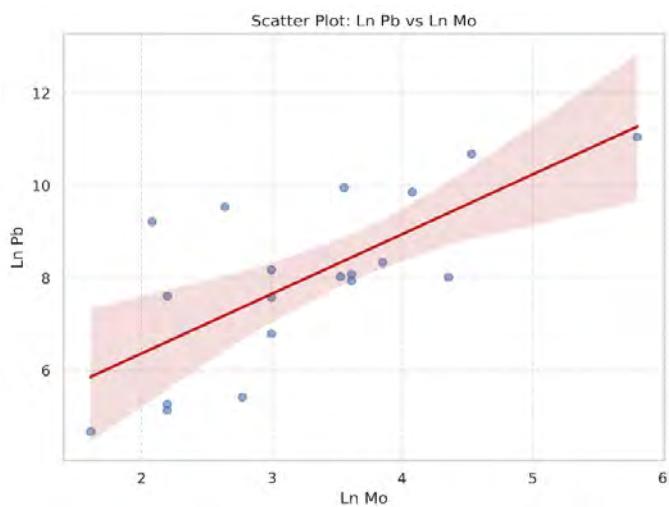
Figura 136: Grafica de dispersión entre Pb y Ag



Pb respecto a Mo

La comparación mediante gráfica de dispersión de Pb y Mo revela una interrelación indirectamente positiva, con fuerza moderada.

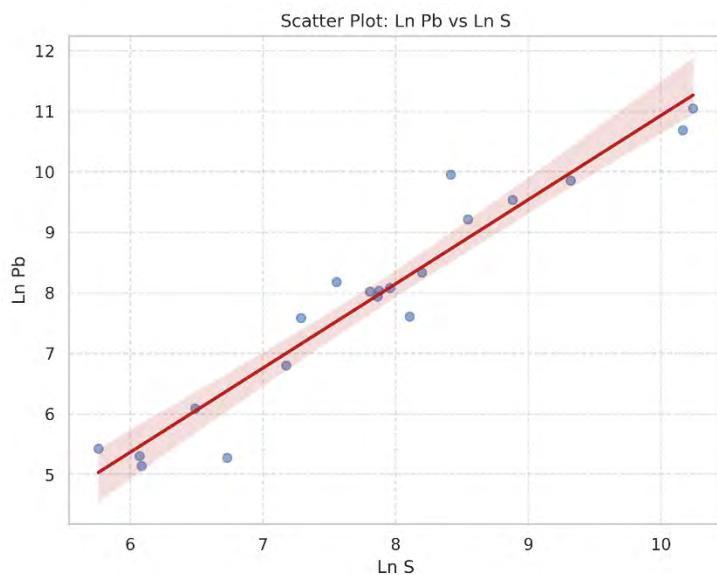
Figura 137: Grafica de dispersión entre Pb y Mo



Pb respecto a S

El análisis gráfico de Pb y S permite observar que existe una correlación directa positiva, con intensidad muy fuerte.

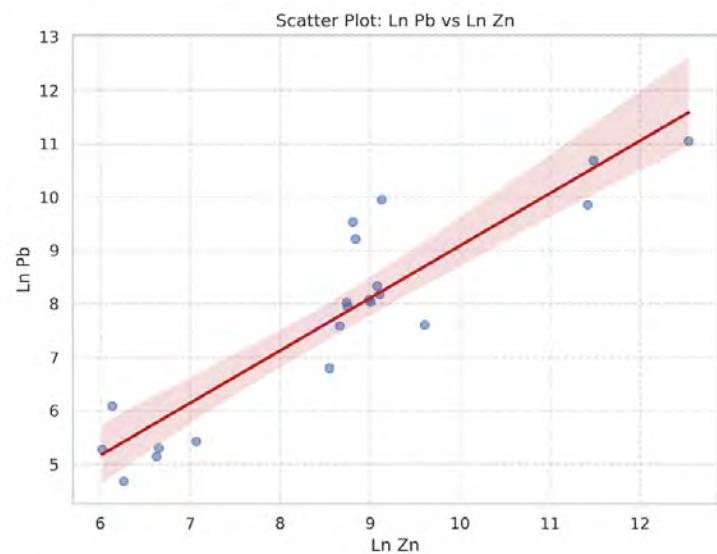
Figura 138: Grafica de dispersión entre Pb y S



Pb respecto a Zn

La representación gráfica de Pb frente a Zn muestra la presencia de una correlación directa positiva, de intensidad fuerte.

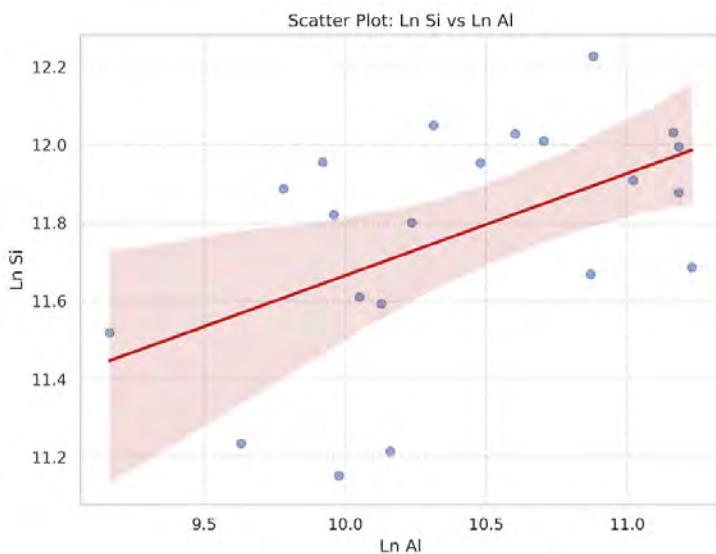
Figura 139: Grafica de dispersión entre Pb y Zn



Si respecto a Al

El diagrama de dispersión entre los elementos de Si y Al, presenta una correlación indirecta positiva, con fuerza moderada.

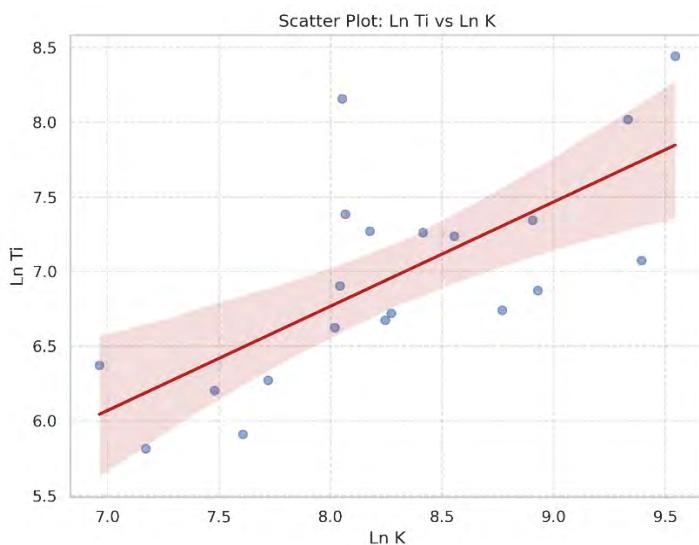
Figura 140: Grafica de dispersión entre Si y Al



Ti respecto a K

La comparación mediante gráfica de dispersión de Ti y K, revela una correlación directa positiva, con fuerza fuerte.

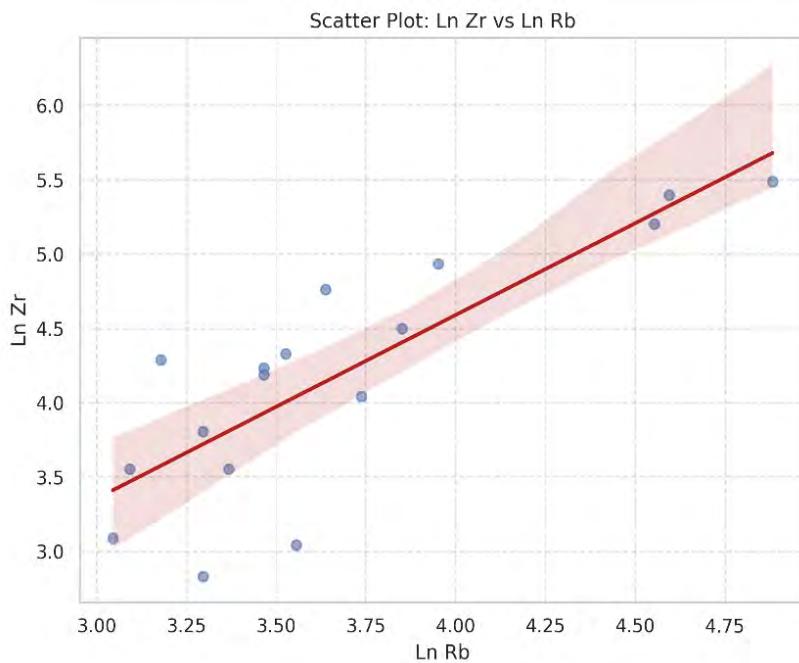
Figura 141: Grafica de dispersión entre Ti y K



Zr respecto a Rb

El diagrama de dispersión entre Zr y Rb evidencia una relación directamente positiva, de fuerza fuerte.

Figura 142: Grafica de dispersión entre Zn y Rb



6.3.2 Estadística multivariable.

En el siguiente análisis se realizó en estructuras y roca caja, la ver las diferencias de correlación entre los diferentes tipos de roca.

ESTRUCTURAS

Correlación de Pearson

Se observa (figura 143) el análisis multivariado para examinar el comportamiento y correlación entre todos los elementos, el análisis se realizó con librerías Python. Usamos el método de correlación de Pearson, considerando que, según Mestas (2019), este método es más adecuado que Sperman cuando los datos se encuentran normalizados y se buscan resultados confiables.

Del análisis se identificaron:

Tabla 15: Rangos de correlación de elementos.

Rangos de correlación de elementos.	
>0.9	Muy buena Correlación
0.75 - 0.9	Buena correlación
0.50 - 0.75	Moderada correlación
0.25 - 0.50	Mala correlación
0-0.25	Muy mala Correlación

- Una muy buena correlación entre: Zn – Ag, Mo – Zn, Pb – S, Zn – Pb, Ag – Pb, Rb – Zr, Co – Ca,
- Una buena correlación entre: Cu – As, Zn – S, Ag – S, Mo – S, Rb – K, Mn – Hg, Cd – As, Mo – Pb.
- Una moderada correlación entre: Cu – Cd, Sb – As, Sb – Au, K- Al, Al – Rb, Si – Sr, Al – Zr, Cd – Ca, S – Sn, Ce – Mn, Ni – S, Zn – Cr, Cd – Co, Zn – Sn, Ba – Zr, Mo – Sn, Ag – Sn, Sb – Cd, Pb – Sn, Ni – Cr, Ba – K.

Figura 143: Correlación de Pearson mayores a 0.5

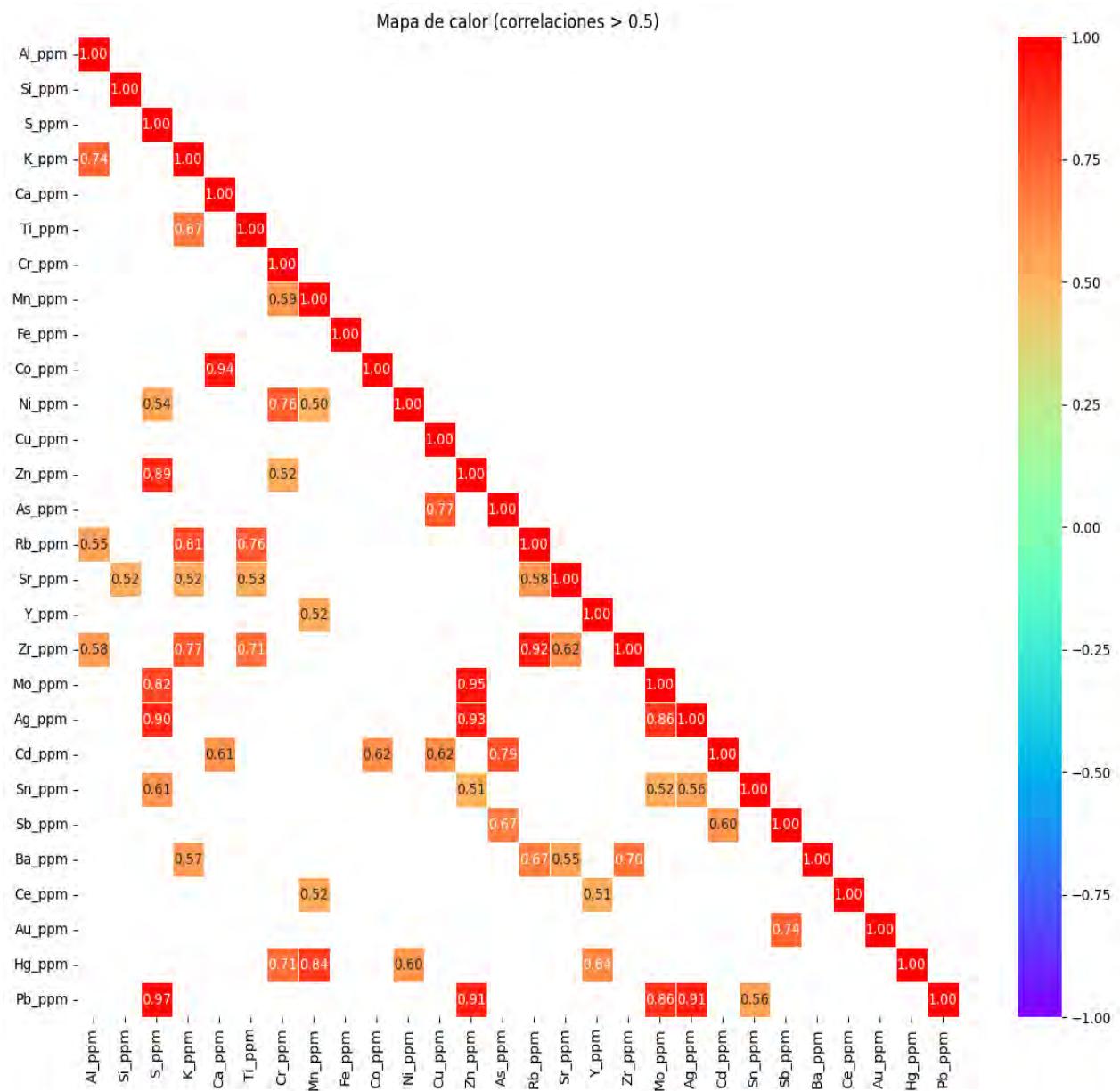
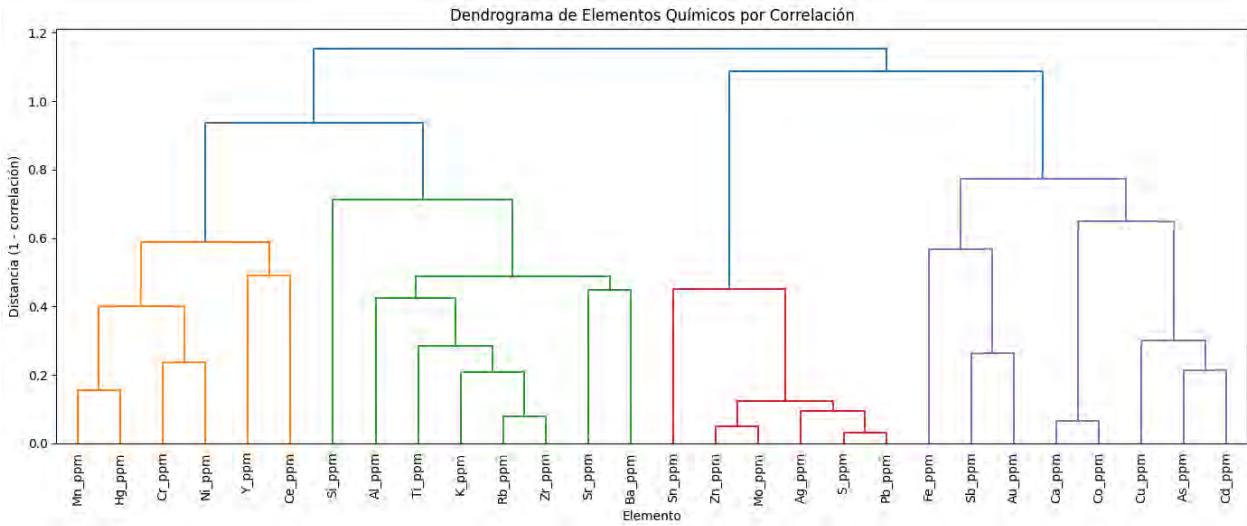


Figura 144: Dendrograma de elementos químicos por correlación



a) Clúster 1 (Naranja): Mn, Hg, Cr, Ni, Y, Ce:

Si observamos Mn, Ni, y Cr, nos muestra evidencia de ambientes asociados a rocas máficas o ultramáficas (peridotitas, dunitas, y serpentinitas.), como también nos indica procesos hidrotermales de baja temperatura el cual removería los elementos preexistentes de la roca

En cuanto Ce y Y nos indica procesos de magmatismo o alteraciones en la roca, mientras que el Hg es un tanto interesante porque podría ser por asociación de epitermales, de ambientes volcánico sedimentario o hidrotermales de baja temperatura de rocas máficas.

b) Clúster 2 (Verde): Si, Al, Ti, K, Rb, Zr, Sr, Ba

Si observamos Al, K, Rb y Sr, nos muestra evidencia de constituyentes comunes de feldespatos y micas, en cuanto al Ti y Zr se consideran elementos inmóviles, asociados a minerales pesados resistentes (circón y rutilo) y por último el Ba, se asocia a feldespatos (baritina de sistemas hidrotermales)

Este clúster es característico de elementos formadores de roca y de gran afinidad lito geoquímica, especialmente de rocas félsicas y rocas sedimentarias clásticas, por lo tanto, pueden ser indicadores de procesos, zonas de alteración y composición original de la roca.

Un descenso en esta correlación o correlación negativa indicaría destrucción de la roca original por alteración.

c) Clúster 3 (Rojo): Zn, Mo, Ag, S, Fe, Pb

Si observamos Zn, Pb y Ag nos muestra evidencia asociada con galena y esfalerita, minerales muy comunes en yacimientos hidrotermales, y con asociación de Ag nos evidencia vetas polimetálicas y sistemas epitermales

En cuanto al Mo se presenta más en sistemas porfídicos y en algunos casos epitermales, el S se evidencia como un anión de sulfuros y junto al Fe, se asocia a mineralizaciones económicas o diseminados como por ejemplo Pirlita y pirrotita.

Este grupo es clásico de elementos de sulfuro, indicando fuerte asociación de mineralización tipo polimetálica.

Posibles tipos de Yacimientos

- Yacimientos Polimetálicos de Vetas: Zn-Pb-Ag-Au (si Au está presente).
- Sistemas Epitermales: De baja o intermedia sulfuración, donde Ag y Zn-Pb son comunes.
- Skarns: Zn-Pb-Ag-Cu.
- Yacimientos de Mo Porfídico: Con Zn y Ag como subproductos o asociados a la zona periférica.

d) Clúster 4 (Púrpura): Sb, Au, Ca, Cu, Co, As, Cd

Si observamos Au, Sb y As nos evidencia una combinación clásica de sistemas epitermales (principalmente de baja sulfuración), donde el arsénico y antimonio serían los elementos trazadores del Oro, en cuanto al Cu evidencia presencia de óxidos y sulfuros de cobre, el Cd está asociado típicamente a la esfalerita, como un trazador de Zn, el Ca es indicador de carbonato como parte de la roca huésped o alteración cálcica y el Co se asocia con Ni y Cu en sistemas máficas y ultramáficas, como también en sulfuros hidrotermales

Posibles tipos de Yacimientos

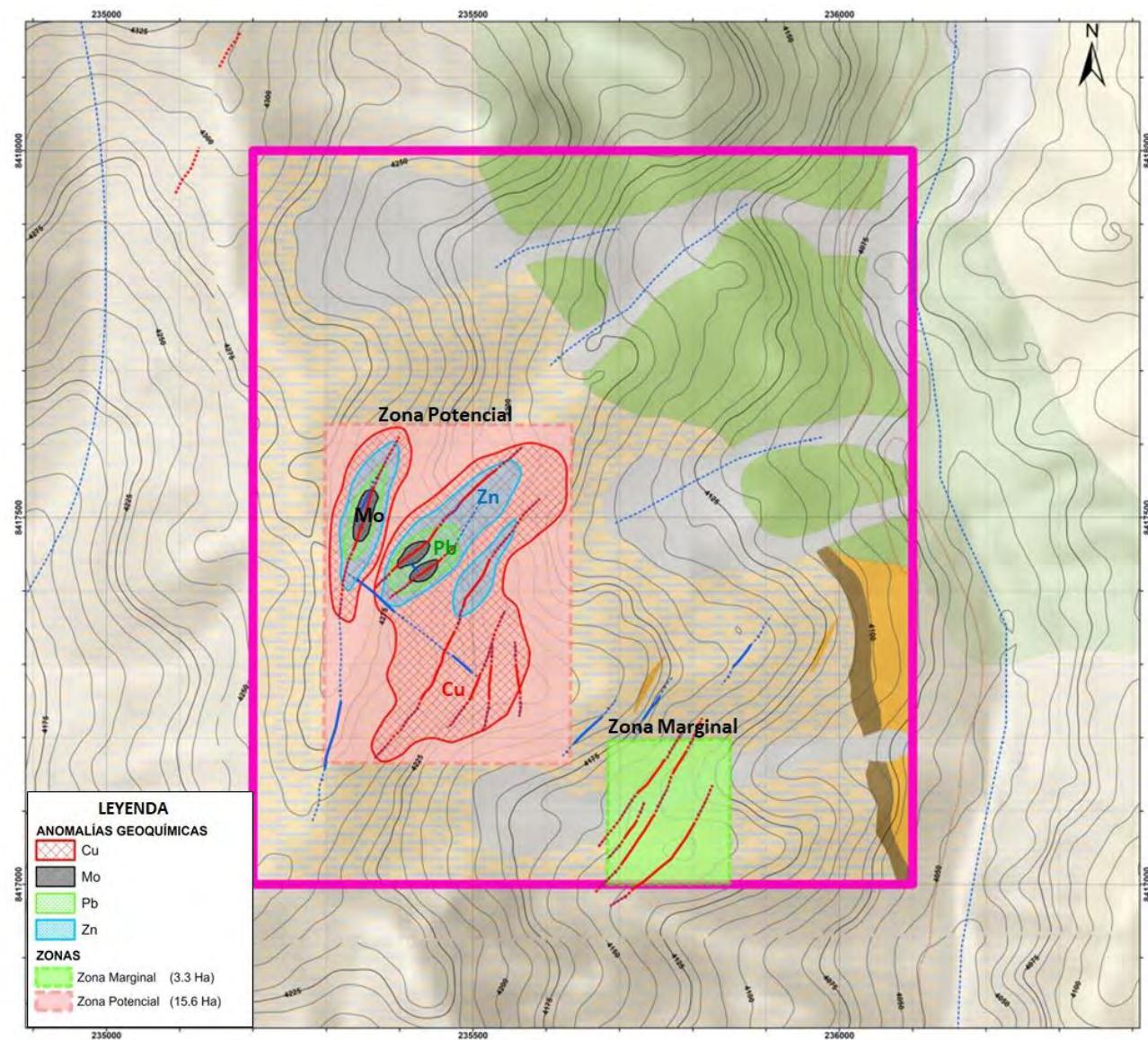
- Yacimientos Epitermales de Baja y/o Intermedia Sulfuración (Au-Ag-Sb-As): Donde el oro es el metal principal.
- Yacimientos de Cobre Porfidico o Skarn de Cu: Donde Cu es el metal principal y puede haber Au, Ag y As como elementos asociados.

CAPITULO VII: RESULTADOS Y DISCUSIONES

7.1 Interpretación geoquímica

En base al análisis geoquímico se pudo interpretar anomalías de elementos que van asociados al cobre reflejados en minerales como la malaquita – crisocola – azurita con una intensidad de moderado a fuerte, acompañados puntualmente por galena - esfalerita en venillas, restringidos a las estructuras de mineralización con dirección NE-SW con potencias entre 0.5 m a 2m en la Zona Potencial (15.6 Ha), presentando valores altos en contenido de Cu (9.6%), Mo, Pb y Zn principalmente, confirmando la presencia de fluidos hidrotermales emplazados en vetas polimetálicas en un ambiente estructural favorable (fallas normal dextral con dirección NE – SW) en rocas conglomerádicas de la formación Anta; asimismo, las estructuras mineralizadas presentan una alteración argílica dominado principalmente por arcillas como la caolinita y acompañados por el cuarzo – nacrita – goethita – hematita.

Figura 145: Mapa de anomalías de elementos geoquímicos.



CONCLUSIONES

- **Primero:** En el sector Minas Punku, se logró definir 2 áreas (Zona Potencial y Zona Marginal): Siendo la zona potencial de mayor prioridad que la zona marginal. Zona potencial por su alto potencial (anomalías geoquímicas) de minerales de cobre en óxidos con valores promedio 9.6 %, acompañados por Pb y Zn emplazados en estructuras anti-andinas con dirección NE – SW con potencias entre 0.5 m a 2m en rocas conglomeradas de la formación Anta y la zona marginal por su menor contenido de cobre en óxidos en trazas en estructuras anti andinas con dirección NE – SW con potencias menores a 0.3m en rocas conglomeradas de la formación Anta.
- **Segundo:** En sector Minas Punku se reconocieron 5 tipos de litologías, dominados por conglomerados con intercalaciones de areniscas cuarzosas, andesitas y brechas andesítica (Formación Anta), caliza (Formación Arcurquina), así mismo se identificó dos sistemas de fallas, la principal normal dextral con dirección NE – SW y las fallas secundarias que son perpendiculares a las principales con dirección NW – SE.
- **Tercero:** En base a la interpretación de los resultados del ASTER, Terraspec y mapeo geológico se identificaron 3 tipos de alteraciones hidrotermales: Alteración argílica con ensambles de caolinita – cuarzo – nacrita – goethita – hematita (Estructura mineralizada), Alteración Hematita con ensamble de hematita – especlarita acompañado de caolinita y muscovita en menor proporción (Roca huésped), Alteración propilitica con ensamble de epidota – clorita acompañado de nonrita (zona distal) y presencia de carbonatados de

calcio (calcita) en venillas. La fuente de la mineralización proveniente del batolito de Andahuaylas – Yauri, se evidencia con una mineralización de cobre en óxidos reflejados en: malaquita – crisocola – azurita, acompañados puntualmente por galena - esfalerita en venillas, distribuidos entre las estructuras de la zona potencial con potencias entre 0.5m a 2 m con una intensidad de moderado a fuerte.: Estructura 1 (1.64% de CuT), estructura 2 (5.98% de CuT), estructura 3(18.46% de CuT), y estructura 4 (12.70% de CuT). La zona marginal con potencias < 0.3m, con mineralización de cobre en óxidos con una intensidad en trazas a puntual (estimación visual < 0.1% CuT).

- **Cuarto:** En base a la interpretación de los resultados geoquímicos, se identificaron 4 clúster (Mn, Hg, Cr, Ni, Y, Ce) nos evidencia la presencia de procesos hidrotermales de baja temperatura, (Si, Al, Ti, K, Rb, Zr, Sr, Ba) muestra la composición original de la roca, en este clúster se observa rocas sedimentarias clásticas (conglomerados) , (Zn, Mo, Ag, S, Fe, Pb) en esta asociación nos muestra de vetas polimetálicas y sistemas epitermales al tener Pb – Zn – Ag, (Sb, Au, Ca, Cu, Co, As, Cd) está asociado a sistemas epitermales de baja a intermedia sulfuración, en resumen se identificó anomalías de moderado a fuerte en la Zona Potencial (15.6 ha), presentando valores altos en contenido de Cu, Mo, Pb y Zn principalmente, confirmando la presencia de fluidos hidrotermales emplazados en vetas polimetálicas en un ambiente estructural favorable.

RECOMENDACIONES

- **Primero:** Realizar un mapeo sistemático más detallado de todas las estructuras (mineralizadas y no mineralizadas de la Zona potencial y zona marginal) en una escala de 1:1000, asimismo aplicar el uso de métodos geofísicos (Inducción polarizada) para poder delimitar áreas anómalas dentro de los targets de exploración.
- **Segundo:** Realizar un muestreo geoquímico sistemático, tipo rock chip (roca caja) y chip channel (estructuras mineralizadas) y análisis geoquímico ICP – masa de la zona potencial (Estructuras 1,2,3 y 4) y zona marginal, para una mejor interpretación y vectorización de los elementos Pathfinders de cobre.
- **Tercero:** Realizar un muestreo sistemático para estudios de terraspec, para definir y delimitar todas las zonas de alteración hidrotermal de acuerdo con el tipo de arcillas.
- **Cuarto:** Elaborar secciones transversales a las estructuras con mineralización, con el fin de interpolar las zonas clave del sistema y determinar la dirección del flujo de los fluidos.

BIBLIOGRAFIA

- Carlotto, V. (2006). *La deformación y acortamiento andino en el sur del Perú: Cusco - Abancay - Sicuani*. Sociedad Geológica del Perú (SGP).
- Cucho, J. J. (2016). *Estudio geológico y geoquímico de la zona de Coayllo-Cañete* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de San Agustín].
- Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET). (2020). *Geología de los cuadrángulos de Cusco (hojas 29t): Carta geológica nacional, escala 1:100 000* (Boletín). INGEMMET.
- Lemière, B., & Uvarova, Y. (2019). *New developments in field-portable geochemical techniques and on-site technologies and their place in mineral exploration*. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, 19(4), 384–393.
<https://doi.org/10.1144/geochem2018-028>.
- Levinson, A. (1980). *introduction to exploration geochemistry*.
- Mamani Huahuamullo, I. F., & Cjuno Quispe, L. N. (2022). *Conocimientos ancestrales andinos sobre indicadores del clima de los estudiantes de la Institución Educativa N° 56106 Yanaoca. Canas-2021* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco]. <https://repositorio.unsaac.edu.pe>
- Maqquere Mamani, M., & Champi Calla, C. A. (2024). *Juegos cooperativos en la formación de la actitud ambiental en niños de la Institución Educativa N°56107 Yanaoca Canas Cusco – 2023* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco].
<https://hdl.handle.net/20.500.12918/10059>

- Novales, A. (2010). *Análisis de regresión*. Universidad Complutense de Madrid.
<https://www.ucm.es/data/cont/docs/518-2013-11-13-Analisis%20de%20Regresion.pdf>
- Perelló, J., Carlotto, V., Zárate, A., Ramos, P., Carlock, I., Téllez, C., & Alva, J. (2003).
Porphyry-style alteration and mineralization of the Middle Eocene to Early Oligocene Andahuaylas-Yauri Belt, Cuzco Region, Perú. *Economic Geology*, 98(7), 1509-1521.
- Rivera, H. (2007). *Introducción a la geoquímica general y aplicada* (pp. 323–392). Editorial Gráfica Retai.
- Rivera Cornejo, R., Acosta Ale, J. G., Heo, C.-H., Ryoo, C.-R., Bustamante Romaní, A., Villarreal Jaramillo, E., & Santisteban Angeldonis, A. (2011). *Metalogenia del Batolito Andahuaylas – Yauri y sus implicancias en la exploración de pórfidos Cu – Au [Presentación]*. PERUMIN 30 Convención Minera, Arequipa, Perú. Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET).
- Sampieri, R. H. (2014). *Metodología de la investigación* (6.ª ed.). McGraw-Hill.
- Siegel, F. R. (1992). *Geoquímica aplicada*. Regional Scientific and Technological Development Program.
- Townley, B. K. (2018). *Geoquímica aplicada: Exploración minera [Diapositivas de PowerPoint]*. Departamento de Geología, Universidad de Chile.
- Universidad de Sonora. (s. f.). *Conglomerados y brechas I*.
https://sivea.uson.mx/docentes/tareas/8_CONGLOMERADOS_Y_BRECHAS_I.pdf
- WeatherSpark. (s. f.). *Clima promedio en Yanaoca, Perú en invierno*.
<https://es.weatherspark.com/s/25870/3/Tiempo-promedio-en-el-invierno-en-Yanaoca-Per%C3%BA>
- White, W. M. (1997). *Geochemistry*. Cornell University.

Anexo 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA

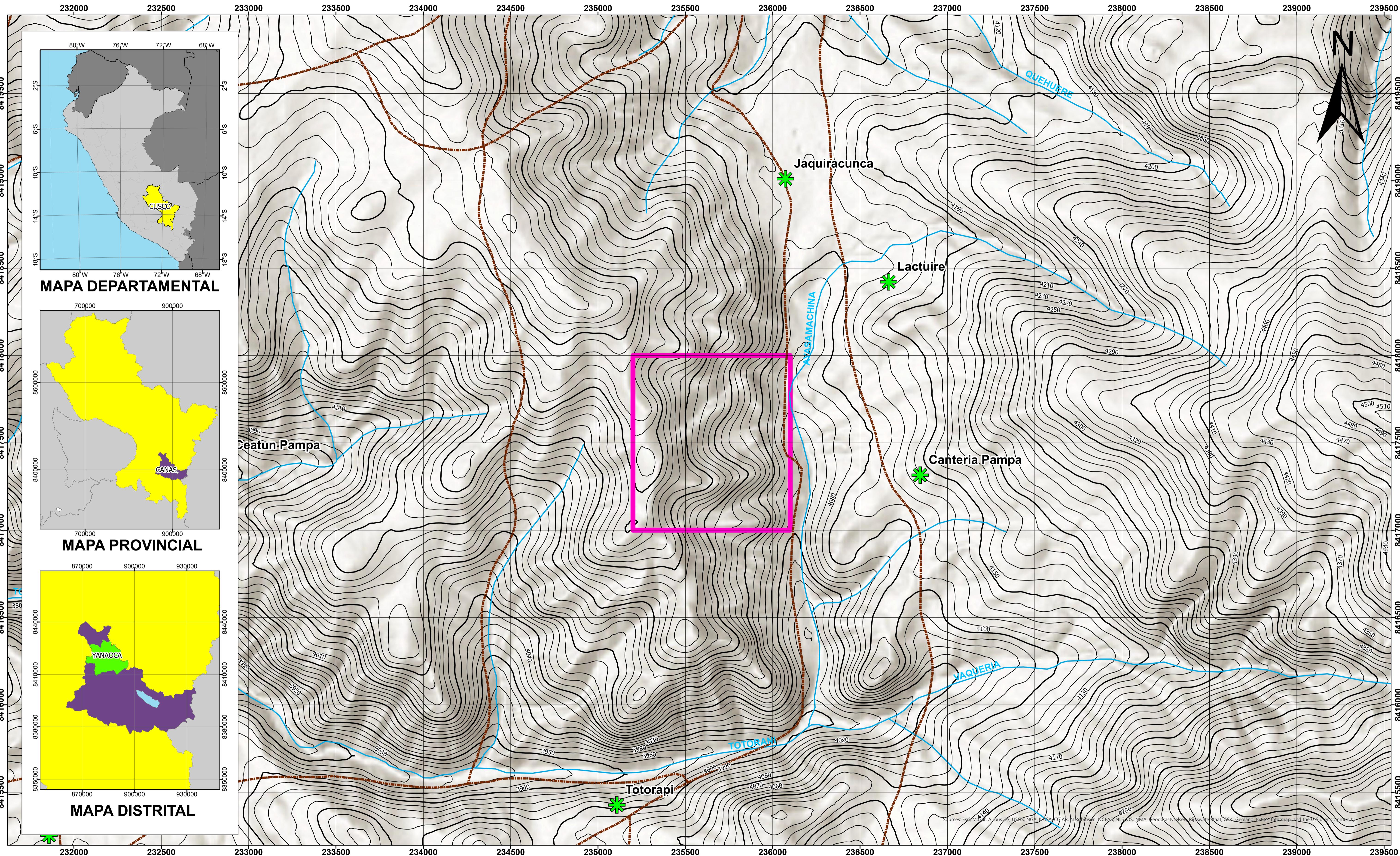
MATRIZ DE CONSISTENCIA

Tabla 16: Matriz de consistencia

PROSPECCIÓN GEOLÓGICA Y GEOQUÍMICA PARA LA EXPLORACIÓN DE COBRE EN EL SECTOR MINAS PUNKU – YANAOCA - CUSCO, 2024

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	METODOLOGÍA
Problema General ¿Cuál es la prospección geológica y geoquímico para la exploración de cobre (Cu) en el sector Minas Punku?	Objetivo General Realizar la prospección geológica y geoquímica para la exploración de cobre (Cu) en el sector Minas Punku.	Hipótesis General Una vez realizada la interpretación de los resultados por los métodos ASTER, terraspec, estadística de los resultados del XRF y mapeo geológico detallado nos permitirá comprender las anomalías de cobre (Cu) identificando los elementos guías (Pathfinders) asociados al cobre (Cu) de la formación Anta.	<i>Método de investigación</i> Cuantitativo
Problemas Específicos PE1. ¿Cuál es la caracterización geológica (litología y geología estructural) del sector Minas Punku?	Objetivos Específicos OE1. Describir la caracterización geológica (litología y geología estructural) del sector Minas Punku.	Hipótesis Específicas HE1. La caracterización geológica (litología y geología estructural) del sector Minas Punku que afloran en la Formación Anta nos permite delimitar una posible área con un potencial valor económico por cobre (Cu), por las evidencias estructurales que se presenta en el sector Minas Punku.	<i>Tipo y nivel de investigación</i> Descriptivo-correlacional.
PE2. ¿Cuál es la alteración hidrotermal y mineralización en el sector Minas Punku?	OE2. Determinar los tipos de alteración hidrotermal y mineralización en el sector Minas Punku.	HE2. El reconocimiento de los ensambles mineralógicos nos permite definir los principales tipos de alteración hidrotermal asociados a las estructuras mineralizadas, así como la identificación de las principales zonas mineralizadas de cobre (Cu) (Óxidos-Sulfuros) en el sector Minas Punku.	<i>Diseño de la investigación</i> No experimental - transversal
PE3. ¿Cuál es la interpretación geoquímica de cobre (Cu) en el sector Minas Punku?	OE3. Realizar la interpretación geoquímica de cobre (Cu) en el sector Minas Punku.	HE3. El procesamiento del análisis geoquímico de las muestras permite determinar el tipo de mineralización por medio de las correlaciones de elementos y con la interpretación de resultados comprender la distribución del cobre (Cu) en el sector Minas Punku.	

Anexo 2: MAPA DE UBICACION



SIMBOLÓGIA

Sector Minas Punku (90 Ha)

Ríos

Vía carrozable

Centro poblado

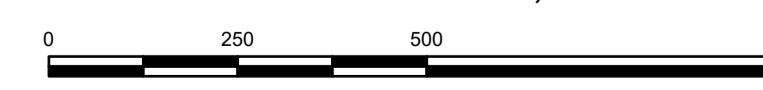
Curva de nivel primaria

Curva de nivel secundaria

LEYENDA

Escala: 1:10,000

Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 19S
Projection: Transverse Mercator
Datum: WGS 1984



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

"PROSPECCIÓN GEOLÓGICA Y GEOQUÍMICA PARA LA EXPLORACIÓN
DE COBRE EN EL SECTOR MINAS PUNKU - YANAOCAY CUSCO, 2024"

MAPA DE UBICACIÓN

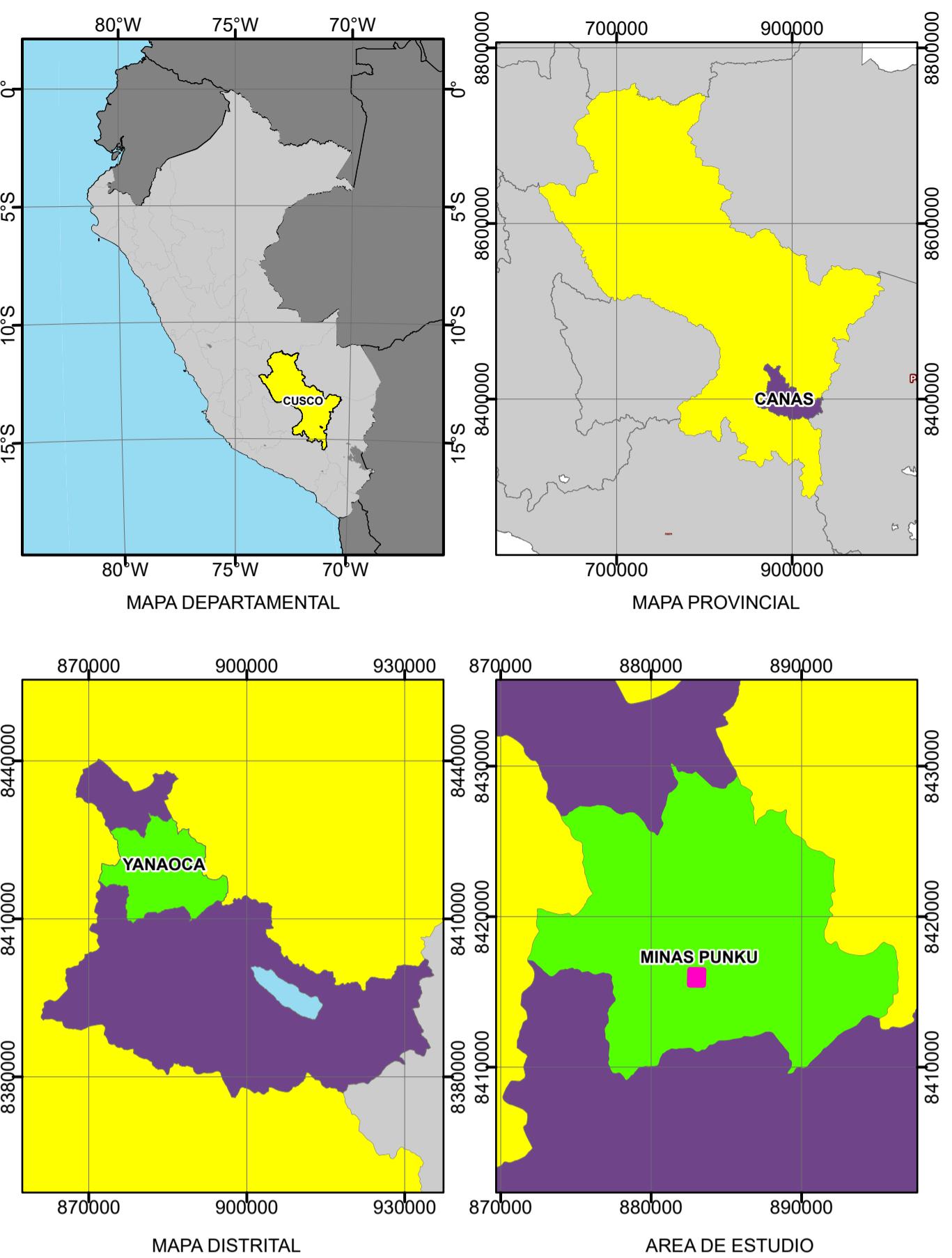
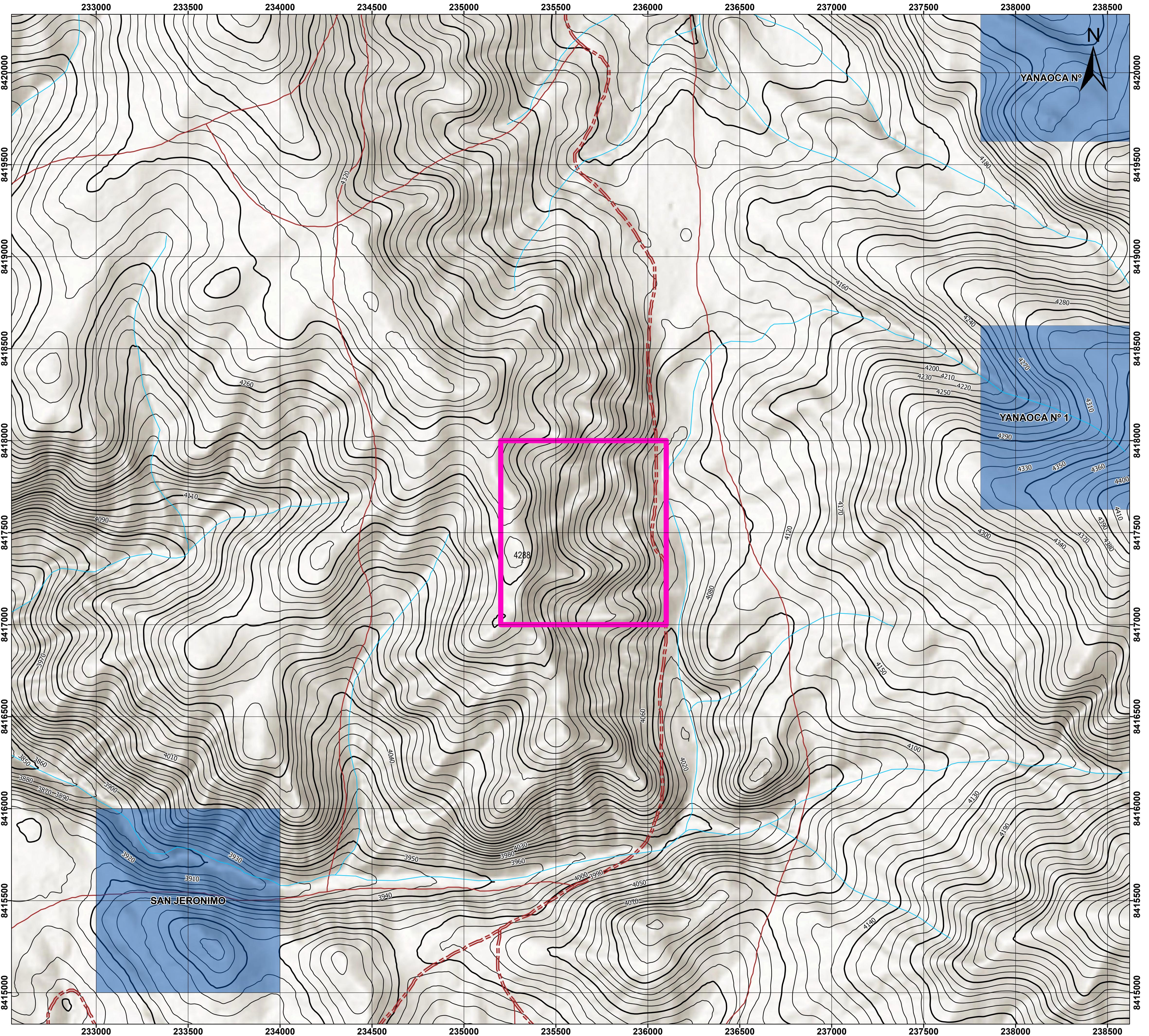
ELABORADO POR:
- EDWIN MAMANI CHOQUETAIPÉ
- KEIKO R. CHOQUE QUISPE

Datum/Zona: Escala:
WGS84/19S 1:2500
Fecha:
28/04/2025

Mapa N°:

01

Anexo 3:MAPA DE CONCESIONES MINERAS



LEYENDA

CONCESIONES

Concesiones Mineras

SIMBOLOGÍA

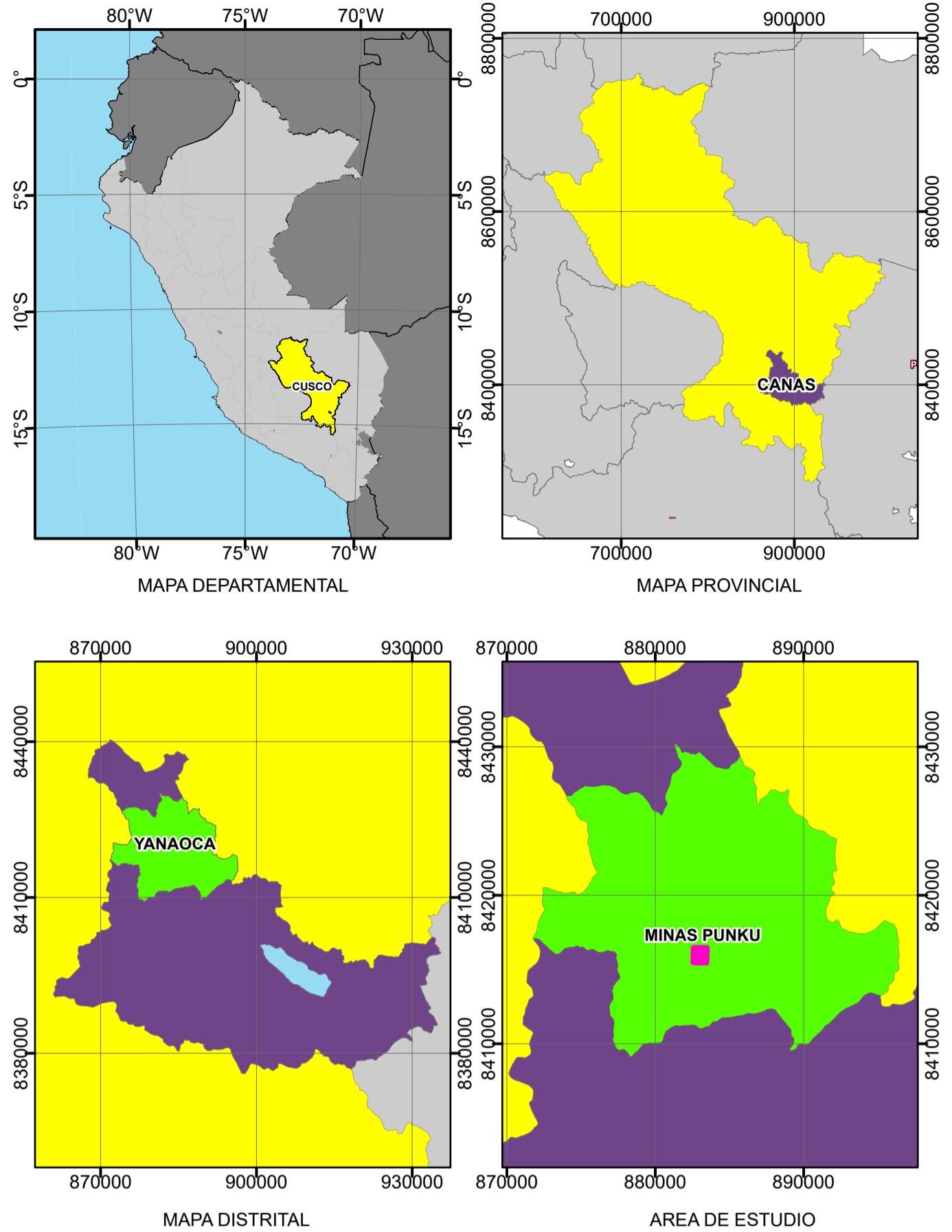
- Sector Minas Punku
- Camino carrozable
- Sendero
- Curva de nivel primaria
- Curva de nivel secundaria
- Río

Escala 1:10,000
0 250 500 1,000 m

Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 19S
Projection: Transverse Mercator
Datum: WGS 1984

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO	
"PROSPECCIÓN GEOLÓGICA Y GEOQUÍMICA PARA LA EXPLORACIÓN DE COBRE EN EL SECTOR MINAS PUNKU – YANAOCAS – CUSCO, 2024"		
MAPA DE CONCESIONES MINERAS		
ELABORADO POR:	- EDWIN MAMANI CHOQUETAYPE	Mapa N°:
KEIKO R. CHOQUE QUISPE		02
Datum/Zona:	Escala:	Fecha:
WGS84/19S	1:10000	28/04/2025

Anexo 4: MAPA GEOMORFOLOGICO REGIONAL



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

"PROSPECCIÓN GEOLÓGICA Y GEOQUÍMICA PARA LA EXPLORACIÓN DE COBRE EN EL SECTOR MINAS PUNKU – YANAOCÀ – CUSCO, 2024"

MAPA GEOMORFOLOGICO REGIONAL

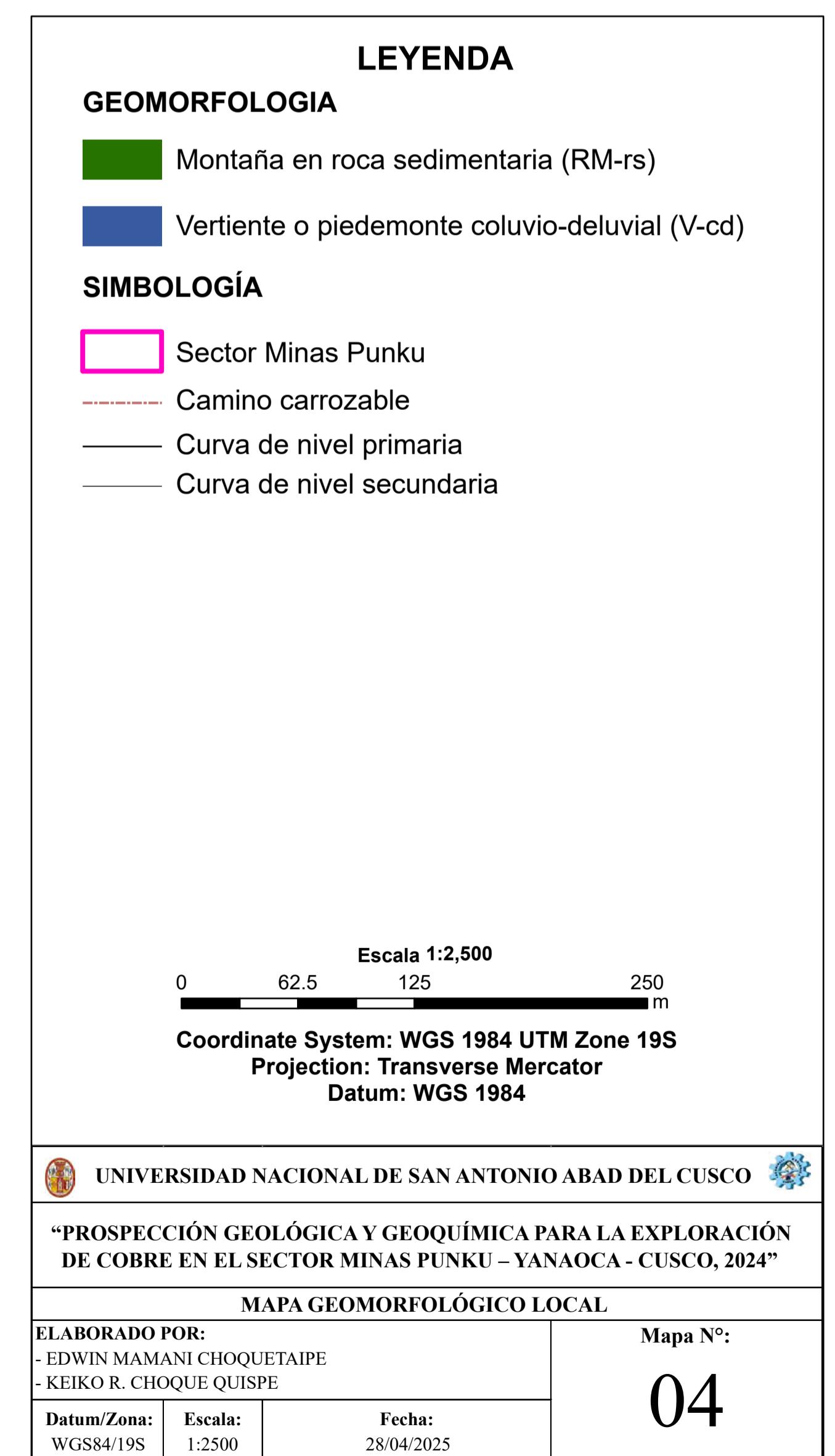
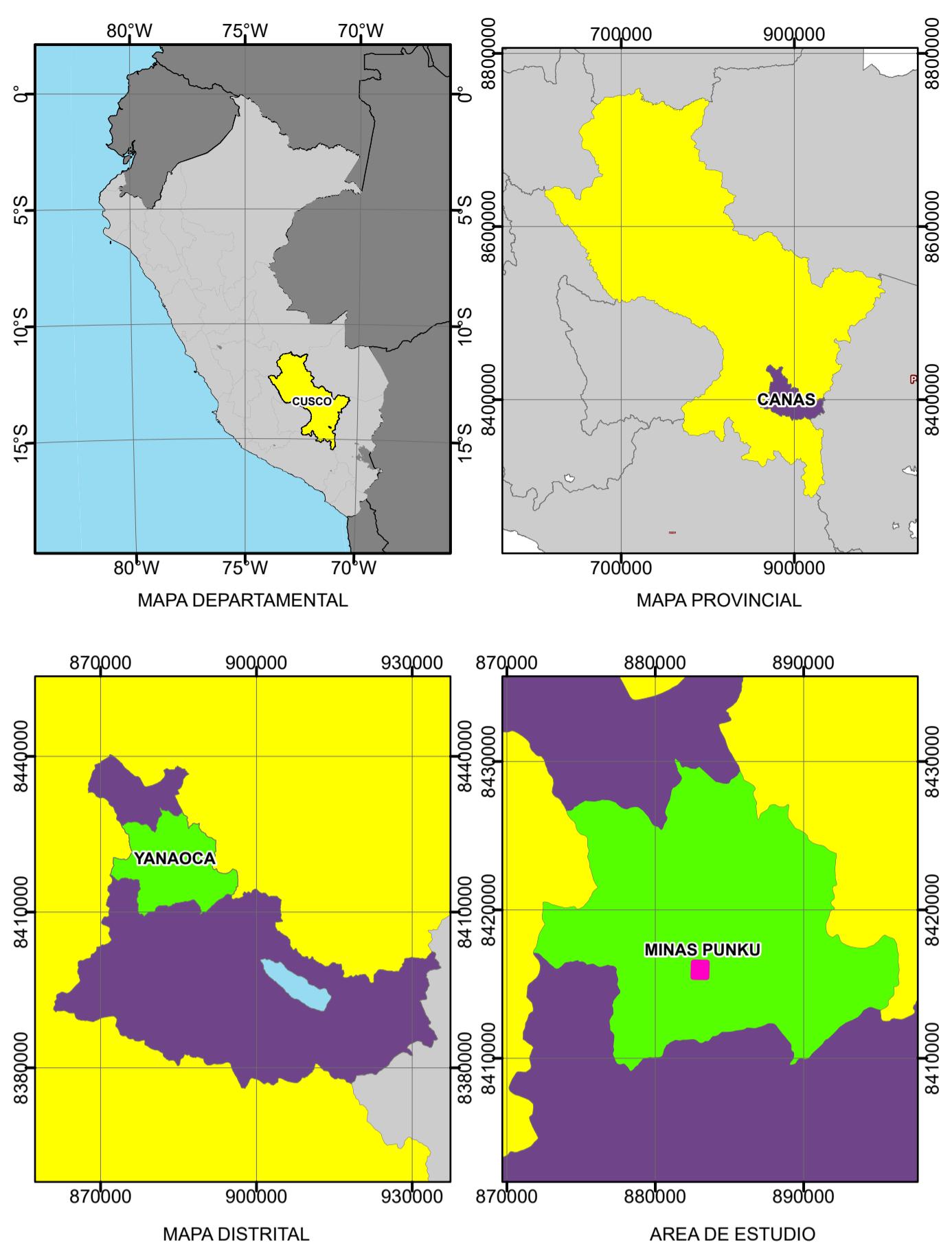
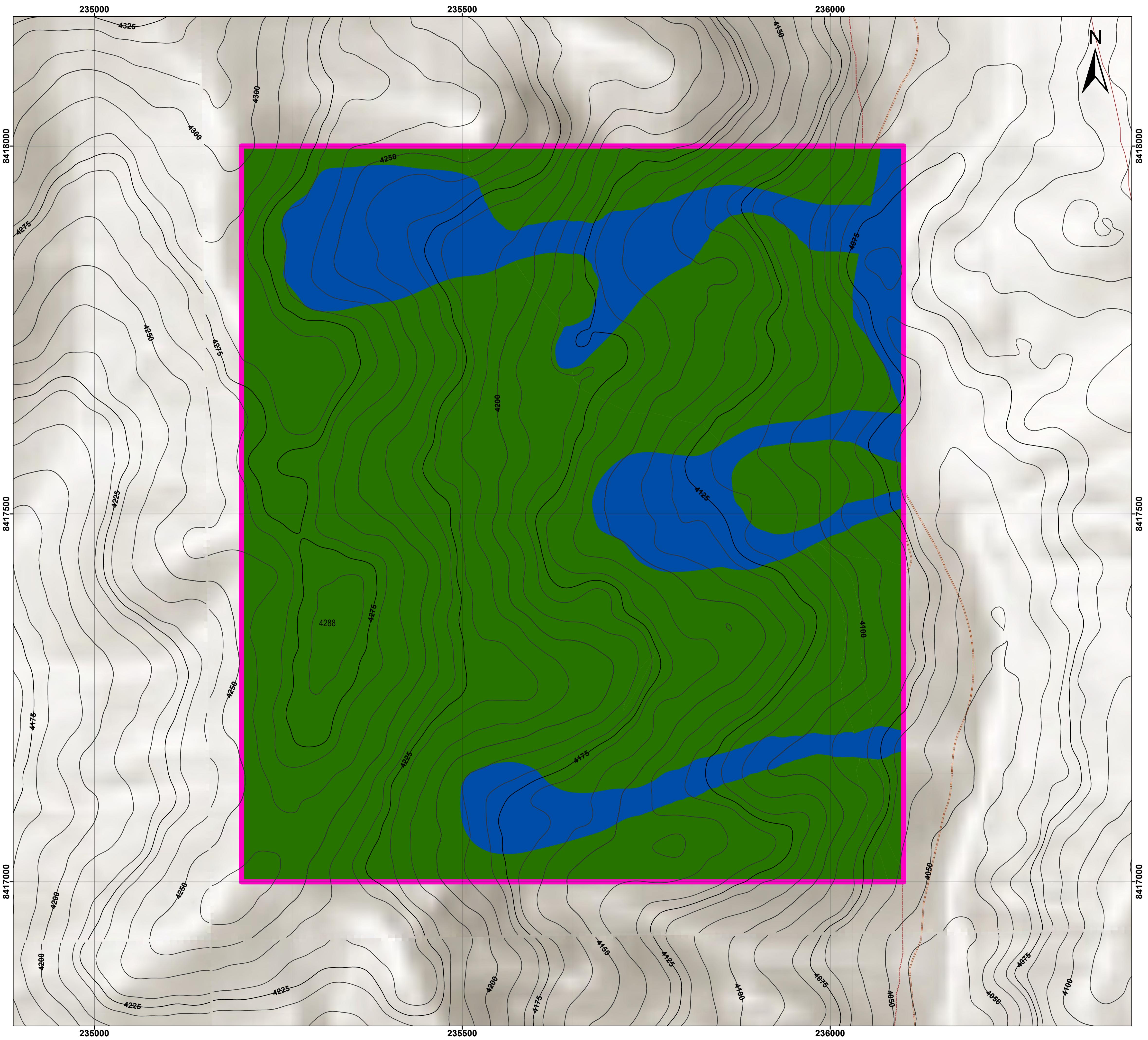
ELABORADO POR:

- EDWIN MAMANI CHOQUETAPE
- KEIKO R. CHOQUE QUISPE

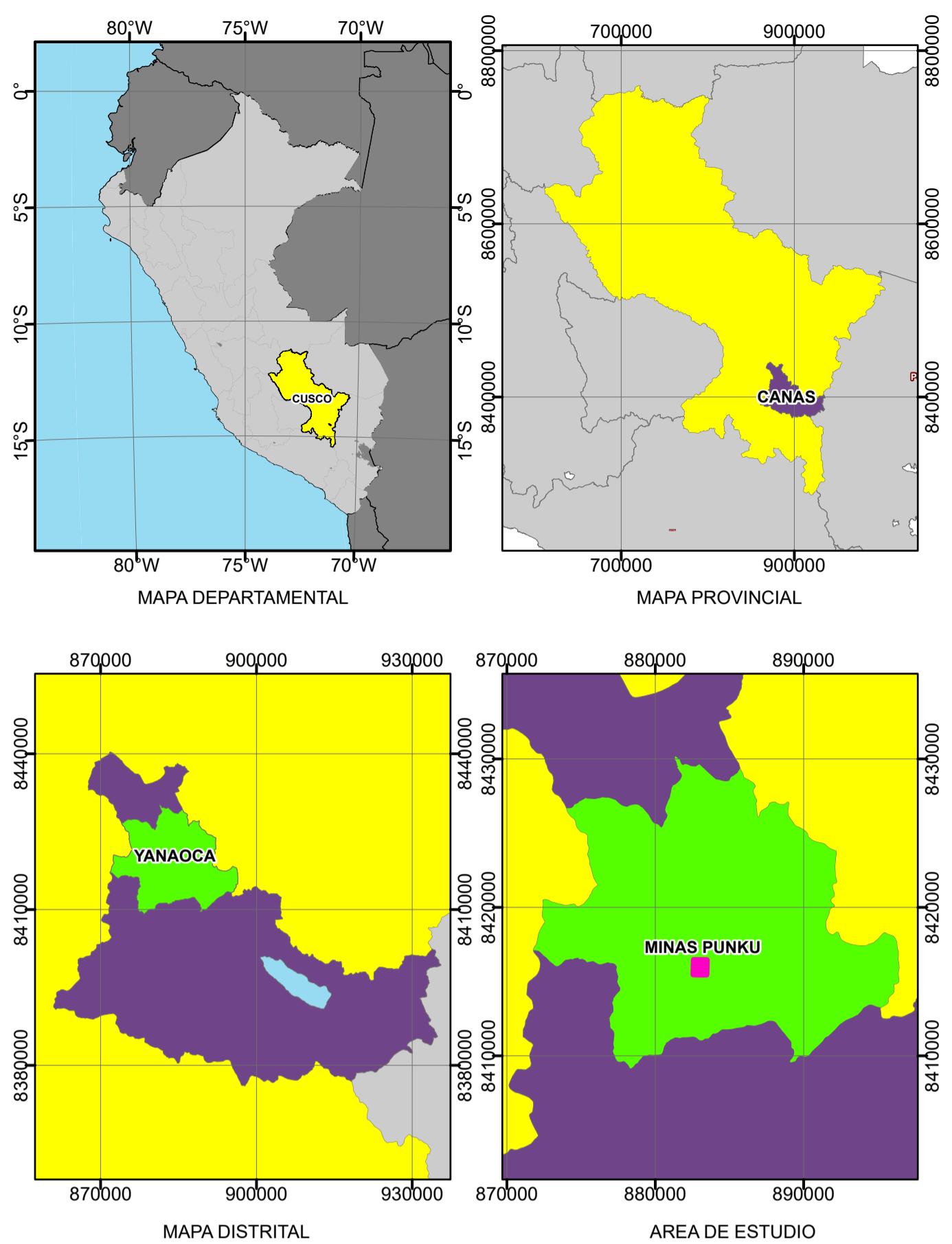
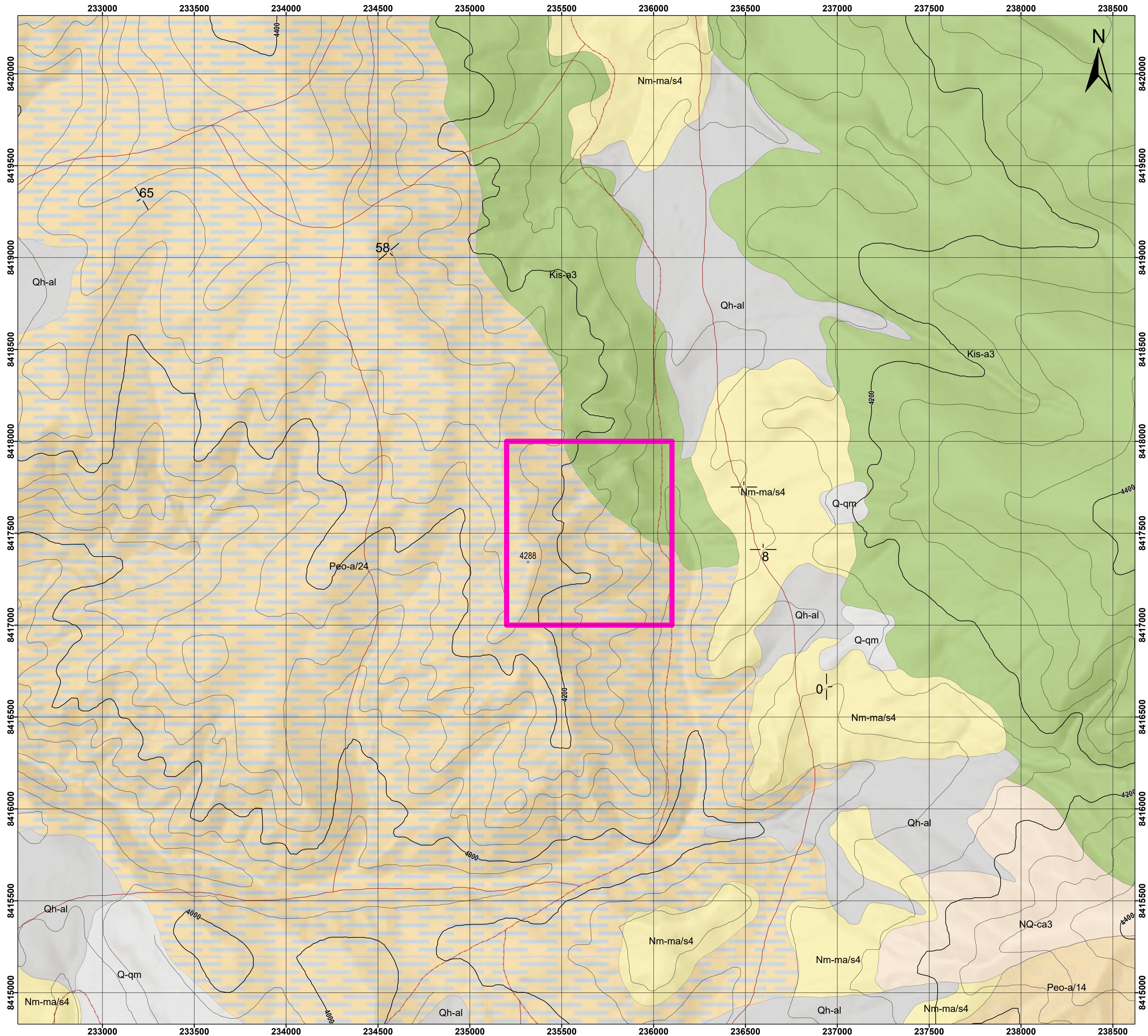
Mapa N°: 03

Datum/Zona: WGS84/19S	Escala: 1:10000	Fecha: 29/04/2025
-----------------------	-----------------	-------------------

Anexo 5: MAPA GEOMORFOLOGICO LOCAL

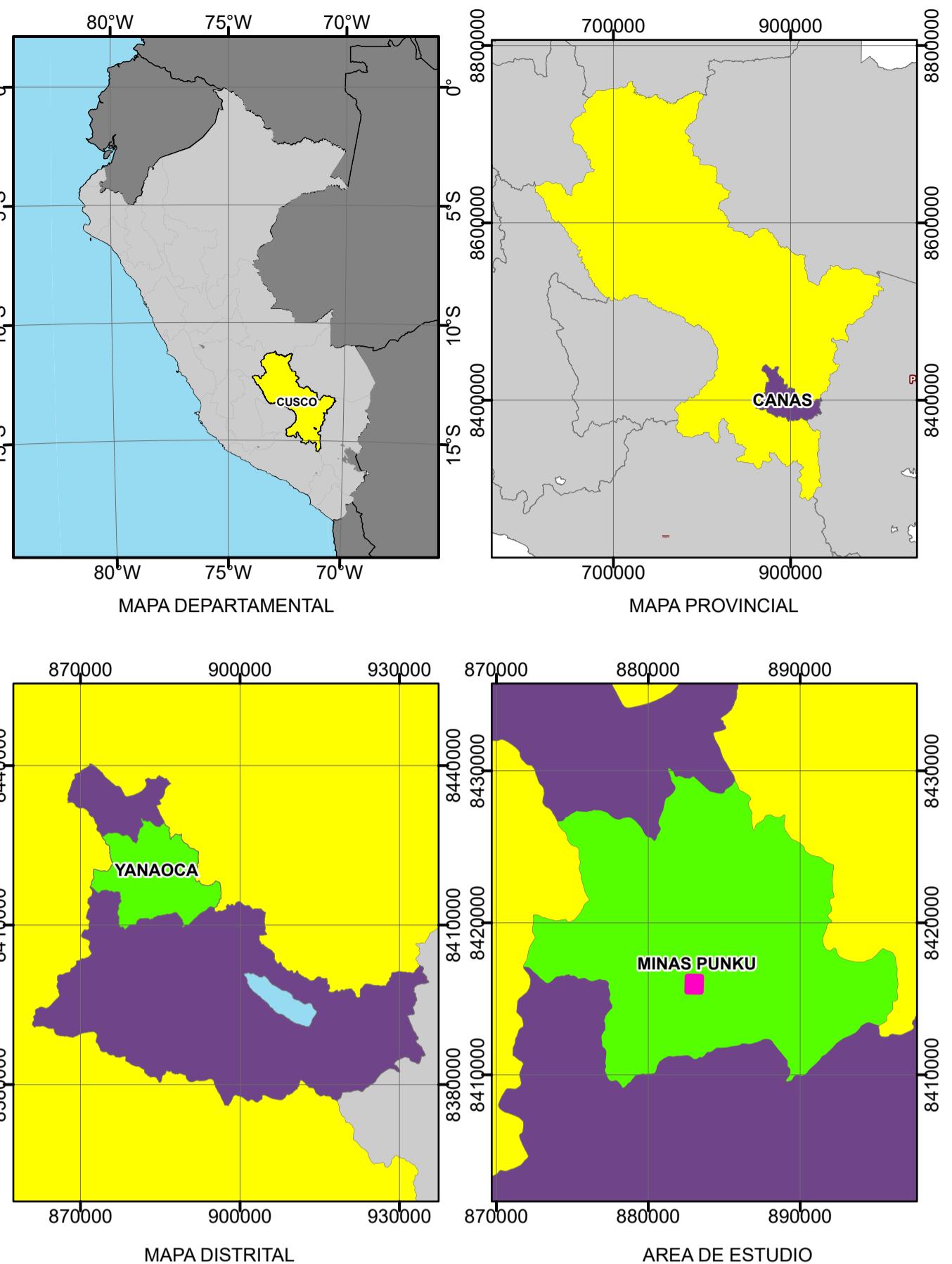
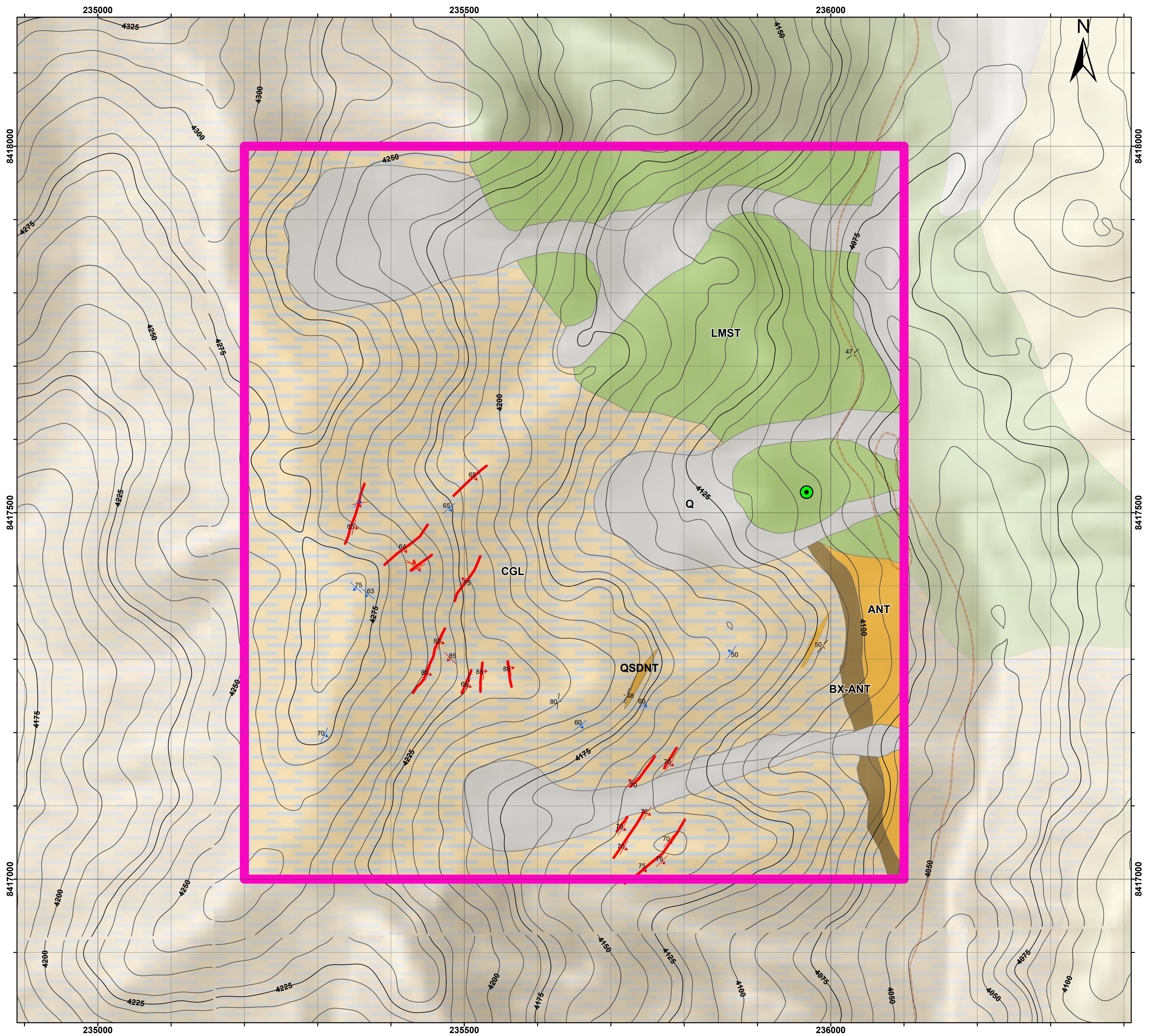


Anexo 6: MAPA GEOLOGICO REGIONAL



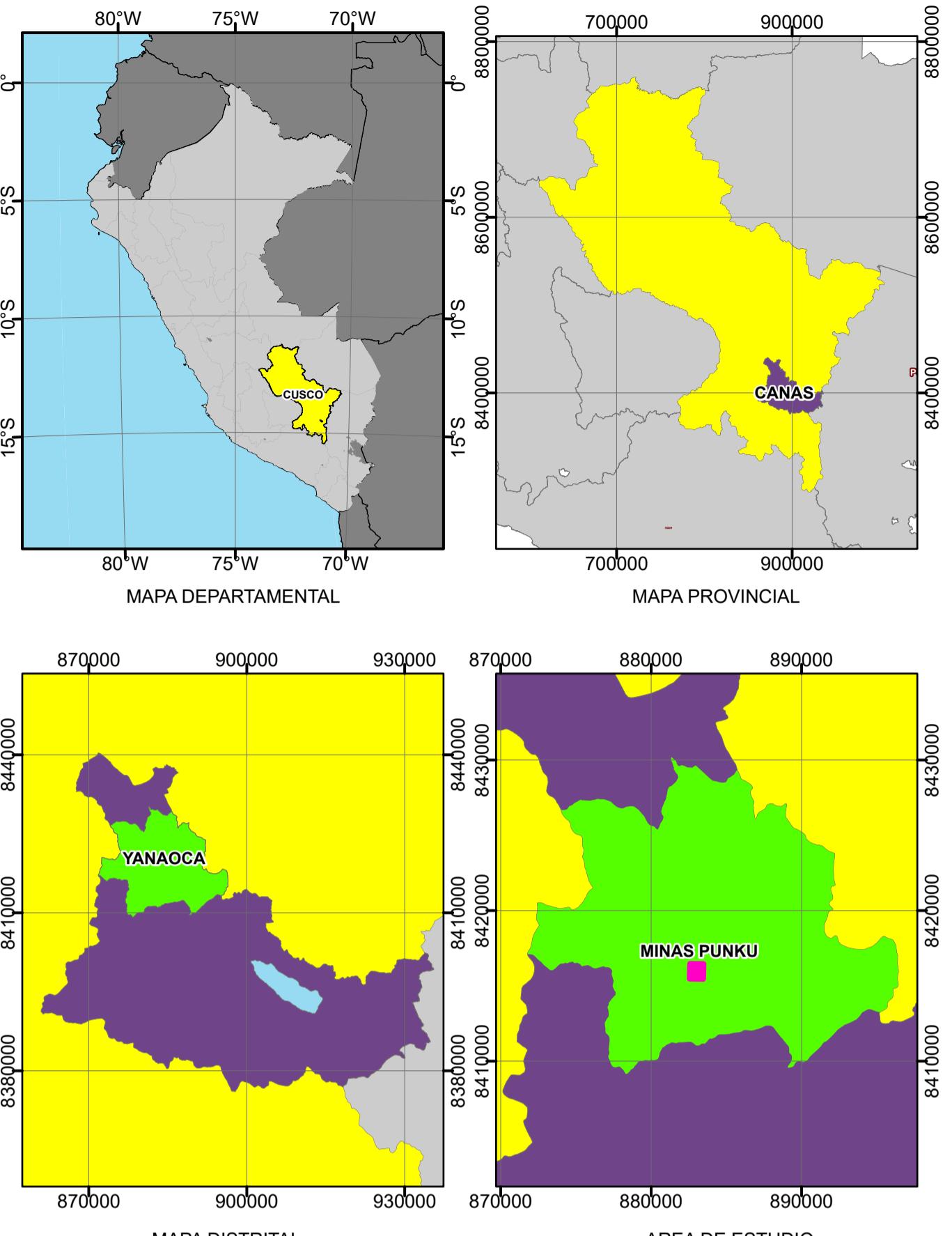
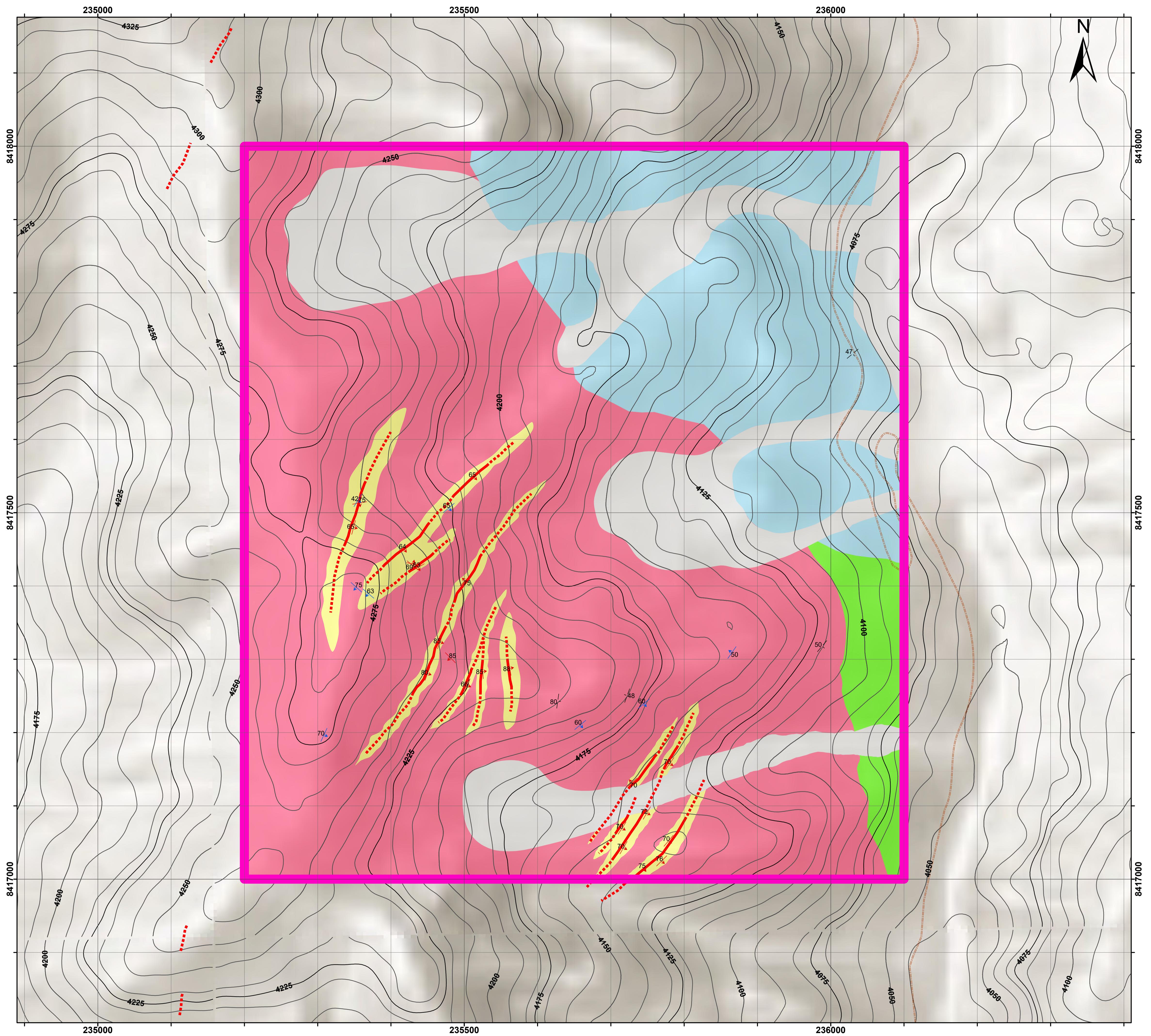
LEYENDA			
LITOLOGÍA	Cuaternario Aluvial (Qh-al)		
	Cuaternario Químico (Q-qm)		
	Fm. Calasaya (NQ-ca3)		
	Grupo Maure - Miembro superior (Nm-ma/s4)		
	Fm. Anta - Miembro 2 (Peo-a/24)		
	Fm. Anta - Miembro 1 (Peo-a/14)		
	Fm. Arcurquina (Kis-a3)		
SIMBOLOGÍA			
[Pink Box]	Sector Minas Punku		
Dashed Line	Camino carrozable		
Red Line	Sendero		
Black Line	Curva de nivel primaria		
Grey Line	Curva de nivel secundaria		
ALINEAMIENTO			
—	Bedding		
Escala 1:10,000			
0	250	500	1,000
Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 19S Projection: Transverse Mercator Datum: WGS 1984			
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO			
"PROSPECCIÓN GEOLÓGICA Y GEOQUÍMICA PARA LA EXPLORACIÓN DE COBRE EN EL SECTOR MINAS PUNKU - YANAOCÀ - CUSCO, 2024"			
MAPA GEOLÓGICO REGIONAL			
ELABORADO POR: - EDWIN MAMANI CHOQUETAPE - KEIKO R. CHOQUE QUISPE			
Mapa N°: 05			
Datum/Zona:	WGS84/19S		
Escala:	1:10000		
Fecha:	28/04/2025		

Anexo 7: MAPA GEOLOGICO LOCAL



LEYENDA		
Cuaternario (Q)		
Fm. Anta - Areniscas cuarzosas (QSDNT)		
Fm. Anta - Conglomerados (CGL)		
Fm. Anta - Brecha Andesítica (BX-ANT)		
Fm. Anta - Andesita (ANT)		
Fm. Arcurquina - Caliza (LMST)		
Estructura Mineralizada (MIN ZONE)		
PETROGRAFÍA		
Muestra 29-t-RNM-024 (Proyecto GE34B4)		
SIMBOLOGÍA		
Sector Minas Punku		
Camino carrozable		
Curva de nivel primaria		
Curva de nivel secundaria		
ALINEAMIENTO		
Bedding		
Falla		
Veta / Vetilla		
Escala: 1:2,500		
Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 19S		
Projection: Transverse Mercator		
Datum: WGS 1984		
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO		
"PROSPECCIÓN GEOLÓGICA Y GEOQUÍMICA PARA LA EXPLORACIÓN DE COBRE EN EL SECTOR MINAS PUNKU – YANAOCHA – CUSCO, 2024"		
MAPA GEOLÓGICO LOCAL		
ELABORADO POR:		
- EDWIN MAMANI CHOQUETAIPÉ		
- KEIKO R. CHOQUE QUISPE		
Mapa N°:		
06		
Datum/Zona: WGS84/19S	Escala: 1:2500	Fecha: 28/04/2025

Anexo 8: MAPA DE ALTERACIONES HIDROTERMALES



LEYENDA

ALTERACIÓN	MINERALIZACIÓN
Caolinita	Estructura mapeado
Hematita	Estructura inferido
Clorita	
Calcita	
Sin alteración	

SIMBOLOGÍA

- Sector Minas Punku
- Camino carrozable
- Curva de nivel primaria
- Curva de nivel secundaria

ALINEAMIENTO

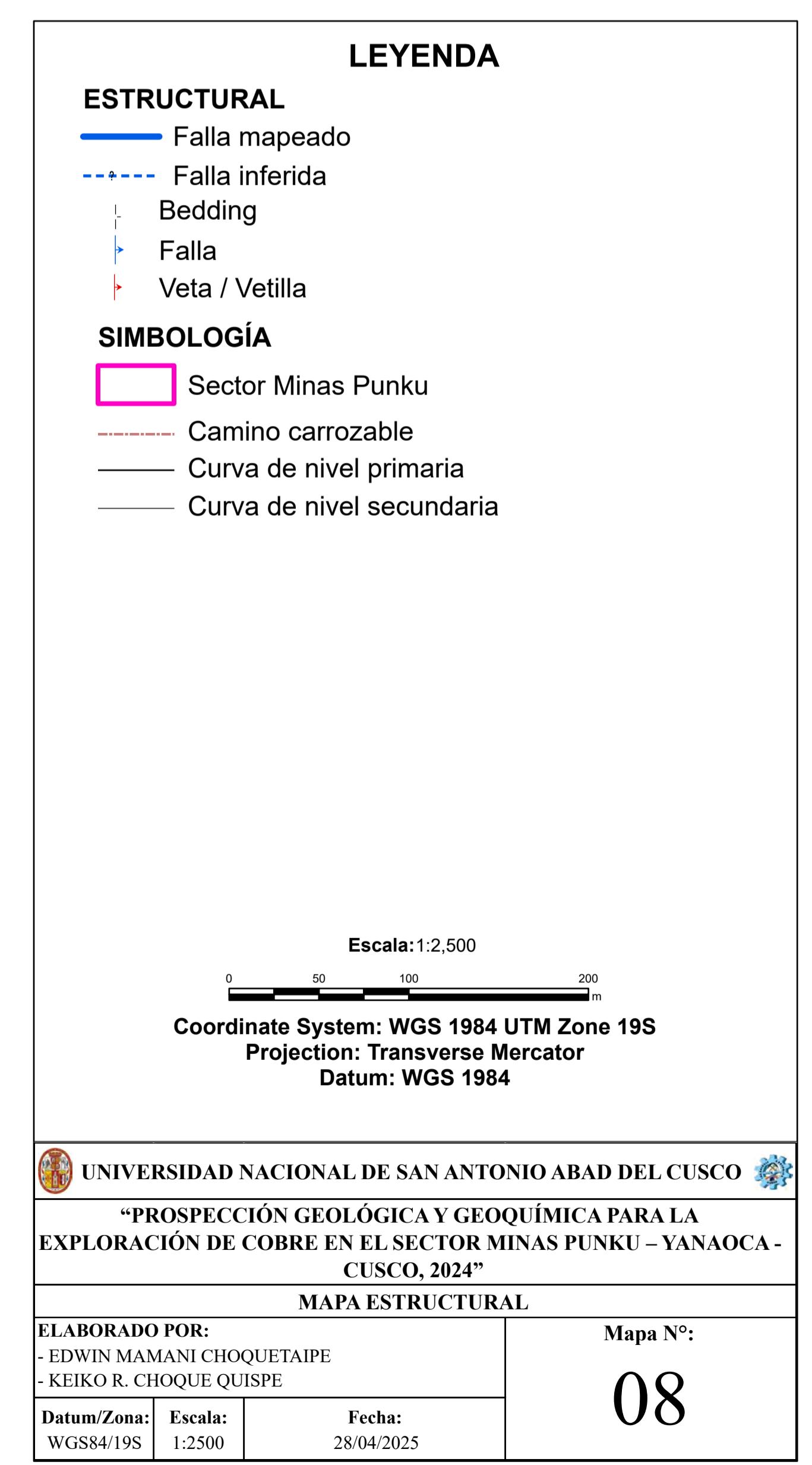
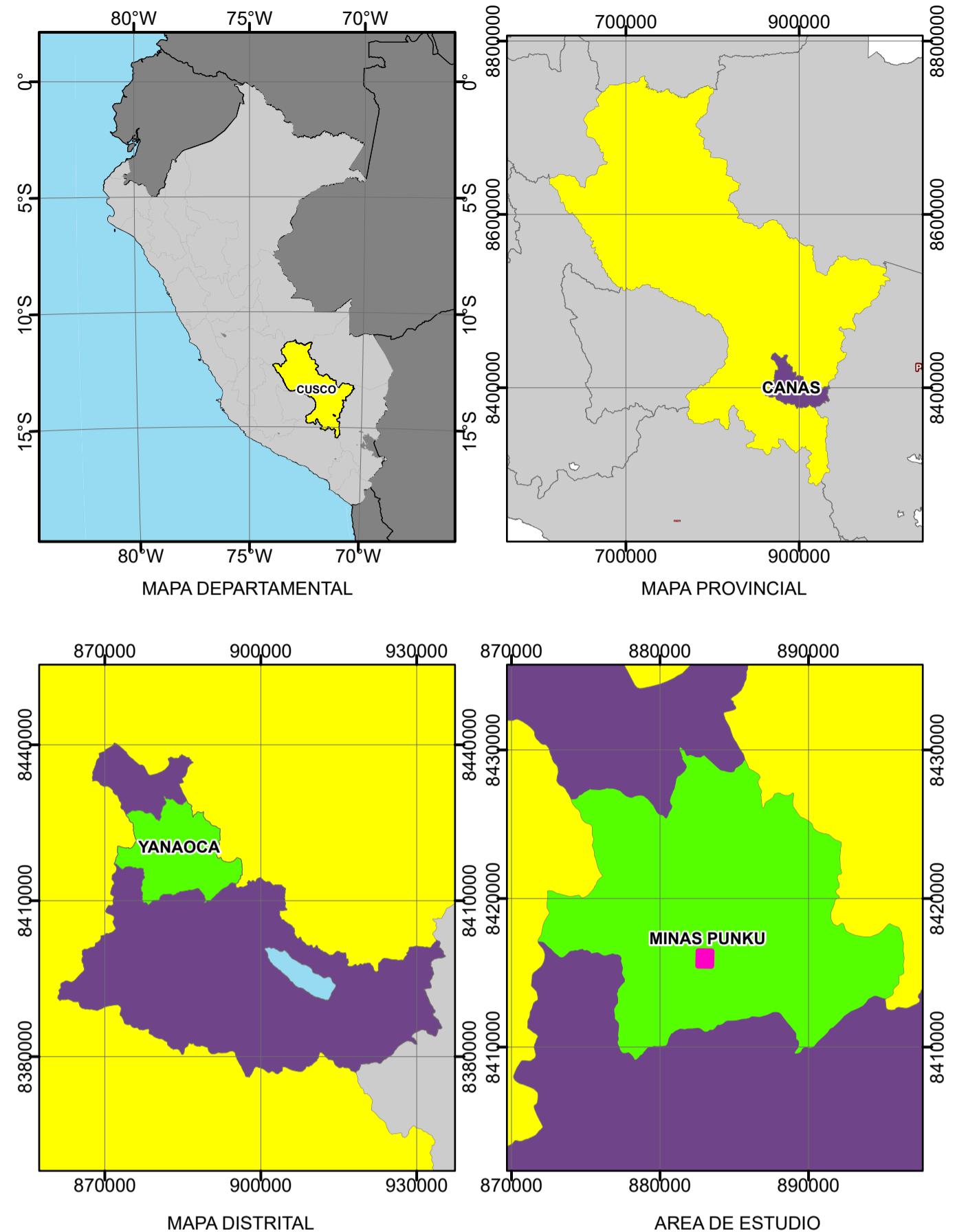
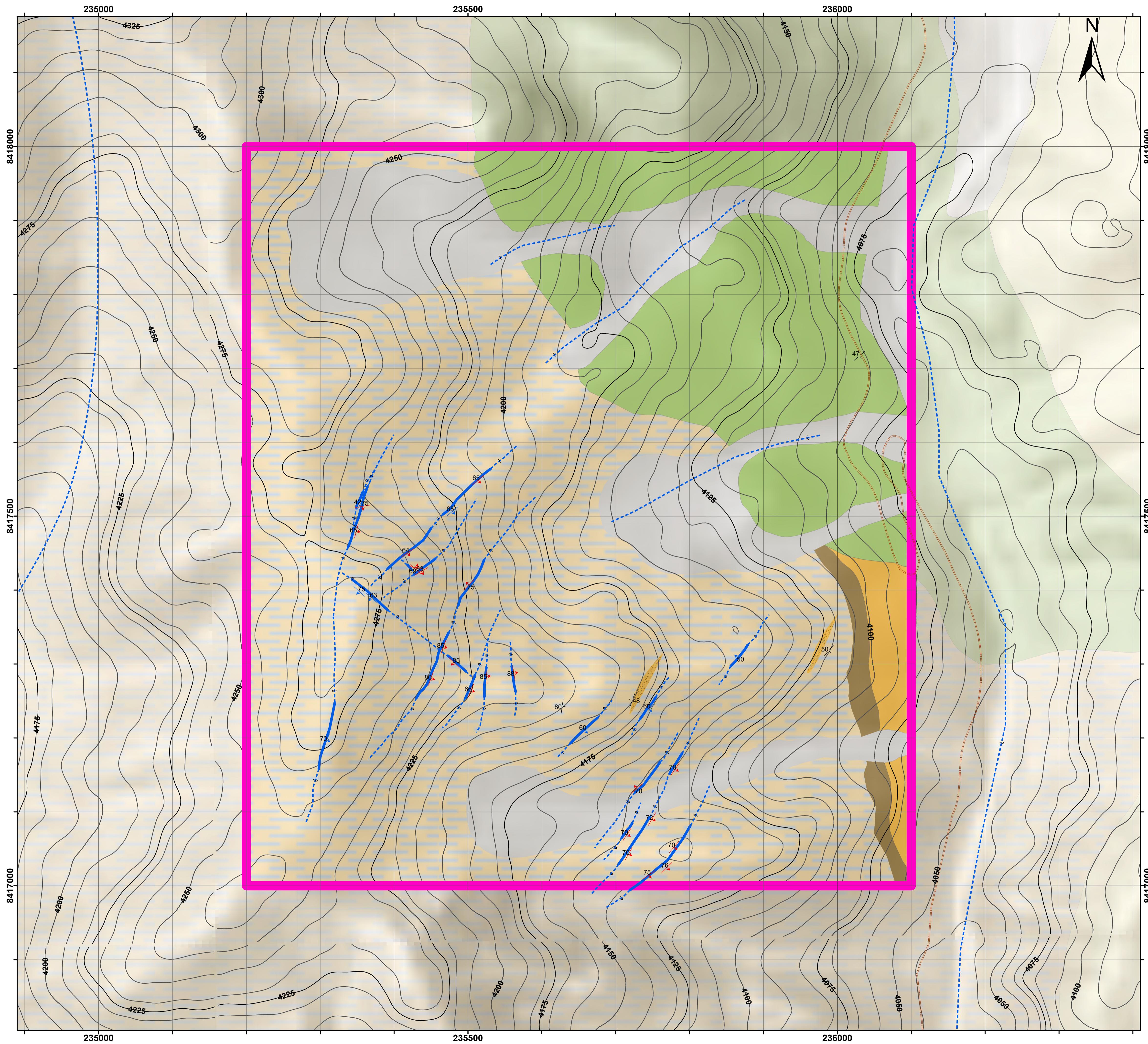
- Bedding
- Falla
- Veta / Vetilla

Escala: 1:2,500

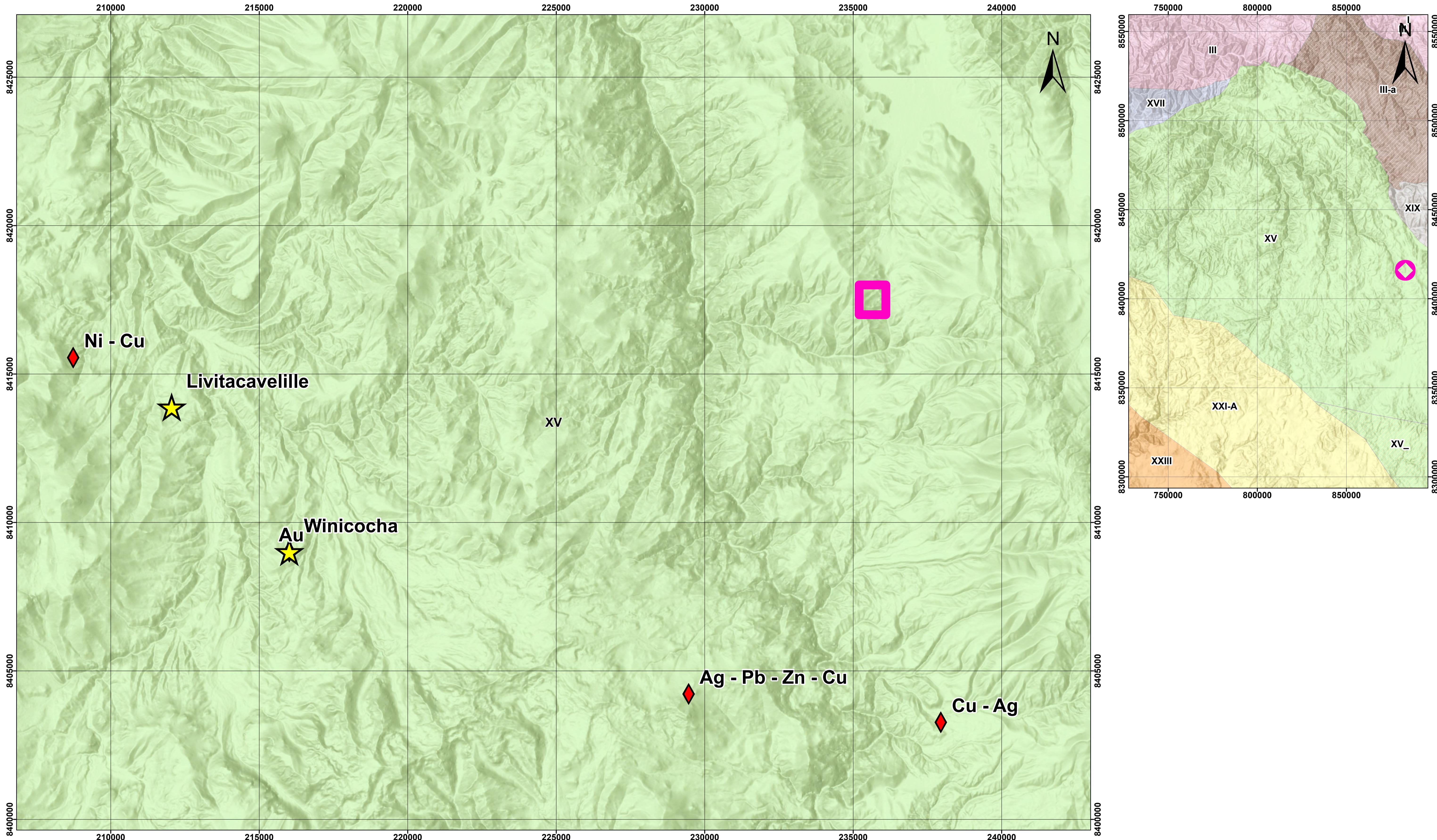
Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 19S
Projection: Transverse Mercator
Datum: WGS 1984

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO	
“PROSPECCIÓN GEOLÓGICA Y GEOQUÍMICA PARA LA EXPLORACIÓN DE COBRE EN EL SECTOR MINAS PUNKU – YANAOCHA – CUSCO, 2024”	
MAPA DE ALTERACIÓN	
ELABORADO POR:	
- EDWIN MAMANI CHOQUETAIPÉ - KEIKO R. CHOQUE QUISPE	
Datum/Zona: WGS84/19S	Escala: 1:2500
Fecha: 28/04/2025	Mapa N°: 07

Anexo 9: MAPA GEOLOGICO ESTRUCTURAL



Anexo 10: MAPA METALOGENETICO



FRANJA METALOGENETICO

XV: Franja de pórfidos-skarns de Cu-Mo (Au, Zn) y depósitos de Cu-Au-Fe relacionados con intrusivos del Eoceno-Oligoceno

LEYENDA

SIMBOLOGIA

- Sector Minas Punku**: Pink square
- Proyecto minero**: Yellow star
- Ocurrencia de mineral**: Red diamond

Escala: 1:60,000

0 1,250 2,500 5,000 m

Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 19S
Projection: Transverse Mercator
Datum: WGS 1984

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

"PROSPECCIÓN GEOLÓGICA Y GEOQUÍMICA PARA LA EXPLORACIÓN DE COBRE EN EL SECTOR MINAS PUNKU – CUSCO, 2024"

MAPA METALOGENETICO

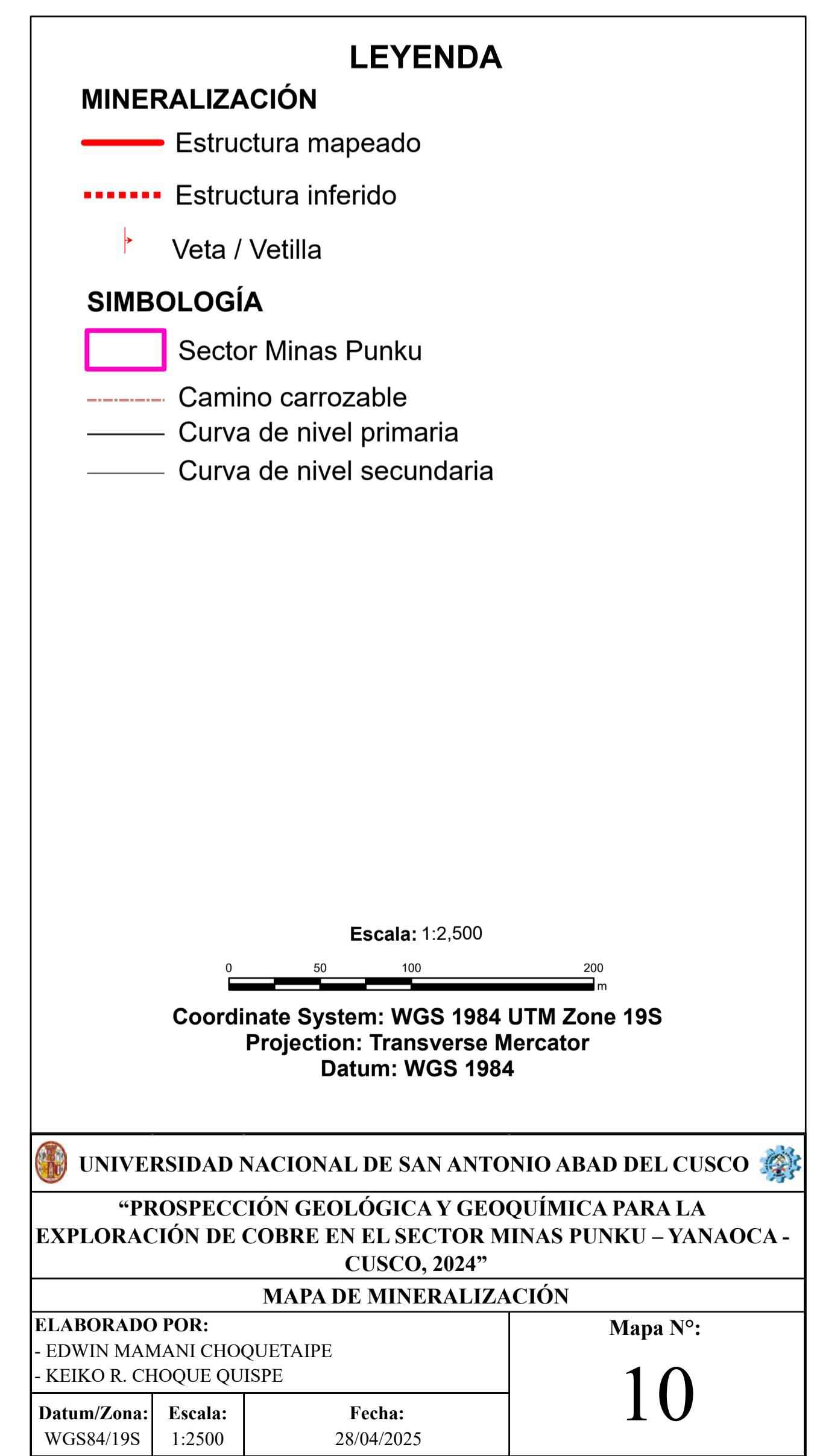
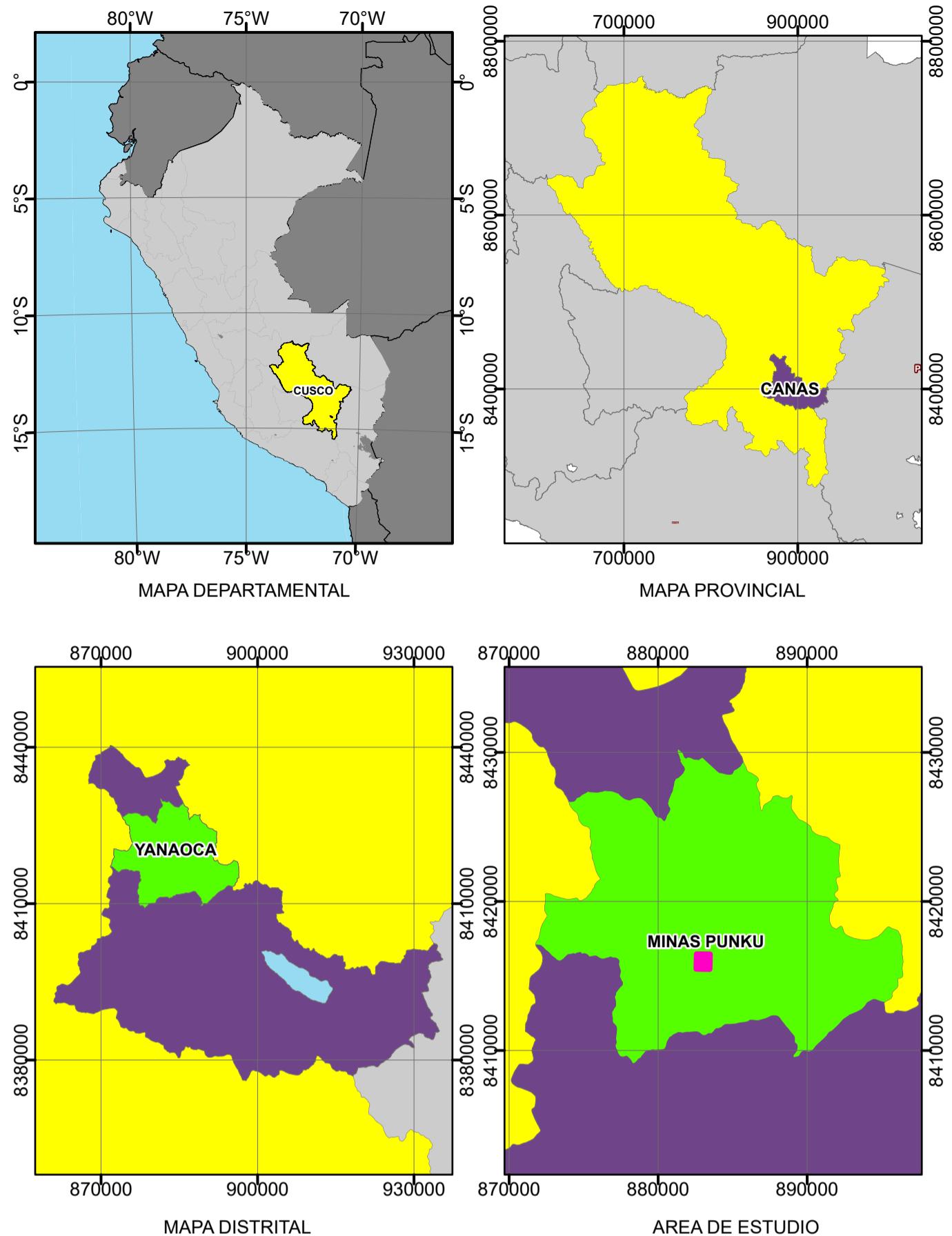
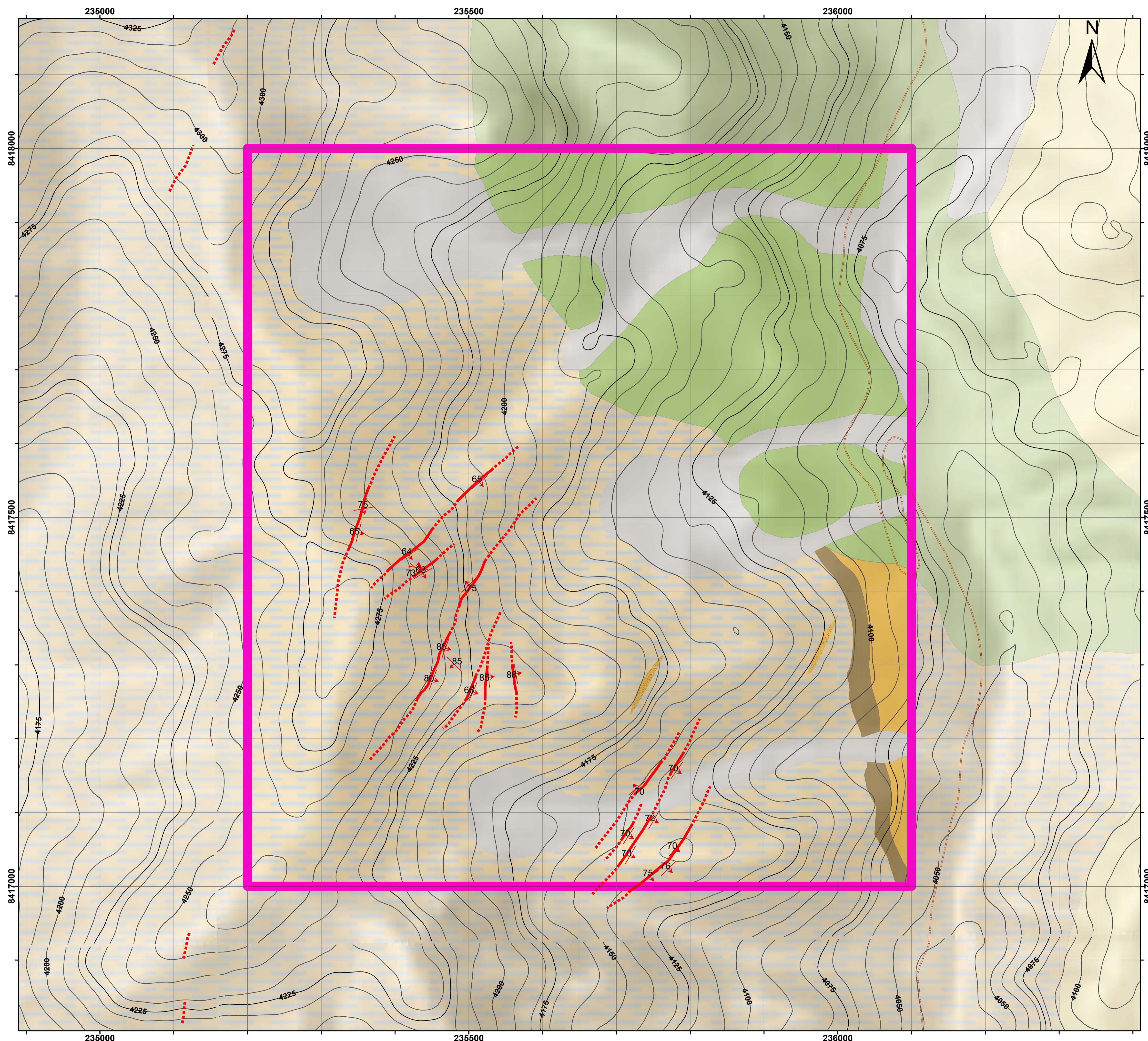
ELABORADO POR:
- EDWIN MAMANI CHOQUETAIPÉ
- KEIKO R. CHOQUE QUISPE

Mapa N°:

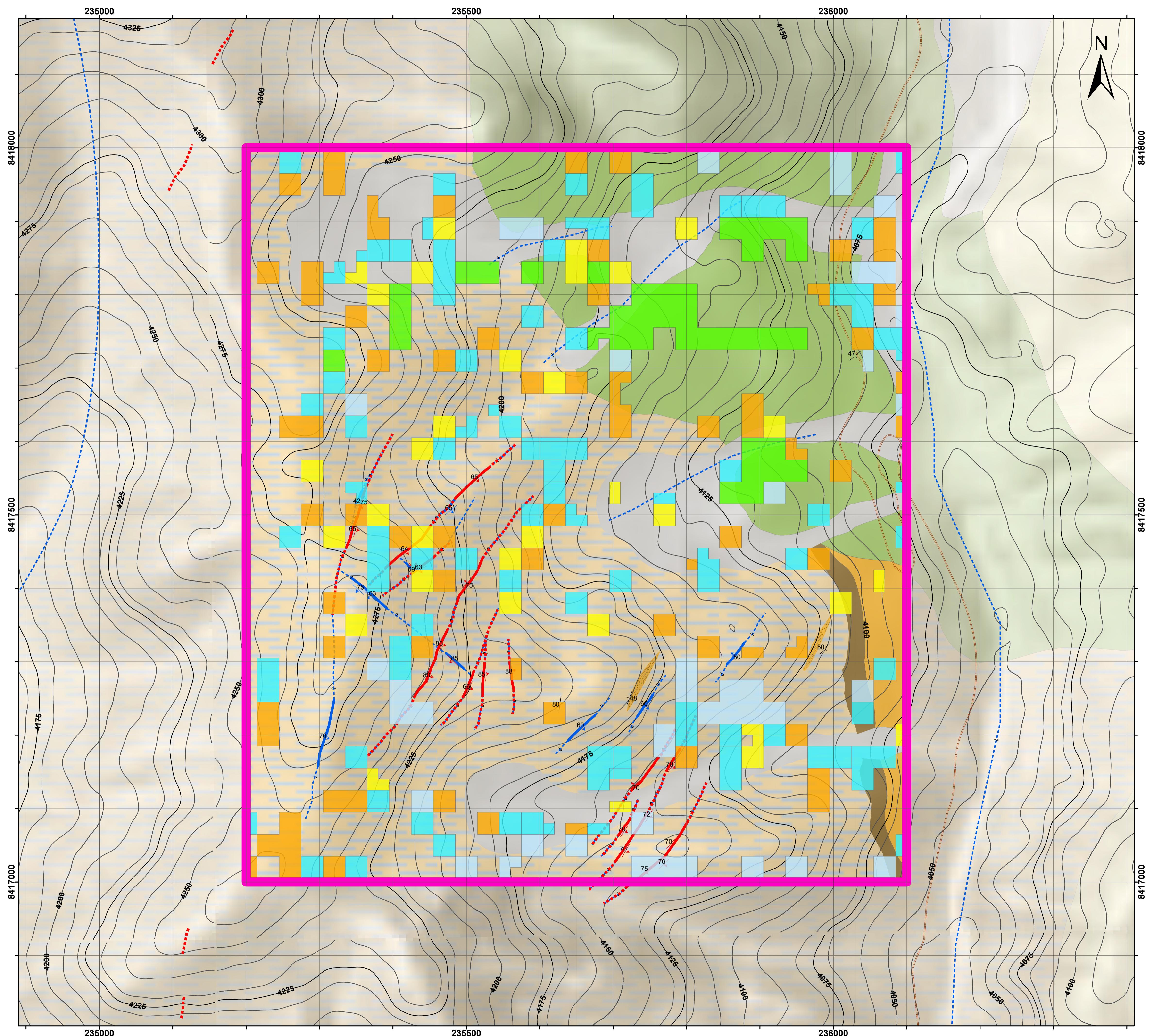
09

Datum/Zona: Escala: Fecha:
WGS84/19S 1:2500 28/04/2025

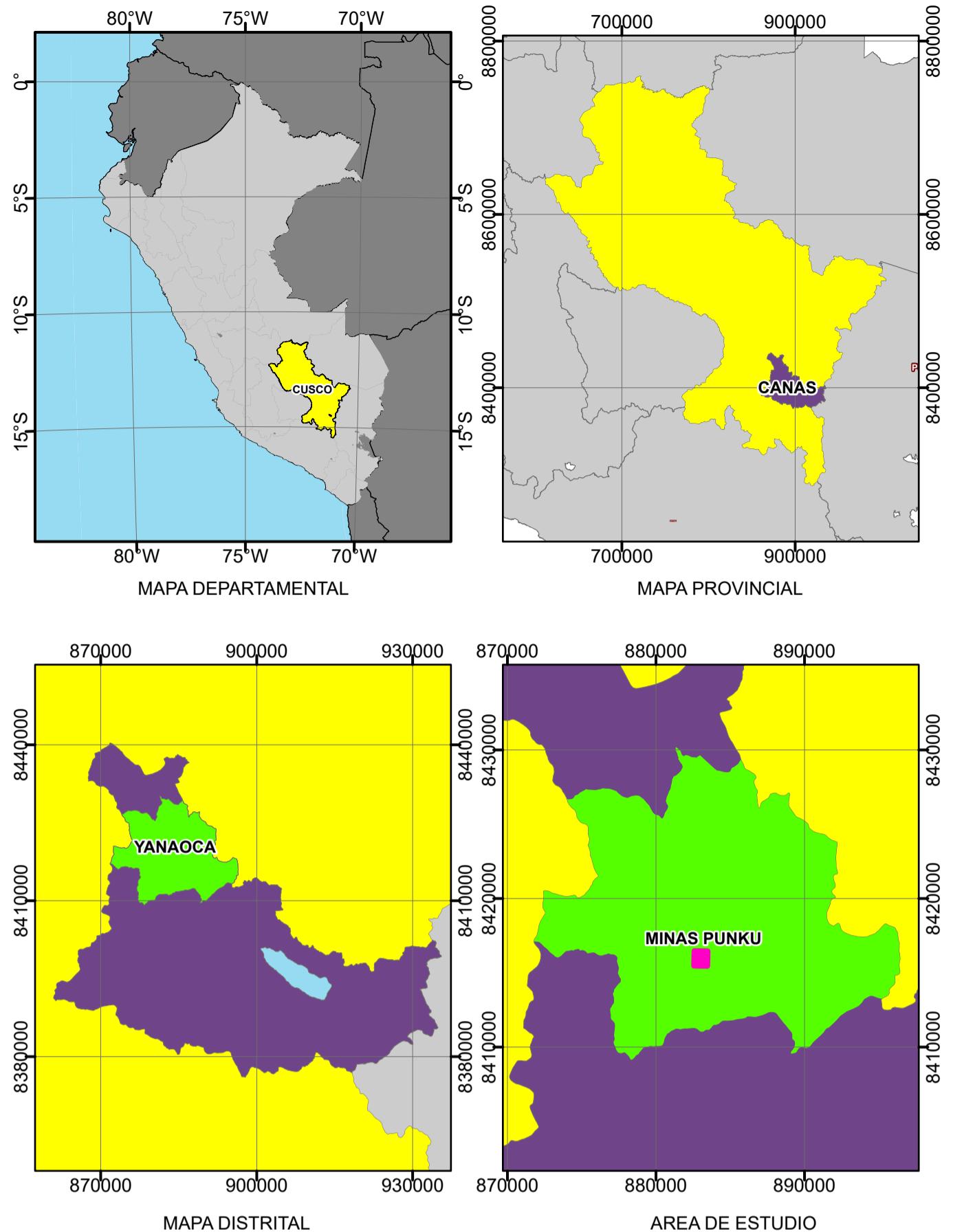
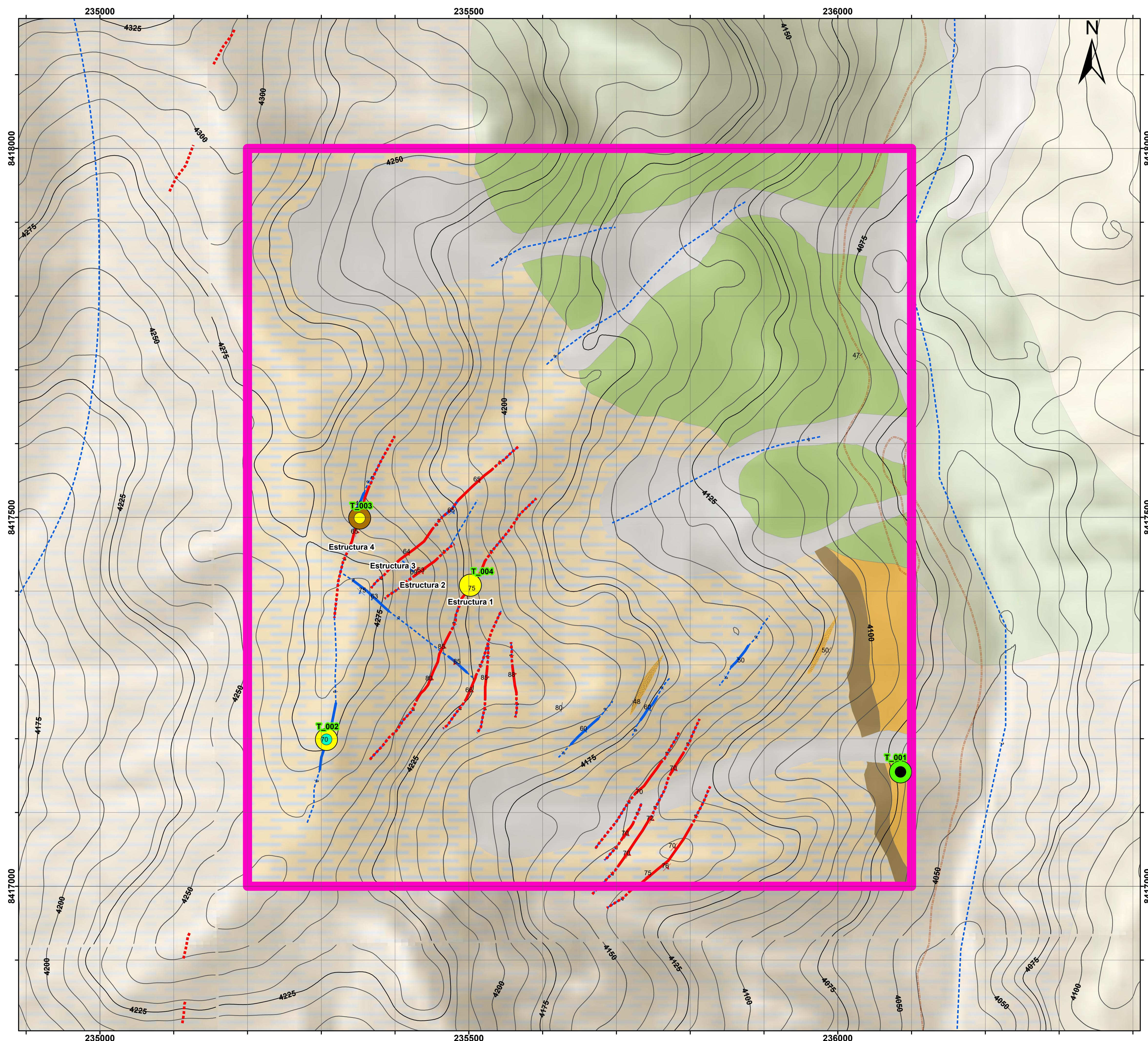
Anexo 11: MAPA DE MINERALIZACION



Anexo 12: MAPA ASTER



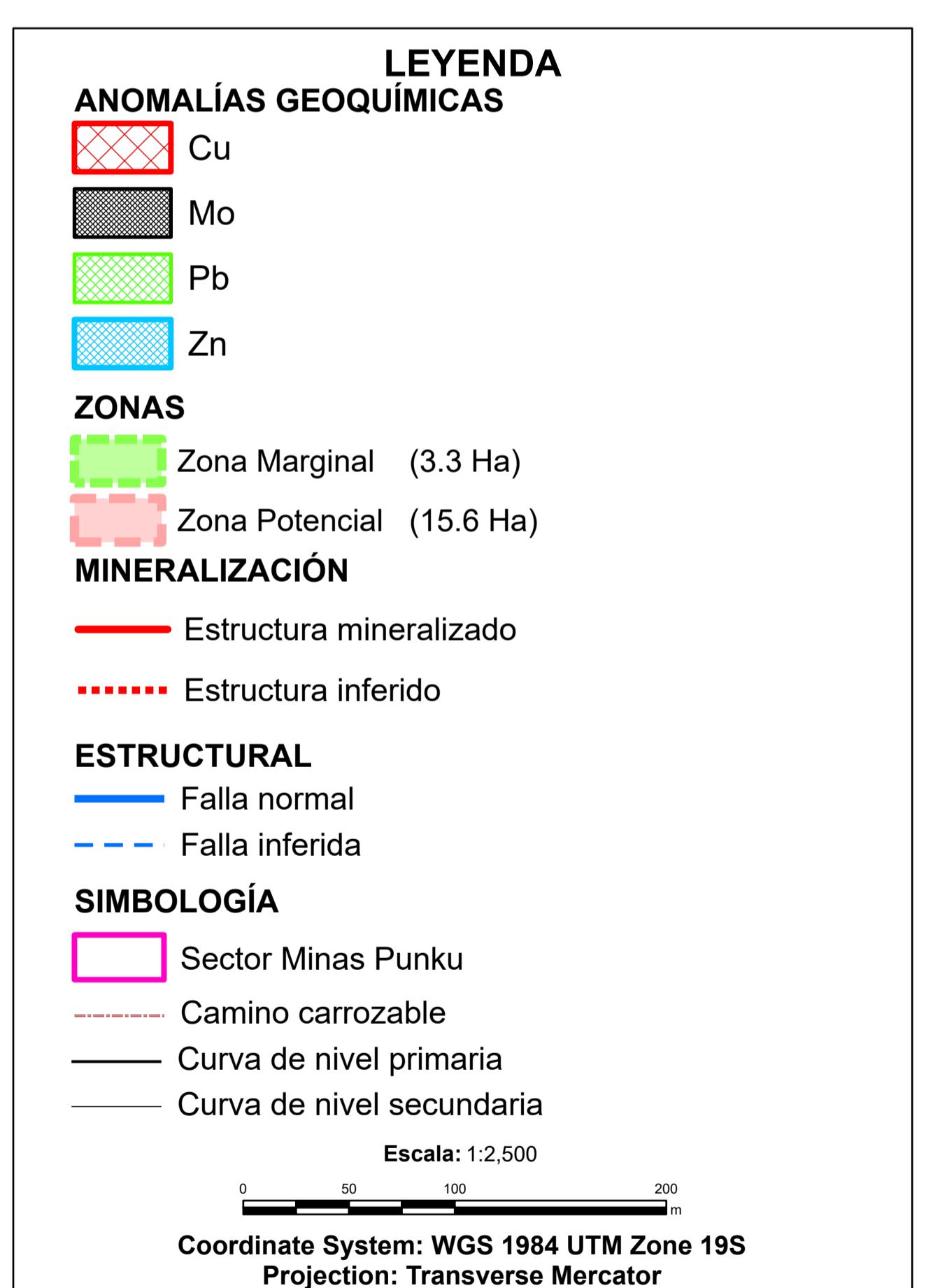
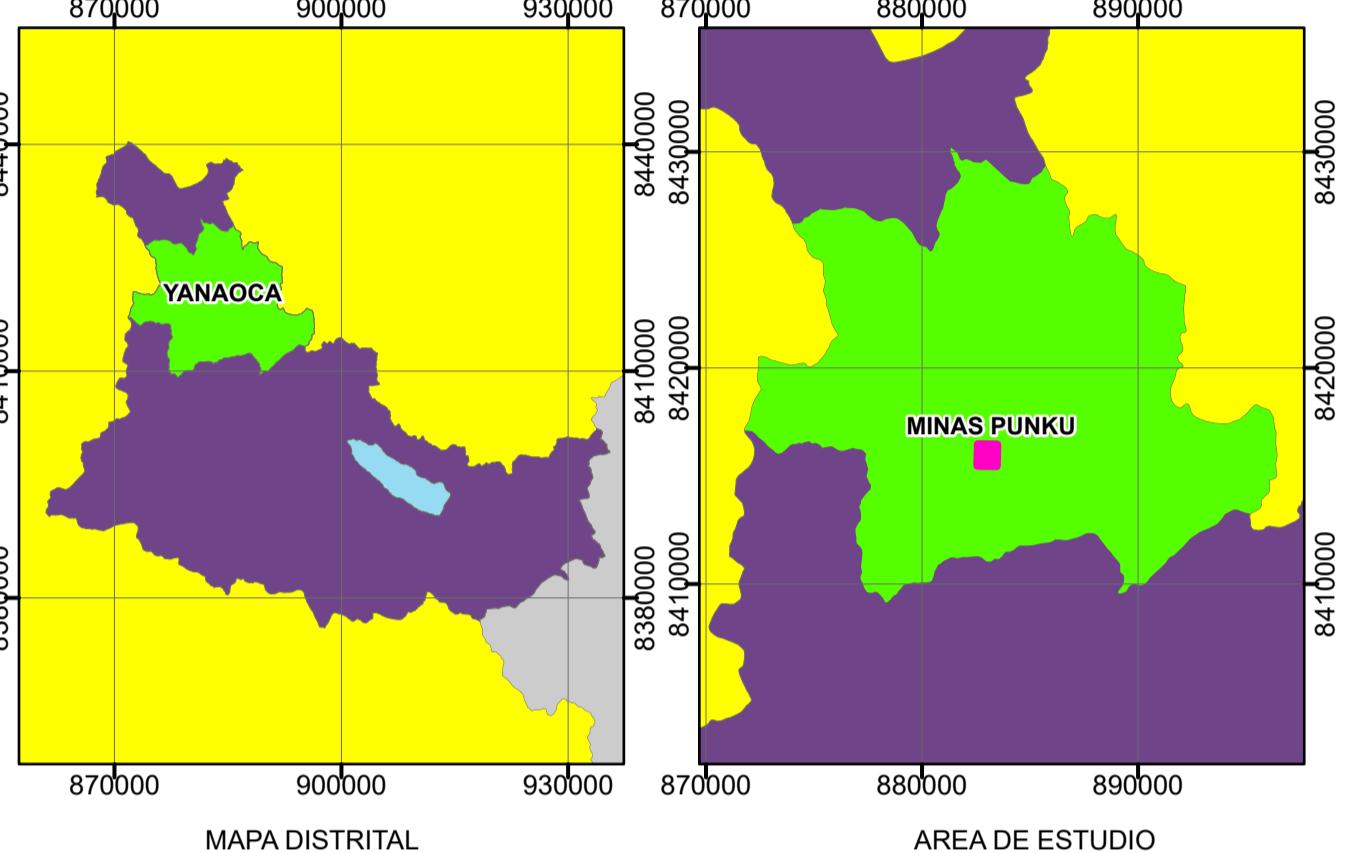
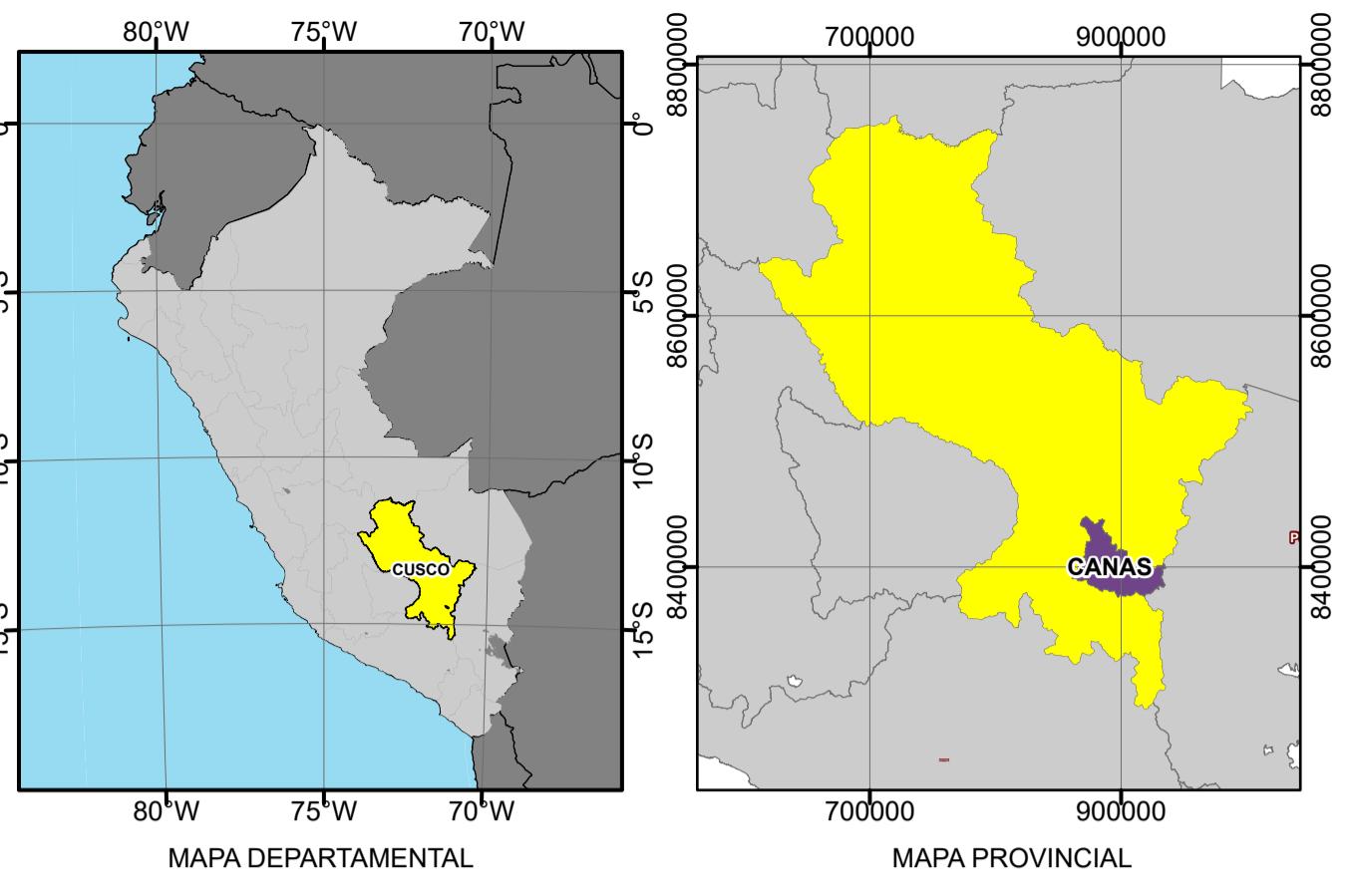
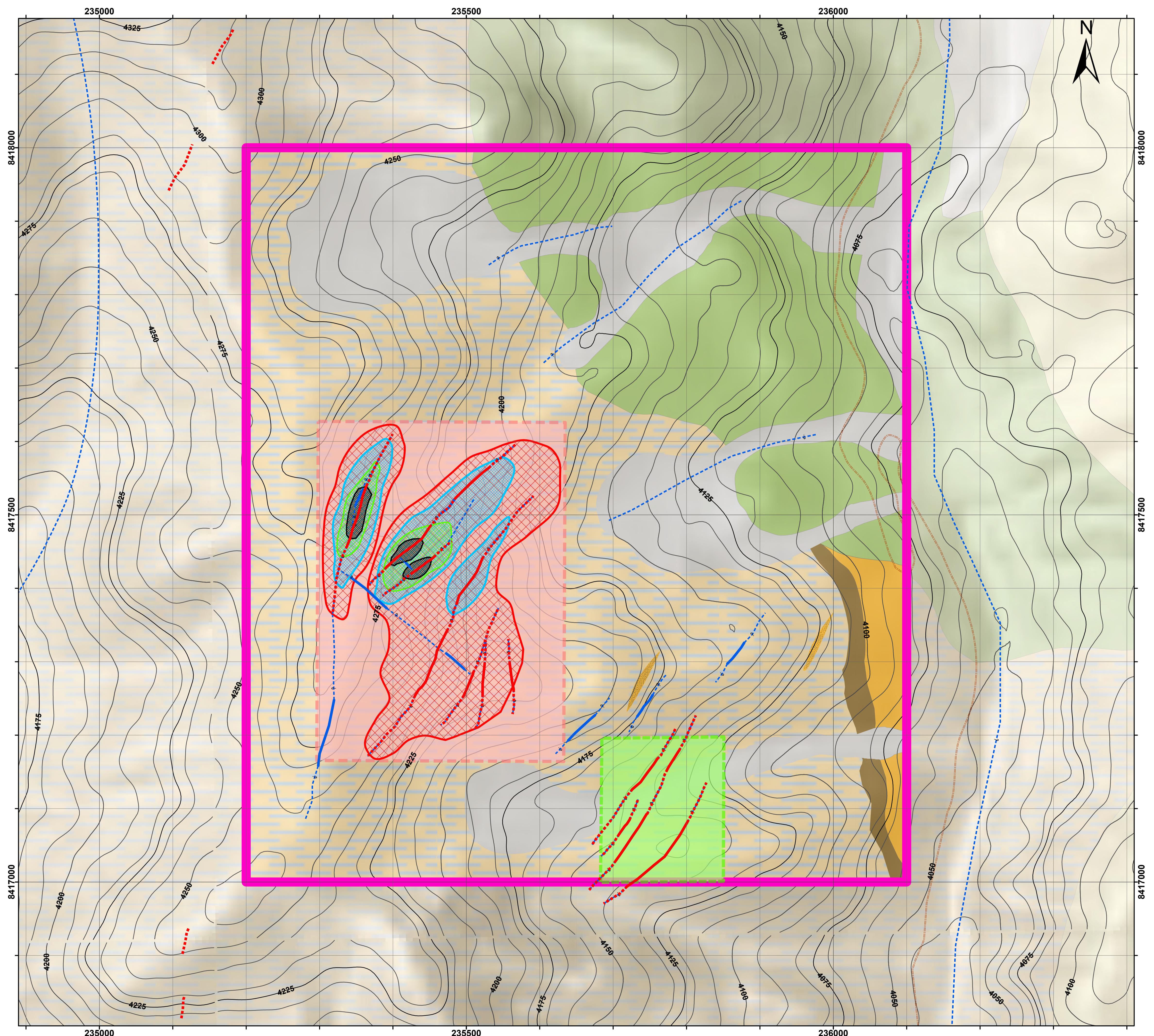
Anexo 13: MAPA DE TERRASPEC



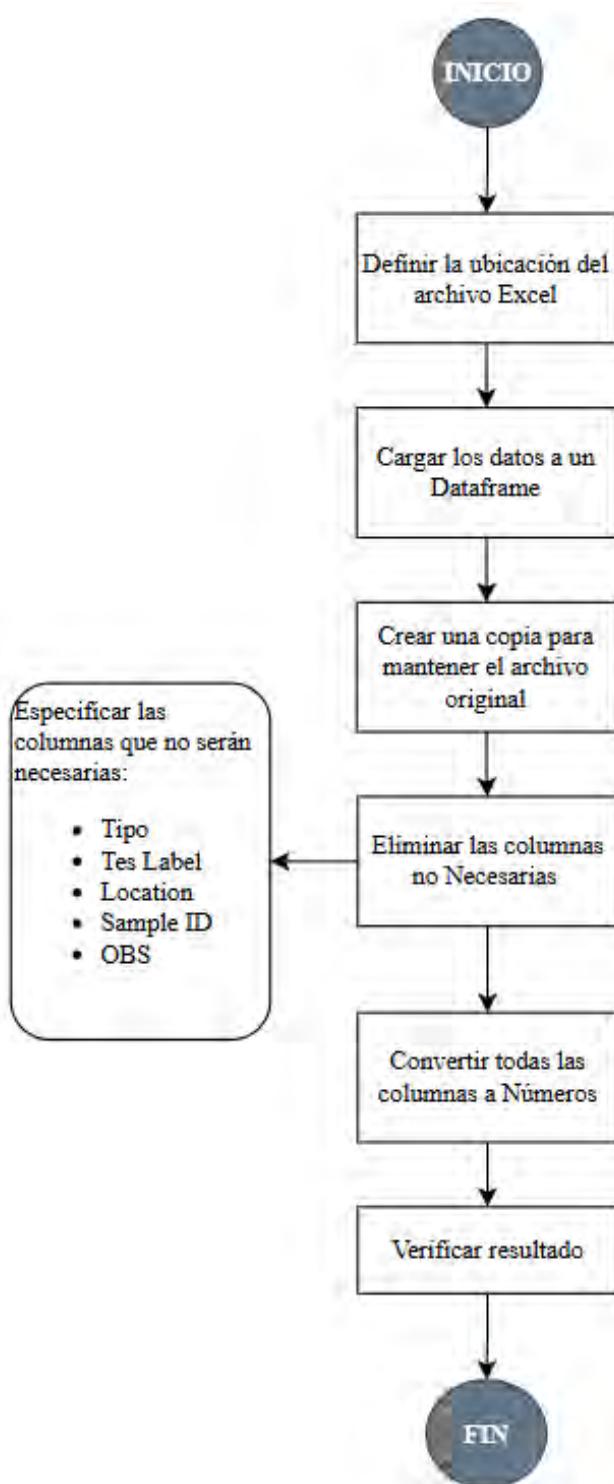
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO	“PROSPECCIÓN GEOLÓGICA Y GEOQUÍMICA PARA LA EXPLORACIÓN DE COBRE EN EL SECTOR MINAS PUNKU – YANAOCHA – CUSCO, 2024”
MAPA DE TERRASPEC	
ELABORADO POR:	Mapa N°:
- EDWIN MAMANI CHOQUETAIPÉ - KEIKO R. CHOQUE QUISPE	12
Datum/Zona: WGS84/19S	Escala: 1:2500
	Fecha: 28/04/2025

Anexo 14: MAPA GEOQUIMICO

Anexo 15: MAPA DE ANOMALIAS GEOQUIMICAS



Anexo 16: LECTURA Y PREPARACIÓN DE DATOS GEOQUÍMICOS DESDE EXCEL



```

# -----
# 1. DEFINIR LA UBICACIÓN DEL ARCHIVO EXCEL
# -----
# Aquí especificamos la ruta al archivo que contiene los datos geoquímicos
ruta_archivo = '/content/drive/MyDrive/Geoquimica /ESTRUCTURAS.xlsx'

# -----
# 2. CARGAR LOS DATOS EN UN DATAFRAME
# -----
# Leemos el contenido del archivo de Excel y lo almacenamos en una tabla llamada df_original
import pandas as pd
df_original = pd.read_excel(ruta_archivo)

# -----
# 3. CREAR UNA COPIA PARA MANTENER EL ORIGINAL INTACTO
# -----
df = df_original.copy()

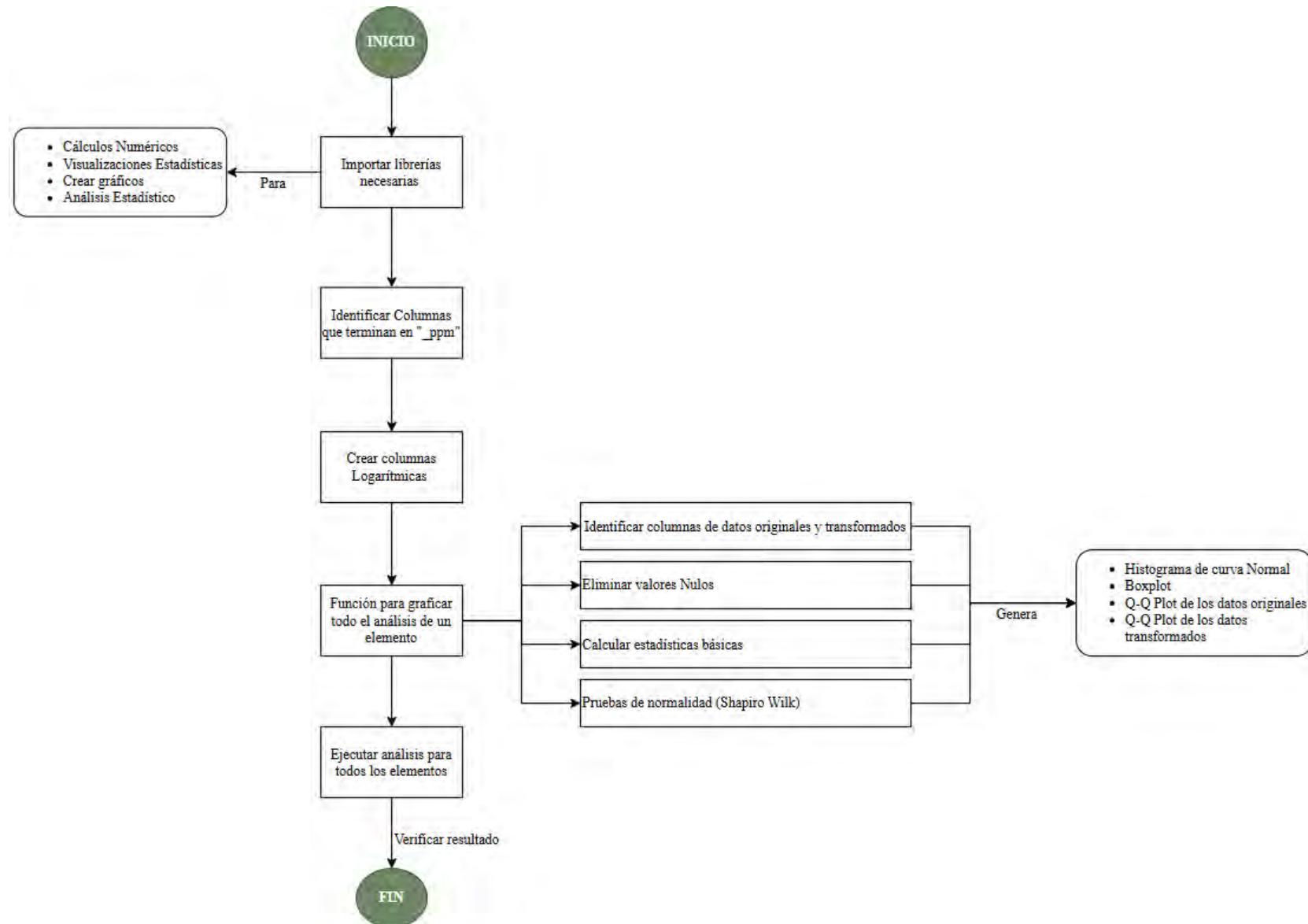
# -----
# 4. ESPECIFICAR LAS COLUMNAS QUE NO SERÁN NECESARIAS
# -----
# Estas columnas no se usan en el análisis posterior y serán eliminadas
columnas_a_eliminar = [
    'TIPO', 'Test Label', 'Units', 'Customer',
    'Project No.', 'Location', 'Test Count',
    'SAMPLE ID', 'OBS'
]
# -----
# 5. ELIMINAR LAS COLUMNAS NO NECESARIAS
# -----
# 'errors=ignore' evita errores si alguna columna no está presente
df = df.drop(columns=columnas_a_eliminar, errors='ignore')

# -----
# 6. CONVERTIR TODAS LAS COLUMNAS A NÚMEROS (excepto 'Estructura')
# -----
# Esto permite trabajar con los datos de manera cuantitativa (ej. estadística, gráficas)
for col in df.columns:
    if col != 'Estructura':
        df[col] = pd.to_numeric(df[col], errors='coerce') # Valores no convertibles se vuelven NaN

# -----
# 7. VERIFICAR EL RESULTADO
# -----
# Muestra las columnas, sus tipos de datos y cuántos valores no nulos tiene cada una
df.info()

```

Anexo 17: ANALISIS ESTADISTICO POR ELEMENTOS QUIMICOS



```

# =====
# 1. Importar librerías necesarias
# =====

import numpy as np          # Para cálculos numéricos
import seaborn as sns       # Para visualizaciones estadísticas
import matplotlib.pyplot as plt # Para crear gráficos
from scipy import stats      # Para análisis estadístico (como Shapiro-Wilk)

# =====
# 2. Identificar columnas que terminan en "_ppm"
# =====

# Esto nos permite localizar los elementos químicos medidos en partes por millón
element_columns = [col for col in df.columns if col.endswith('_ppm')]

# Quitamos "_ppm" del nombre para usarlo como nombre base del elemento
elements_to_transform = [col.replace('_ppm', '') for col in element_columns]

# =====
# 3. Crear nuevas columnas logarítmicas (Ln)
# =====

# Esto transforma los datos para que se ajusten mejor a una distribución normal
for element in elements_to_transform:
    original_col = f'{element}_ppm'    # Nombre de la columna original (ej: "Al_ppm")
    log_col = f'Ln {element}'         # Nuevo nombre de la columna transformada (ej: "Ln Al")
    df[log_col] = df[original_col].apply(lambda x: np.log(x) if x > 0 else np.nan) # Si es <= 0, se
    reemplaza con NaN

# Guardamos los nombres de las nuevas columnas logarítmicas
log_element_columns = [f'Ln {el}' for el in elements_to_transform]

# =====
# 4. Función para graficar todo el análisis de un elemento
# =====

def plot_all_in_one(df, element):
    # Identificar columnas de datos originales y transformados
    raw_col = f'{element}_ppm'
    log_col = f'Ln {element}'

    # Eliminar valores nulos (NaN)
    data = df[log_col].dropna()
    raw_data = df[raw_col].dropna()

    # Calcular estadísticas básicas
    mu_log, sigma_log = data.mean(), data.std()
    mu_raw, sigma_raw = raw_data.mean(), raw_data.std()

```

```

# Pruebas de normalidad (Shapiro-Wilk)
stat_log, p_log = stats.shapiro(data)
stat_raw, p_raw = stats.shapiro(raw_data)

# Crear figura de 2x2 subgráficos
fig, axs = plt.subplots(2, 2, figsize=(14, 10))
fig.suptitle(f'Análisis de {element}', fontsize=16)

# === Gráfico 1: Histograma con curva normal ===
ax = axs[0, 0]
sns.histplot(data, kde=True, stat='density', color='skyblue', edgecolor='black', ax=ax,
label='Histograma KDE')
x = np.linspace(*ax.get_xlim(), 100)
p = stats.norm.pdf(x, mu_log, sigma_log)
ax.plot(x, p, 'r', linewidth=2, label='Distribución Normal')
ax.set_title(f'Histograma (Ln {element})')
ax.set_xlabel('')
ax.grid(True, linestyle='--', alpha=0.6)
ax.legend(loc='upper center', bbox_to_anchor=(0.5, 1.15), ncol=2, fontsize=9)
ax.text(
    0.95, 0.95,
    f'Media: {mu_log:.3f}\nDesv.Est: {sigma_log:.3f}\nN: {len(data)}',
    ha='right', va='top',
    transform=ax.transAxes,
    bbox=dict(boxstyle="round,pad=0.3", facecolor="white", alpha=0.7),
    fontsize=9
)
# === Gráfico 2: Boxplot ===
ax = axs[0, 1]
sns.boxplot(y=data, color='lightsteelblue', width=0.3, ax=ax)
ax.set_title(f'Boxplot (Ln {element})')
ax.set_ylabel('')
ax.grid(True, linestyle='--', alpha=0.6, axis='y')

# === Gráfico 3: Q-Q Plot de los datos originales ===
ax = axs[1, 0]
stats.probplot(raw_data, dist="norm", plot=ax)
ax.set_title(f'Q-Q Plot ({element}_ppm)')
ax.grid(True, linestyle='--', alpha=0.6)
ax.text(
    0.95, 0.05,
    f'Media: {mu_raw:.3f}\nDesv.Est: {sigma_raw:.3f}\nN: {len(raw_data)}\nShapiro-Wilk: {stat_raw:.3f}\nP-valor: {p_raw:.3f}',
    ha='right', va='bottom',
    transform=ax.transAxes,
    bbox=dict(boxstyle="round,pad=0.3", facecolor="white", alpha=0.7),
)

```

```

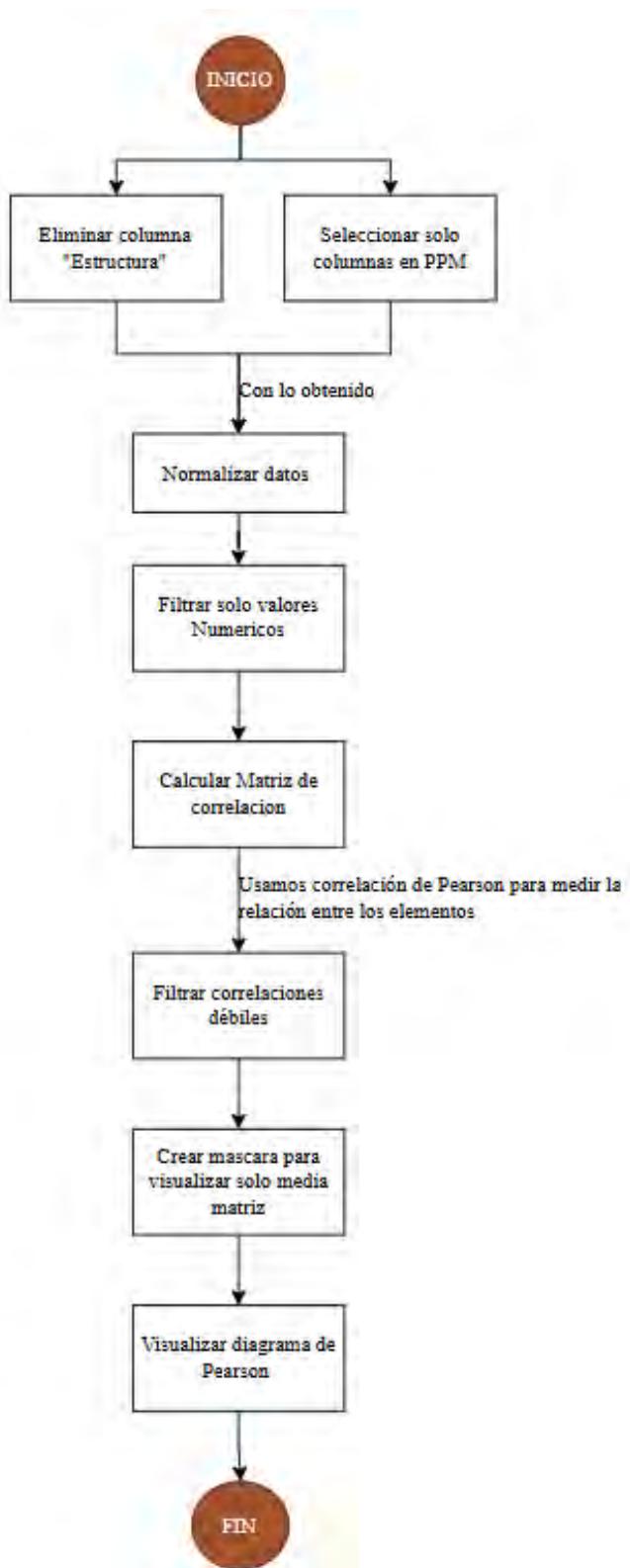
# === Gráfico 4: Q-Q Plot de los datos transformados ===
ax = axs[1, 1]
stats.probplot(data, dist="norm", plot=ax)
ax.set_title(f'Q-Q Plot (Ln {element})')
ax.grid(True, linestyle='--', alpha=0.6)
ax.text(
    0.95, 0.05,
    f'Media: {mu_log:.3f}\nDesv.Est: {sigma_log:.3f}\nN: {len(data)}\nShapiro-Wilk:
{stat_log:.3f}\nP-valor: {p_log:.3f}',
    ha='right', va='bottom',
    transform=ax.transAxes,
    bbox=dict(boxstyle="round,pad=0.3", facecolor="white", alpha=0.7),
    fontsize=9
)

# Ajustar márgenes y mostrar la figura
plt.tight_layout(rect=[0, 0, 1, 0.96])
plt.show()

# =====
# 5. Ejecutar análisis para todos los elementos
# =====
for element in elements_to_transform:
    plot_all_in_one(df, element)

```

Anexo 18: ANÁLISIS DE CORRELACIONES ENTRE ELEMENTOS QUÍMICOS (PPM)



```

# -----
# 1. ELIMINAR LA COLUMNA "Estructura"
# -----
# Esta columna es categórica y no se usa para el análisis de correlaciones
columnas_a_eliminar = ['Estructura']
df = df.drop(columns=columnas_a_eliminar, errors='ignore') # 'errors=ignore' evita error si
no existe

# -----
# 2. SELECCIONAR SOLO LAS COLUMNAS EN PPM
# -----
# Buscamos las columnas que contienen "ppm" en su nombre (concentraciones químicas)
ppm_cols = [col for col in df.columns if 'ppm' in col.lower()]

# NORMALIZAR LOS DATOS
scaler = StandardScaler()
scaled_data = scaler.fit_transform(numeric_ppm_df)

# -----
# 3. FILTRAR SOLO VALORES NUMÉRICOS
# -----
# A veces hay columnas con texto; aquí filtramos para quedarnos solo con datos numéricos
numeric_ppm_df = df[ppm_cols].select_dtypes(include='number')

# -----
# 4. CALCULAR MATRIZ DE CORRELACIÓN
# -----
# Usamos correlación de Pearson para medir la relación entre los elementos
corr_matrix = numeric_ppm_df.corr()

# -----
# 5. FILTRAR CORRELACIONES DÉBILES
# -----
# Reemplazamos las correlaciones menores o iguales a 0.5 con NaN
# La diagonal (correlación consigo mismo) se mantiene en 1
filtered_corr = corr_matrix.copy()
filtered_corr[(filtered_corr <= 0.5) & (filtered_corr != 1.0)] = np.nan

# -----
# 6. CREAR UNA MÁSCARA PARA MOSTRAR SOLO MEDIA MATRIZ
# -----
# La matriz de correlación es simétrica, por lo que ocultamos la parte superior
mask = np.triu(np.ones_like(filtered_corr, dtype=bool), k=1)

```

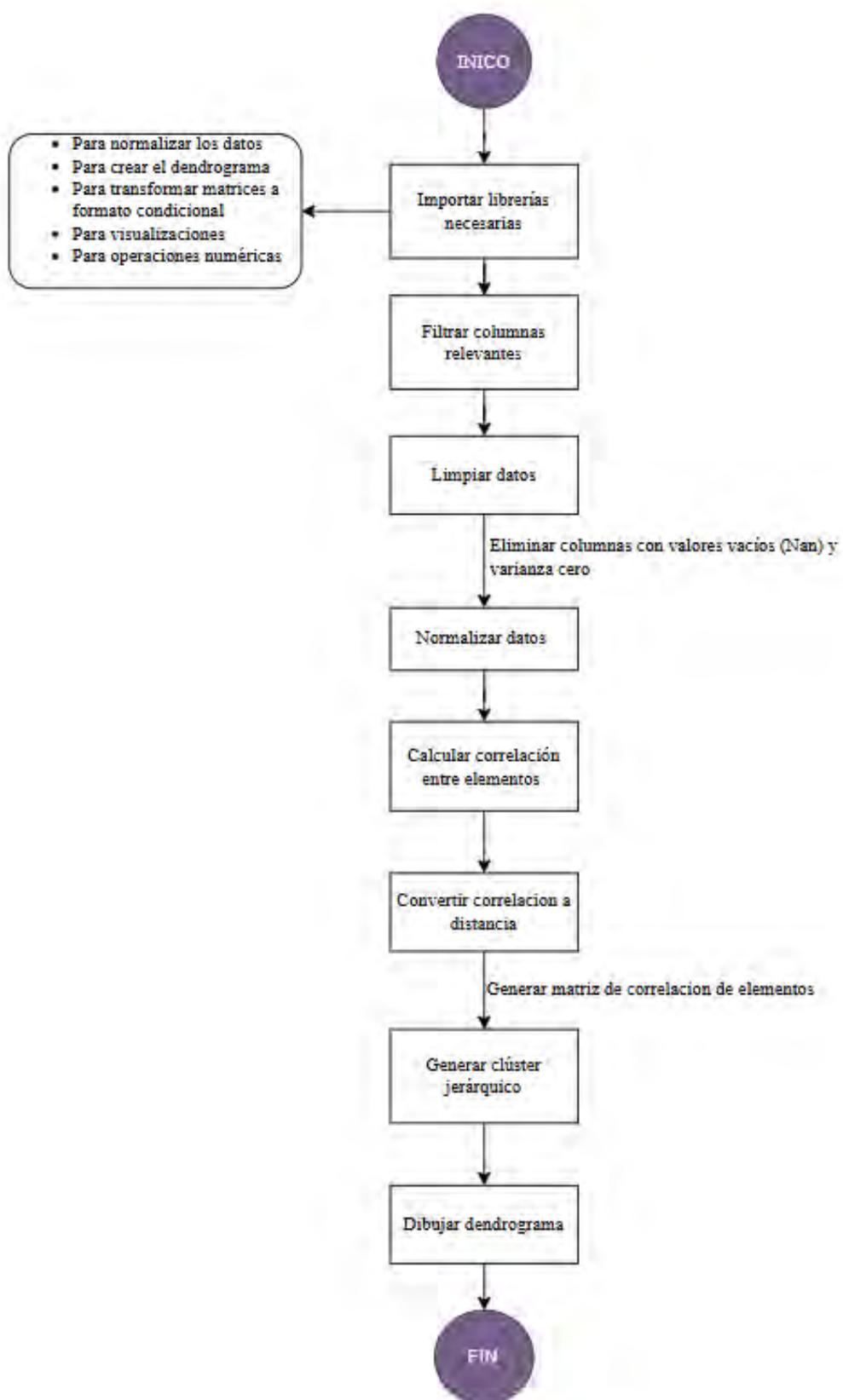
```
# -----
# 7. VISUALIZAR MAPA DE CALOR DE CORRELACIONES
# -----
import matplotlib.pyplot as plt
import seaborn as sns

plt.figure(figsize=(16, 12)) # Ajustar tamaño del gráfico

# Crear mapa de calor con los valores filtrados y máscara
sns.heatmap(
    filtered_corr,          # Solo correlaciones fuertes
    cmap='rainbow',         # Paleta de colores
    annot=True,             # Mostrar valores numéricos
    fmt=".2f",              # Dos decimales
    mask=mask | filtered_corr.isna(), # Ocultar parte superior y NaN
    vmin=-1, vmax=1,        # Rango de colores
    linewidths=0.5, square=True
)

plt.title("Mapa de calor de correlaciones > 0.5 entre elementos químicos (ppm)", fontsize=14)
plt.xlabel("Elemento químico")
plt.ylabel("Elemento químico")
plt.tight_layout()
plt.show()
```

Anexo 19: ANALISIS DE DENDROGRAMA



```

# =====
# 1. Importar librerías necesarias
# =====

from sklearn.preprocessing import StandardScaler # Para normalizar los datos
from scipy.cluster.hierarchy import dendrogram, linkage # Para crear el dendrograma
from scipy.spatial.distance import squareform # Para transformar matrices a formato
# condicional
import matplotlib.pyplot as plt # Para visualizaciones
import numpy as np # Para operaciones numéricas
import pandas as pd # Para manejo de datos

# =====
# 2. Filtrar columnas relevantes
# =====

# Paso 1: Buscar columnas que terminan en "_ppm" y que son numéricas
ppm_cols = [col for col in df.columns if col.endswith('_ppm') and
pd.api.types.is_numeric_dtype(df[col])]

# Crear un nuevo DataFrame solo con esas columnas
num_df = df[ppm_cols]

# =====
# 3. Limpiar datos
# =====

# Paso 2: Eliminar columnas que tengan valores vacíos (NaN)
num_df = num_df.dropna(axis=1)

# Paso 3: Eliminar columnas con varianza cero (es decir, sin variación)
num_df = num_df.loc[:, num_df.std() > 0]

# =====
# 4. Normalizar los datos
# =====

# Paso 4: Aplicar estandarización (media = 0, desviación = 1)
scaler = StandardScaler()
scaled_data = scaler.fit_transform(num_df)

# =====
# 5. Calcular correlación entre elementos
# =====

# Paso 5: Calcular matriz de correlación entre columnas (elementos químicos)
corr = np.corrcoef(scaled_data.T)

# Paso 6: Asegurar que la matriz sea perfectamente simétrica
corr = (corr + corr.T) / 2

```

```

# =====
# 6. Convertir correlación a distancia
# =====
# Paso 7: Transformar la correlación en una medida de distancia (1 - correlación)
dist = 1 - corr

# Paso 8: Forzar simetría en la matriz de distancia
dist = (dist + dist.T) / 2

# Paso 9: Reemplazar diagonal con ceros (distancia consigo mismo es cero)
np.fill_diagonal(dist, 0)

# =====
# 7. Clustering jerárquico
# =====
# Paso 10: Convertir matriz a formato condicional y aplicar clustering
linkage_matrix = linkage(squareform(dist), method='average') # Método de agrupamiento: promedio

# =====
# 8. Dibujar dendrograma
# =====
# Paso 11: Visualizar el dendrograma que agrupa los elementos químicos
plt.figure(figsize=(14, 6))
dendrogram(linkage_matrix, labels=num_df.columns, leaf_rotation=90)
plt.title('Dendrograma de Elementos Químicos por Correlación')
plt.xlabel('Elemento')
plt.ylabel('Distancia (1 - correlación)')
plt.tight_layout()
plt.show()

```

**Anexo 20: DOCUMENTO DE XRF
(ESPECTROMETRÍA DE
FLUORESCENCIA DE RAYOS X)**

Vanta VMR Geochemistry LODs**GRAPHENE**
Detector Window**Vanta™ XRF Analyzer**
Rugged. Revolutionary. Productive.

Olympus is a leader in XRF technology with a reputation for durability, quality, and accuracy. Vanta™ handheld XRF analyzers incorporate Olympus' Axon Technology™ to deliver higher X-ray counts and high sensitivity for analysis of all types of mineral exploration, mining, processing/metallurgical, laboratory, and environmental samples.

Every Vanta analyzer is drop tested, features Olympus' Axon Technology, and is rugged, fast, and reliable.

Vanta analyzers are capable of measuring elements from concentrations as low as single parts per million (ppm) all the way up to 100%.

The limits of detection (LODs) represent the calculated value using a three-sigma, 99.7% confidence level. The LOD for each element is a function of the testing time. Please contact your local Olympus representative for more information.

The LOD table gives an indication of the performance of the Vanta model VMR across many elements and sets of certified standards.

- LODs were developed by testing a variety of certified reference materials or standards.
- LODs are dependent on testing time, sample heterogeneity, the presence/absence of interfering elements, and the beam conditions used (kV and μA of the X-ray tube and filter settings).
- All values are determined using multiple automatically selected beam conditions.
- The LOD (3 sigma) is the lowest quantity of an element that can be detected in an interference-free silica blank.
- There are many commonly known inter-element interferences, such as iron (Fe) on cobalt (Co), titanium (Ti) on barium (Ba), and lead (Pb) on arsenic (As). Please contact your Olympus representative for more information.
- Analysis time is 120 seconds per beam condition.
- Only the common elements are listed, other elements are possible.
- Additional information regarding gold (Au) analysis:
 - Gold naturally forms clumps or 'nuggets' and is unevenly distributed in the sample. Reported values will be high compared to lab assay when a nugget is in the X-ray beam and low if the nugget is missed.
 - Gold has multiple inter-element interferences including arsenic (As), zinc (Zn), tungsten (W), and selenium (Se). Therefore, gold (Au) results might be either over-reported (false positives) or under-reported (not detected). The use of pathfinder elements is recommended for gold exploration.

Vanta VMR GeoChem LODs					
Element	LOD (ppm) 40 kV	LOD (ppm) 50 kV	Element	LOD (ppm) 40 kV	LOD (ppm) 50 kV
Mg	1800	1800	Y	1	1
Al	125	125	Zr	1	1
Si	190	190	Nb	2	2
P	20	20	Mo	1	1
S	15	15	Ag	2	1
K	15	15	Cd	2	1
Ca	20	20	Sn	2	2
Tl	20	20	Sb	2	2
Ba	10	10	Ta	2	2
V	5	5	W	1	1
Cr	10	10	Au	1	1
Mn	5	5	Hg	1	1
Fe	15	15	Pb	2	2
Co	2	2	Bi	2	2
Ni	4	4	Th	2	2
Cu	2	2	U	1	1
Zn	1	1	La	—	20
As	1	1	Ce	—	30
Se	1	1	Pr	—	35
Rb	1	1	Nd	—	50
Sr	1	1			

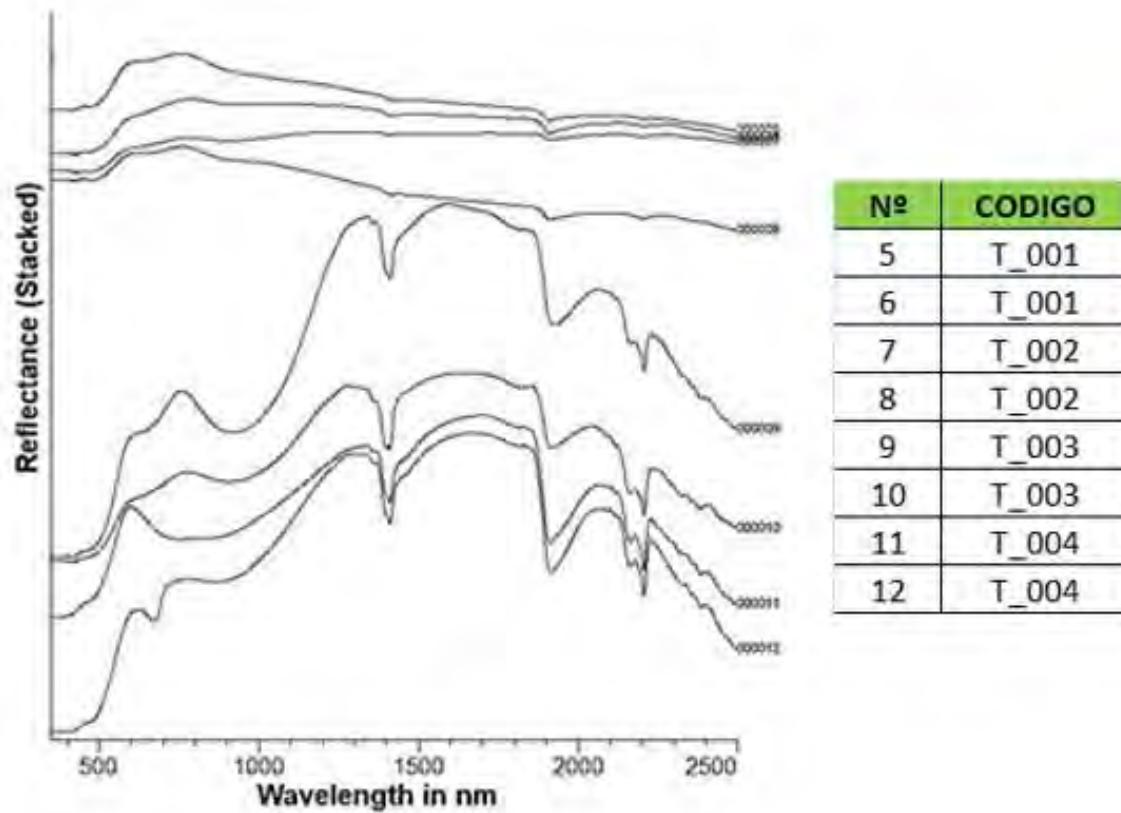
www.olympus-ims.com

**Anexo 21: RESULTADOS POR
ESTRUCTURA DE XRF
(ESPECTROMETRÍA DE
FLUORESCENCIA DE RAYOS X)**

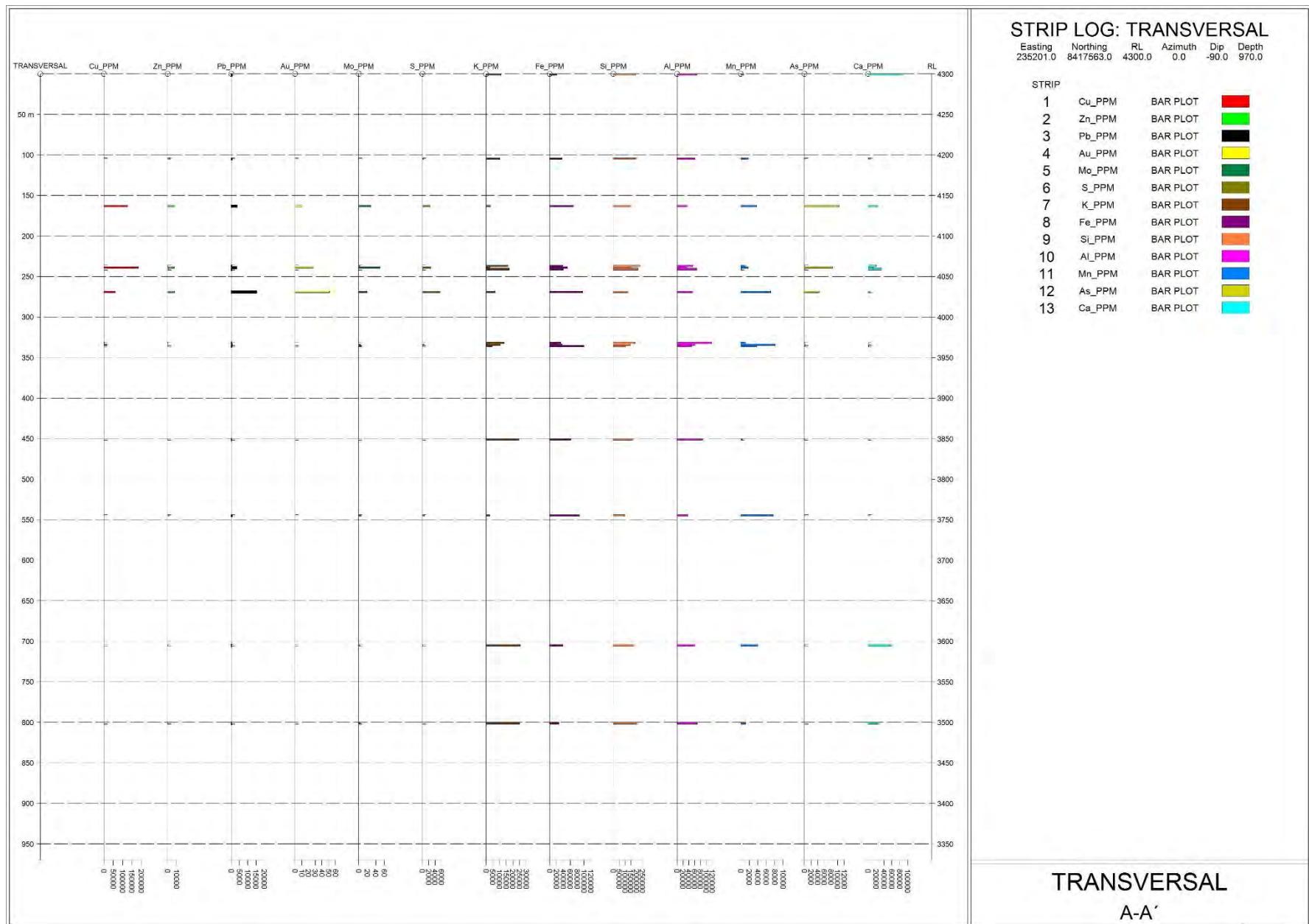
SAMPLE_ID	TIPO	Test_Label	Units	Al_ppm	Si_ppm	Si_ppm	K_ppm	Ca_ppm	Ti_ppm	Cr_ppm	Mn_ppm	Fe_ppm	Co_ppm	Ni_ppm	Cu_ppm	Zn_ppm	As_ppm	Rb_ppm	Sr_ppm	Y_ppm	Zr_ppm	Mg_ppm	Ag_ppm	Cd_ppm	Sn_ppm	Sb_ppm	Ba_ppm	Ce_ppm	Au_ppm	Hg_ppm	Pb_ppm	Bi_ppm	Customer	Project_No.	Location	Test_Count	SAMPLE_ID	ESTE	NORTE	ELEVACION	OBST
M001	Roca Piso	S-#P1	PPM	65398	150621	317	7968	2083	4642	37	1651	49269	0	18	284	341	63	34	357	31	174	0	0	0	40	0	184	124	0	0	87	0	1a	Top	4	235503	8417407	4220 Conglomerados			
M002	Roca Piso	S-#P2	PPM	47073	107176	0	5357	1114	3025	49	3152	84689	0	0	209	667	62	35	325	29	163	8	0	0	40	0	184	124	0	0	87	0	1b	Top	5	235503	8417407	4220 Conglomerados			
M003	Roca Piso	S-#P3	PPM	32658	54288	157	885	452	255	103	6216	167437	0	0	220	825	215	18	257	69	115	9	0	0	43	57	629	244	0	0	92	0	70 1c	Top	6	235503	8417407	4220 Conglomerados			
M004	Estructura	T-#P1	PPM	52528	116828	658	7368	5000	1548	314	22836	33137	0	170	23766	460	361	95	336	158	182	0	0	23	31	0	789	197	0	0	11	441	0	2a	Top	7	235502	8417408	4220 Estructura 01		
M005	Estructura	T-#P2	PPM	61118	146268	837	13970	4978	4647	0	206	32205	0	39	15566	412	177	132	442	27	242	9	6	0	0	0	0	183	0	0	0	195	0	2b	Top	8	235502	8417408	4220 Estructura 01		
M006	Estructura	T-#P3	PPM	70423	168079	0	11301	6803	3041	54	1305	42403	0	61	5766	522	243	99	438	25	221	5	6	0	0	0	0	66	125	0	0	0	108	0	2c	Top	9	235502	8417408	4220 Estructura 01	
M007	Roca Tech	G-#P1	PPM	147256	203865	0	7651	751	3116	0	837	28669	100	21	742	295	96	74	318	13	180	0	0	0	0	0	0	517	139	0	0	0	106	0	3a	Top	10	235500	8417410	4220 Conglomerados	
M008	Roca Tech	G-#P2	PPM	59594	159491	0	14783	1874	6251	88	1737	35361	0	37	1182	281	91	94	481	32	299	0	0	0	30	0	400	219	0	0	8	69	0	3b	Top	11	235500	8417410	4220 Conglomerados		
M009	Roca Tech	G-#P3	PPM	10852	191166	0	1737	1954	4117	0	714	31478	0	23	546	440	64	106	387	30	228	0	0	0	0	0	515	142	0	0	47	0	3c	Top	12	235500	8417410	4220 Conglomerados			
M010	Roca Piso	1-#P1	PPM	83137	220857	203	11445	13517	2918	0	738	27413	0	15	104	2525	17	52	167	21	93	0	0	70	30	38	540	0	0	0	535	0	4b	Top	13	235501	8417528	4303 Conglomerados			
M011	Roca Piso	1-#P2	PPM	64003	195966	466	12221	202	2627	97	2464	38633	0	51	112	319	70	67	95	32	200	0	0	55	0	0	612	0	0	0	56	0	4b	Top	14	235501	8417528	4303 Conglomerados			
M012	Roca Piso	1-#P3	PPM	34904	185511	272	7152	2187	3172	65	2242	45574	0	32	105	1614	10	61	153	16	122	0	0	27	0	0	808	0	0	0	32	0	4c	Top	15	235501	8417528	4303 Conglomerados			
M013	Estructura	1-#P1	PPM	71800	144041	4521	7545	6304	966	66	3576	11835	0	38	9259	9198	8866	32	42	73	0	35	0	287	0	0	402	192	0	0	153	0	2b	Top	16	235430	8417427	4303 Estructura 02			
M014	Estructura	1-#P2	PPM	71823	162074	515	12008	3848	1180	87	11505	48662	0	76	4872	6879	1790	47	60	0	90	8	32	60	40	109	624	175	0	0	10076	0	5b	Top	17	235430	8417427	4303 Estructura 02			
M015	Estructura	1-#P3	PPM	15215	75765	7200	590	4816	0	77	6175	121050	0	46	36388	6672	3021	22	36	0	35	14	28	72	39	110	519	0	0	0	0	13863	0	5c	Top	18	235430	8417427	4303 Estructura 02		
M016	Roca Tech	1-#P1	PPM	86370	207660	0	10893	59363	2214	0	855	2371	87	13	18	641	50	48	95	9	9	0	19	33	34	633	0	0	8	106	0	6a	Top	19	235501	8417563	4303 Conglomerados				
M017	Roca Tech	1-#P2	PPM	60043	284634	2510	0	542	14626	0	17	58	357	35	51	355	6	102	0	0	22	35	0	403	0	0	0	0	0	6b	Top	20	235430	8417563	4303 Conglomerados						
M018	Roca Tech	1-#P3	PPM	54509	80135	1135	1754	854	17638	1886	62	329	6361	145	24	139	1071	121	110	156	15	76	0	0	18	30	50	927	186	0	0	0	278	0	6c	Top	21	235201	8417563	4303 Conglomerados	
M019	Roca Piso	17-#P1	PPM	52365	236750	165	14435	15792	4793	78	1208	37834	131	17	49	321	15	79	585	73	128	0	0	0	0	0	0	533	110	0	0	43	0	7a	Top	22	235416	8417454	4257 Conglomerados		
M020	Roca Piso	17-#P2	PPM	55315	229786	0	18647	24752	4149	0	675	32543	89	15	285	273	42	94	636	20	115	0	0	28	0	0	0	536	0	0	0	49	0	7b	Top	23	235416	8417454	4257 Conglomerados		
M021	Roca Piso	17-#P3	PPM	77478	17493	0	18647	2821	82	1310	46222	0	0	6	311	28	100	485	102	126	0	0	0	68	0	0	1266	0	0	0	88	0	7c	Top	24	235415	8417454	4257 Conglomerados			
M022	Estructura	21-#P1	PPM	40228	167433	2855	3806	12882	791	77	940	58369	88	32	15743	8003	7843	32	176	0	66	37	0	459	51	309	790	183	35	0	3235	0	81a	81a	Top	29	235417	8417453	4257 Estructura 03		
M023	Estructura	21-#P2	PPM	35538	155490	2629	3911	20577	829	97	1422	53729	114	39	140286	8146	7267	32	248	0	69	34	0	476	0	269	751	0	46	0	3090	0	81b	81b	Top	30	235417	8417453	4257 Estructura 03		
M024	Estructura	21-#P3	PPM	21132	136717	2459	1303	4129	335	79	3049	42618	0	55	259837	6226	10301	26	82	21	0	78	0	387	0	107	506	0	0	0	3055	0	81c	81c	Top	31	235417	8417453	4257 Estructura 03		
M025	Roca Tech	25-#P1	PPM	75215	237847	0	20137	48740	2908	0	9	31	857	15	85	77	129	0	0	29	0	435	0	0	0	0	0	30	9a	0	Top	35	235418	8417452	4257 Conglomerados						
M026	Roca Tech	25-#P2	PPM	76830	223407	0	21265	51205	3105	43	181	4040	0	21	62	1518	26	94	358	17	124	0	0	30	25	0	591	0	0	9	52	0	9b	Top	36	235418	8417452	4257 Conglomerados			
M027	Roca Tech	25-#P3	PPM	48540	179158	388	16393	3013	1128	44	630	4949	0	17	546	1748	116	83	235	22	99	0	0	31	0	243	0	0	0	248	0	9c	Top	37	235418	8417452	4257 Conglomerados				
M028	Roca Caja	27-#P1	PPM	51318	151573	0	10458	5662	5651	0	658	25787	0	0	22	345	8	57	626	27	194	7	0	0	0	0	269	0	0	0	29	0	1a	Top	38	236106	8417356	4081 Andesita			
M029	Roca Caja	27-#P2	PPM	69182	190390	0	12336	9756	6343	0	1361	26429	0	12	29	388	12	65	682	30	216	0	0	27	46	339	0	0	0	39	0	1b	Top	39	236106	8417356	4081 Andesita				
M030	Roca Caja	27-#P3	PPM	61638	258657	0	10942	16264	4555	0	254	23940	97	10	28	301	8	46	548	25	167	0	0	27	39	0	406	0	4	0	27	0	1c	Top	40	236105	8417356	4081 Andesita			
M031	Roca Caja	29-#P1	PPM	75195	220826	0	27556	36443	5446	0	327	27693	0	0	17	120	9	119	689	12	135	6	0	21	0	0	752	134	0	0	26	0	1d	Top	41	23603	8417347	4118 Conglomerados			
M032	Roca Caja	29-#P2	PPM	67687	195914	598	2182	1596	3725	135	11641	90136	0	0	102	1683	70	16	178	46	171	6	88	0	0	19	0	0	219	0	0	0	33	0	1d	Top	42	23603	8417347	4118 Conglomerados	
M033	Roca Caja	29-#P3	PPM	99015	199844	504	14719	331	5300	0	564	39349	0	14	97	1580	113	68	67	3	117	0	0	0	22	0	857	113	0	0	0	171	0	1d	Top	43	235552	8417324	4280 Conglomerados		
M047	Roca Caja	39-#P2	PPM	84186	159493	368	12248	551	2511	0	547	39773	0	9	64																										

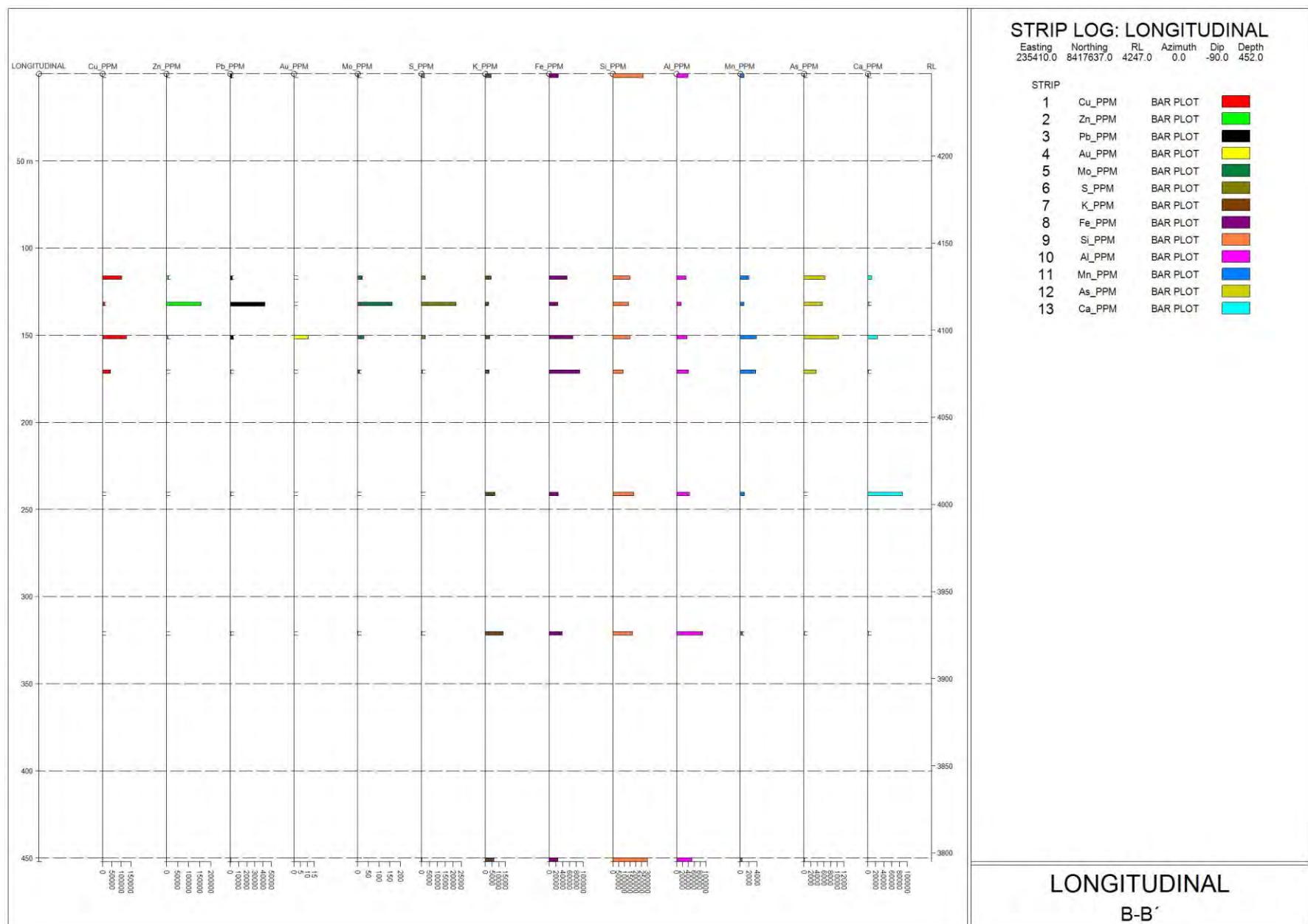
Anexo 22: RESULTADOS DE MUESTRAS POR TERRASPEC

Código	Geoquímica	ID_MUESTRA	Litología	Mineral_1	Intensity_1	Mineral_2	Intensity_2	Mineral_3	Intensity_3	Mineral_4	Intensity_4	MinOx_1	MinOx_2
T_001	5	E_06_A	Andesita	Epidote	3	Nóntronite	2	Montmorillon	1	Phengiticllite	1		
T_002	16	E_10_A	Conglomerado	Kaolinite	4	Phengite	1	Muscovite	1			Goethite	
T_003	4	E_20_A	Estructura 4	Nacrite	3	Kaolinite	2					Goethite	Hematite
T_004	1	E_25_A	Estructura 1	Kaolinite	2							Goethite	



Anexo 23: LONGITUDINAL Y TRANSVERSAL





Anexo 24: PANEL FOTOGRÁFICO

Figura 146: Estructura 02 del Sector Minas Punku



Figura 147: Estructura 04 del Sector Minas Punku



Figura 148: Estructura 04 (Boca Mina) del Sector Minas Punku



Figura 149: Estructura 01 del Sector Minas Punku, descripción mineralógica y muestreo geoquímico.



Figura 150: Reconocimiento litológico de las rocas en la Estructura 01 del Sector Minas Punku



Figura 151: Reconocimiento de alteraciones hidrotermales de las rocas en la Estructura 01 del Sector Minas Punku



Figura 152: Mapeo geológico y medición de estructuras Sector Minas Punku



Figura 153: Mapeo geológico de las calizas de la Formación Arcurquina.

